

Memoria del XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo

EDITORES

DR. JUAN MANUEL COVARRUBIAS RAMÍREZ

DR. LUIS SAMANIEGO MORENO

M.C. AARÓN I. MELENDRES ÁLVAREZ

DR. JUAN PEDRO FLORES MARGUEZ

ISBN: En trámite

Diciembre de 2018

Presentación

El XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo caracterizado con el lema: "*El Suelo, Soporte Esencial de la Vida"* tiene relevancia especial para el impulso del conocimiento edafológico y por consiguiente, de la producción de alimentos en México, por la razón de llevarse a cabo en una de las instituciones más importantes y prestigiadas como lo es, la Universidad Agraria Autónoma Antonio Narro (UAAAN), así como la participación del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Ambas instituciones son baluartes del conocimiento agrícola en nuestro País, y por ello, este evento científico y académico resulta estratégico, ya que tanto los alumnos, profesores, investigadores, productores, empresarios y público en general, tienen la oportunidad de intercambiar y actualizar las experiencias en los estudios de suelos y su relación con la calidad y cantidad de productos alimenticios para nuestra sociedad. La realización de este evento se presenta en una época de cambio gubernamental histórico en nuestro País, en que la participación del sector agronómico se perfila como uno de los repuntes dentro de la transformación administrativa, lo cual habré una ventana excelente de oportunidad para que la enseñanza, investigación y extensión del conocimiento agronómico llegue a mejorar la situación del campo mexicano.

La Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. (SMCS) fundada desde 1962 con actividad perseverante, ahora enfrenta un reto muy interesante al celebrar dos congreso nacionales en un mismo año, basado en la confianza de que México está actuando en los hechos con este XLIII Congreso, ya que todos los agremiados a la SMCS están contribuyendo a realzar la participación internacional al fomentar la importancia del recurso suelo dentro de los cambios globales en el marco de la "Década Internacional de los Suelos, 2015-2024" (www.iuss.org). La degradación de los suelos en más de 142 millones de hectáreas en nuestro País, es uno de los problemas principales que se incrementan y que son causa de la baja productividad agrícola, lo cual genera hambre y pobreza. Es por ello, la urgente necesidad de activar el conocimiento de los suelos en combate a estos problemas. Es una gran oportunidad que aquí en la UAAAN fundada en la hermosa tierra del Estado de Coahuila, podamos analizar los retos y detectar soluciones apropiadas y oportunas para el manejo y conservación de los suelos.

Además de la temática tradicional de la SMCS, la aportación al conocimiento agronómico en este congreso nacional se basa en la realización de 13 Simposios, relacionados a temas de agricultura orgánica, educación ambiental, fertilizantes, microbiología agrícola, nutrición vegetal, génesis y cartografía digital, aguas residuales, estudios en cuencas, lodos residuales o biosólidos, suelos de ecosistemas de montaña, Nanotecnología agrícola y ambiental y Medio ambiente y Agricultura sustentable. Un sincero agradecimiento a los integrantes Comité Organizador en la UAAAN e INIFAP, a los patrocinadores del congreso y a los participantes en todas las modalidades de ponencias, ya que todos formamos la SMCS, A.C.

Dr. Juan Pedro Flores Margez
Presidente de la SMCS, A.C. 2018-2019

Agradeciendo a todos los participantes del XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, realizado en la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", por su esfuerzo y dedicación por su asistencia, una sociedad científica se distingue por la participación de sus miembros y es de gran beneplácito informarles a todos los socios que se presentaron 13 simposios, dónde se realizaron 77 ponencias orales y que dentro del congreso se presentaron 89 trabajos en carteles dentro de las áreas y disciplinas de la sociedad.

El esfuerzo realizado para editar esta obra con la gran diversidad de trabajos y opiniones, pero que al final era responsabilidad de nosotros y por lo cual, les presentamos este trabajo con la satisfacción de haber cumplido y un agradecimiento eterno a los socios que presentaron los 166 trabajos en este congreso.

También agradecemos al personal de apoyo, por su entusiasta participación

A TODOS, MUCHAS GRACIAS

COMITÉ ORGANIZADOR

Cita correcta:
Covarrubias-Ramírez, J. M., L. Samaniego-Moreno, A. I. Melendres-Álvarez y Flores-Marguez (eds). 2018. Memoria del XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 928 p.

ÍNDICE

Simposios

Simposio Agricultura Orgánica

	PÁG.
PRODUCCIÓN DE NUEZ PECANERA (*Carya illinoinensis* Koch) EN LAS PRINCIPALES ZONAS PRODUCTIVAS DE MÉXICO	1
INCIDENCIA DE BACTERIAS PATÓGENAS AL HUMANO Y LA APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE REDUCCIÓN DE RIESGOS DE CONTAMINACIÓN EN LA CADENA PRODUCTIVA DEL MANGO CV. TOMMY ATKINS	13
ANÁLISIS DE VARIABLES BROMATOLÓGICAS DE ALFALFA (*Medicago sativa* L.) FERTILIZADAS CON FUENTES ORGÁNICAS E INORGÁNICAS.	18
RIZOBACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL EN LA AGRICULTURA SUSTENTABLE	27
PERSPECTIVAS DE LA AGRICULTURA ORGÁNICA EN MEXICO	48
EXPERIENCIAS EN EL MANEJO ORGÁNICO DEL SUELO Y CULTIVOS	67
PRODUCCIÓN DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*) BAJO CONDICIONES DE MALLA SOMBRA CON DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN LA COMARCA LAGUNERA	72
PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE MAÍZ FORRAJERO EN TIERRAS ALTAMENTE DESERTIFICADAS DE LA COMARCA LAGUNERA DE COAHUILA	79
PRODUCCIÓN DE Stevia rebaudiana Bertoni CON SUSTRATOS ORGÁNICOS DE VERMICOMPOST:ARENA	88
CONTAMINACIÓN POTENCIAL DE METALES PESADOS EN SUELOS DE LA COMARCA LAGUNERA, MEXICO.	101
ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL DE MOSCAS EN ESTABLOS	111

Simposio Nacional de Educación Ambiental.

APLICACIÓN DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL	115
PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO Y CAMBIOS DE USO DEL SUELO	116
EDUCACIÓN AMBIENTAL: PORQUE DEBERÍA IMPORTARME EL SUELO.	118
EL RETO EMPRESARIAL ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO	119

Simposio Eficiencia de Fertilización y Tecnología de Fertilizantes "Dr. Roberto Núñez Escobar"

USO DE ABONOS ORGÁNICOS EN SIEMBRA DIRECTA DE TRIGO. VALLE DEL YAQUI, SONORA 120

RESPUESTA EN CRECIMIENTO DE *Pinus montezumae* Lamb. A LA FERTILIZACIÓN CON NPK 124

EFECTO DEL VANADIO EN LA FLORACIÓN Y CRECIMIENTO DE PLANTAS DE CHILE (*Capsicum annuum*) 130

MANEJO ORGÁNICO: INCREMENTO EN LA ESTABILIDAD DE LOS AGROSISTEMAS ANTE VARIACIONES CLIMÁTICAS 136

EVALUACIÓN DE FERTILIZANTES FOLIARES EN AGUACATE. EFECTO EN AMARRE, CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE FRUTO Y NUTRICIÓN FOLIAR 142

ANÁLISIS DE CALIDAD DE LOS FERTILIZANTES. 147

Simposio Logros y resultados en Microbiología Agrícola

PROTOZOOS DE LA RIZOSFERA: FUNCIONALIDAD DE AMEBAS DESNUDAS, CILIADOS Y FLAGELADOS EN SUELOS PERTURBADOS 152

BIOTECNOLOGÍA MICROBIANA EN EL MANEJO DEL CHILE PIMIENTO (*Capsicum annuum* L.) 157

EXPERIENCIA EN EL ESTUDIO MICROBIOLÓGICO DEL CHILE POBLANO 163

Simposio Nutrición Vegetal actual

BIOFORTIFICACION: ALGO MÁS QUE IONES 169

BIOFORTIFICACIÓN CON MICRONUTRIENTES EN FRIJOL: APROVECHAMIENTO DE LA AGROBIODIVERSIDAD 174

TÉCNICAS PARA GENERAR REQUERIMIENTOS Y DIAGNÓSTICOS NUTRIMENTALES EN PLANTAS 179

Simposio El Uso y Manejo del Agua en la agricultura.

TENSIÓMETROS Y SENSORES DE HUMEDAD DEL SUELO PARA EL MANEJO EFICIENTE DEL AGUA EN SISTEMAS DE RIEGO LOCALIZADOS EN HUERTAS DE CÍTRICOS DE TAMAULIPAS 188

RIEGO Y NUTRICION EN LÍNEA Y TIEMPO REAL EN AGUACATE DEL ESTADO DE MICHOACÁN 195

IMPACTO DE LA PROGRAMACIÓN DEL RIEGO SOBRE LA LIXIVIACIÓN DE 202

NITRATOS
DRENAJE AGRICOLA CON NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU) Y SU EFECTO SOBRE LA SALINIDAD DEL SUELO 212
EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA DEL CULTIVO DE TOMATE (*Solanum Lycopersicum*) CON EL MÉTODO DEL BALANCE HÍDRICO Y SU RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO, EN UN SISTEMA SEMI-HIDROPÓNICO. 218

Simposio Avances en Génesis y Cartografía Digital

SIG Y METODOLOGÍA PFAFSTETTER PARA DELIMITACIÓN DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS. CASO DEL ARROYO LA ENCANTADA 223
SENTINEL 2B: PROCESO DE REGIONES ESPECTRALES COMO FUENTE RELEVANTE DE INFORMACIÓN PARA CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS GEOFÍSICOS 230
USO DE SENSORES REMOTOS EN EL MAPEO DE LA COBERTURA TERRESTRE 232

Simposio Tratamiento y Manejo de aguas residuales

METALES PESADOS Y FISICOQUIMICOS EN AGUA RESIDUAL TRATADA DEL VALLE DE JUAREZ, CHIHUAHUA 234
USO DE SEMILLA DE MORINGA (*Moringa oleífera*. Lam) EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SANITARIAS 239
CARACTERIZACIÓN QUIMICA DE SEDIMENTOS EN UN ECOSISTEMA LACUSTRE 244

Simposio Recuperación de los recursos en Suelo y Agua en cuencas.

OBRAS DE CONSERVACIÓN Y RECUPERACIÓN DE SUELO EN LA MICROCUENCA CACALOAPAN, TEPANCO DE LÓPEZ, PUEBLA, MÉXICO 249
LA DEGRADACIÓN DEL SUELO EN EL MARCO DEL MANEJO DE CUENCAS: ESTUDIO DE CASO 254
CUENCA HIDROLÓGICO-FORESTAL SAN JOSÉ DEL CABO: AMENAZAS AL ECOSISTEMA Y A LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS POR EROSIÓN Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS 259
ANÁLISIS DEL DÉFICIT HÍDRICO EN CUENCAS DE ZONAS ÁRIDAS MEDIANTE ÍNDICES HIDRO-CLIMÁTICOS: ESTUDIO DE CASO EN SAN JOSÉ DEL CABO, BAJA CALIFORNIA SUR 264
LA PARADOJA DE LA EVAPORACIÓN ES EVIDENTE EN ALGUNAS LOCALIDADES DEL CENTRO NORTE DE MÉXICO 269

Simposio Lodos Residuales o Biosolidos: Legislación, Caracterización, Uso, Retos y Oportunidades en México.

USO DE BIOSÓLIDOS EN SUELOS DEGRADADOS PERIURBANOS DEL MUNICIPIO DE PUEBLA 274

EL EFECTO DE CENIZA VOLANTE Y BIOSÓLIDOS COMO COMPONENTES PRINCIPALES DE UN ABONO TIPO BOCASHI Y SU COMPARACIÓN CON OTROS FERTILIZANTES PARA LA NUTRICIÓN DEL MAÍZ (*Zea mays*) 279

EXPERIENCIAS EN EL USO AGRICOLA DE BIOSOLIDOS EN DELICIAS, CHIHUAHUA 284

LA COMISION DE USO DE BIOSOLIDOS DEL VALLE DE JUAREZ: RETO PARA UN PROGRAMA SUSTENTABLE EN EL NORTE DE CHIHUAHUA 291

Simposio Ecología del suelo en ecosistemas de montaña.

SUELOS CON TEPETATES DEL AREA NATURAL PROTEGIDA DE LA SIERRA DE GUADALUPE, CIUDAD DE MÉXICO 296

HISTORIA EVOLUTIVA DE LADERAS CONTRASTANTES EN UN VALLE Y SU RELACIÓN CON LOS ATRIBUTOS ECOLÓGICOS DEL SUELO 302

COMPARACIÓN DE COEFICIENTES DE REFUERZOS DE RAÍCES DE ESPECIES NATIVAS PARA USO POTENCIAL EN LA BIOINGENIERÍA DE SUELOS 306

IMPACTO DEL USO DE SUELO EN INDICADORES EDÁFICOS DE SISTEMAS RIBEREÑOS DE MONTAÑA 311

LA FUNCIÓN ECOLÓGICA DE LOS HONGOS ENDÓFITOS EN EL DESIERTO CHIHUAHUENSE DE LA FRONTERA DE MÉXICO Y USA. 317

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CALIDAD DEL SUELO EN EL PARQUE NACIONAL IZTA-POPO 322

CALIDAD INHERENTE Y DINÁMICA DE ANDOSOLES COMO INDICADORAS DEL MANEJO SUSTENTABLE DE LOS ECOSISTEMAS DE MONTAÑA 327

Simposio Nanotecnología agrícola y ambiental

NANOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA Y AMBIENTAL PARA PROMOVER EL DESARROLLO SUSTENTABLE 332

IMPLICACIONES FISIOLOGICAS Y BIOQUIMICAS ASOCIADAS A LA APLICACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ZnO EN PLÁNTULAS DE *Capsicum annuum* 337

LAS NANOPARTÍCULAS COMO NANOFERTILIZANTES 344

LA NANOTECNOLOGÍA APLICADA PARA DETECTAR, DEGRADAR Y REMOVER PLAGUICIDAS 349

EFECTO DE LA APLICACIÓN DE NANOPARTICULAS DE DIOXIDO DE TITANIO SOBRE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE PINO PIÑONERO (*Pinus cembroides* Zucc.) 354

Simposio Medio ambiente y Agricultura sustentable.

SELECCIÓN DE INDICADORES DE CALIDAD DE SUELOS EN EL CAMPO EXPERIMENTAL DE TECNOLOGÍAS AMBIENTALES (CETA), MUNICIPIO DE CACHIPAY- CUNDINAMARCA, COLOMBIA 359

PROPIEDADES FISÍCAS DE CUATRO SUSTRATOS EN FUNCIÓN DE SU GRANULOMETRÍA 365

LOS SISTEMAS HIDROPÓNICOS CERRADOS EN LA PRODUCCIÓN DE TOMATE 370

EL RENDIMIENTO DE *Opuntia ficus-indica* L. (Miller) VARIEDAD 'ROJO PELÓN' DEPENDE DE LA PROPORCIÓN Mg/P EN CLADODIOS DE FRUCTIFICACIÓN 375

ADAPTABILIDAD PRODUCTIVA DEL CULTIVO DE AMARANTO EN CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 380

DETERMINACIÓN DE ALMACENES DE CARBONO EN SUELOS DE ÁREAS VERDES URBANAS EN ZONAS ÁRIDAS 385

NUTRIMENTOS EN CAÑA DE AZÚCAR *Saccharum officinarum* BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS POR SALINIDAD 390

USO DE ZEOLITA ENRIQUECIDA COMO FERTILIZANTE EN SUELOS ÁRIDOS: EVALUACIÓN DE LA VOLATILIZACIÓN DE AMONIACO 395

PROPIEDADES DEL SUELO ASOCIADAS AL SECUESTRO INORGÁNICO DE CARBONO: RUTA OXALATO-CARBONATO 400

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD E INCERTIDUMBRE DEL PARÁMETRO CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA EN EL MODELO KINEROS 405

ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA SUBCUENCA RÍO MEDIO AGUANAVAL 411

CALIBRACIÓN DEL FACTOR K/USLE EN UNA UNIDAD DE SUELO Y DOS CONDICIONES DE USO EN AGUASCALINETES, MÉXICO 415

CARBONO EDÁFICO EN ACRISOLES TRANSFORMADOS DE PASTIZALES A PLANTACIONES DE ACACIA MANGIUM EN TABASCO MÉXICO 420

DEFINICIÓN DE DOSIS DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN MAÍZ EN BASE A EL CONTENIDO DE NITRATOS DEL SUELO EN LA ETAPA V_6 DEL CULTIVO 424

LA PROPORCIÓN Fe/Zn EN MANZANO VARIEDAD 'STARKRIMSON' 433
PRODUCTIVIDAD DE LA MILPA: MAÍZ, BAYOCOTE, HABA, CALABAZA Y CHÍCHARO FERTILIZADA CON NPK Y ESTIÉRCOL, EN GANZDA, ACAMBAY, ESTADO DE MÉXICO 439
PRODUCTIVIDAD DEL SISTEMA MILPA INTERCALADA CON ÁRBOLES FRUTALES, CON FERTILIZACIÓN MINERAL Y ORGÁNICA DURANTE TRES CICLOS DE CULTIVO, EN SAN FELIPE DEL PROGRESO, ESTADO DE MÉXICO 445
FERTILIZACIÓN Y PRODUCTIVIDAD DE LA MILPA EN EL SISTEMA MIAF EN TRES COMUNIDADES MAZAHUA DEL ESTADO DE MÉXICO 450

Carteles

I. Diagnóstico, metodología y evaluación del recurso suelo

1. Génesis, morfología y clasificación de suelos.

ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA DE LA PALMA DE ACEITE (*Elaeis guineensis* Jacq.) EN EL ORIENTE DEL ESTADO DE CHIAPAS 456
PRIMERA DESCRIPCIÓN DE SUELOS DE SABANA DEL ESTADO DE YUCATÁN 462
EXTRACCIÓN SELECTIVA DE ALUMINIO, HIERRO Y SÍLICE PARA LA DIFERENCIACIÓN DE GRUPOS DE SUELOS DE CENIZA VOLCÁNICA 467

2. Física de suelos

PREDICCIÓN DE LA PRESENCIA DE *Euphorbia antisyphilitica* Zucc UTILIZANDO PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO 472
DETERMINACIÓN DE MICRO-RELIEVE EN LA EVALUACIÓN DE IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS 478
PÉRDIDA DE MATERIAL PARENTAL Y SUELO EN LA SIERRA DE LAS NOAS, COAHUILA 484
ESTIMACIÓN DE LA EROSIVIDAD DE UN FAOSEM (PH) DEL CENTRO DE MÉXICO 485
COMPARACIÓN DE COEFICIENTES DE REFUERZOS DE RAÍCES DE ESPECIES NATIVAS PARA USO POTENCIAL EN LA BIOINGENIERÍA DE SUELOS 488
INFLUENCIA DE LA POROSIDAD TOTAL EN LA CURVA DE INFILTRACIÓN IN SITU DEL HORIZONTE Ap EN UN SISTEMA DE LABRANZA INTENSIVA MECANIZADA Y DE CONSERVACIÓN 493

MANEJO AGROECOLÓGICO EN HUERTOS URBANOS DE QUERÉTARO 499
DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS EN MEDIOS POROSOS NATURALES POR MEDIO DE PORTABLE DRIP INTROMETER (PDI) 504

3. Química de suelos

USO DE MODELO EPIC PARA ESTIMAR LA PÉRDIDA DE NITROGENO Y FÓSFORO DEL MAÍZ DE TEMPORAL EN LA CIÉNEGA DE JALISCO, MÉXICO 510
CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DEL SUELO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA EL JIHUITE, DE TEPATITLAN, JALISCO 515
CONTENIDO DE MACRONUTRIENTES DE UN CALSISOL BAJO TRES SISTEMAS DE USO DE SUELO EN EL NORESTE DE MÉXICO 520
EL PROBLEMA DE LOS SUELOS ÁCIDOS EN LA REGIÓN FRAILESCA, ESTADO DE CHIAPAS 525

4. Contaminación

INCIDENCIA DE MALEZAS EN EL SUELO CON BIOFUMIGACIÓN Y SOLARIZACIÓN 533
POTENCIAL DE LA CHICURA (*Ambrosia ambrosioides*) COMO PLANTA FITORREMEDIADORA DE SUELOS CONTAMINADOS POR COBRE 538
REDIMENSIONAMIENTO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO INTERMITENTE DEL INGENIO EMILIANO ZAPATA 543
CONTAMINACIÓN POTENCIAL DE METALES PESADOS EN SUELOS DE LA COMARCA LAGUNERA, MEXICO 548
ABSORCIÓN DE PLOMO POR EL CULTIVO DE LA ALFALFA (*Medicago sativa*) IRRIGADA CON AGUA RESIDUAL CRUDA, TRATADA Y SUBTERRÁNEA. 554

II. Relación suelo-clima-biota

1. Nutrición vegetal

APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTES EN GLADIOLA 558
EL SILICIO MEJORA EL ESTADO NUTRICIONAL DE PLÁNTULAS DE *Moringa oleifera* Lam. BAJO ESTRÉS SALINO 563
EFECTO DEL ÁCIDO ABSCÍSICO SOBRE EL FENOTIPO Y LA CALIDAD DEL FRUTO DE VID CULTIVAR CABERNET FRANC 569
RENDIMIENTO DE CÁLIZ DE JAMAICA (*Hibiscus sabdariffa* L.) EN FUNCIÓN 575

DE LA FERTILIZACIÓN
CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y NUTRIMENTAL DE FRIJOL X'PELÓN COLECTADO EN EL ESTADO DE YUCATÁN 579
NIVELES NUTRIMENTALES EN HOJAS DE TABACO (*Nicotiana tabacum* L.) BAJO RIEGO EN NAYARIT 584
EFECTO DEL ÁCIDO SALICILICO EN LA CALIDAD COMERCIAL Y NUTRACÉUTICA DE FRUTOS DE PEPINO 589
APLICACIÓN FOLIAR DE ÁCIDO SALICÍLICO EN LA PRODUCCIÓN DE CHILE JALAPEÑO 593
EFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA EN EL CRECIMIENTO Y CALIDAD COMERCIAL DE *LILIUM* ASIÁTICO CV. TRESOR CULTIVADO BAJO CONDICIONES DE HIDROPONIA 596
ABONOS y TÉS ORGÁNICOS ASOCIADOS A LAS MICORRIZAS EN LA RESPUESTA VEGETATIVA-REPRODCUTIVA DE LA CALABACITA (*Cucurbita pepo* L.) EN INVERNADERO 603
PROPIEDADES FÍSICAS Y CALIDAD NUTRIMENTAL DE FRIJOL CAUPÍ COLECTADO EN EL ESTADO DE YUCATÁN 612
FERTILIZACIÓN CON NANOPARTÍCULAS, SULFATOS Y QUELATOS DE ZINC EN FRIJOL EJOTERO CULTIVADO EN SUELO ÁCIDO versus ALCALINO 618
CONTENIDO MINERAL EN MAÍZ Y QUÍNOA REGADA CON ART EN LA SIERRA JUÁREZ DE OAXACA 623
EVALUACIÓN DE CINCO CULTIVARES DE UVA PARA VINO TINTO EN LA COMARCA LAGUNERA DE DURANGO 628
ILUMINACIÓN LED Y SU INFLUENCIA EN LA ABSORCIÓN MINERAL Y PROPIEDADES ANTIOXIDANTES EN LECHUGA CULTIVADA EN UN SISTEMA FÁBRICA DE PLANTAS 633

2. Relación agua-suelo- planta-atmósfera

IMPACTO HIDROLÓGICO DEL SISTEMA MIAF EN EL ESTADO DE VERACRUZ 638
PRODUCCIÓN DE TRES TIPOS DE CHILE EN SUELO CON ACOLCHADO PLÁSTICO COLOR VERDE Y GRIS628 644
SIMULACIÓN DE LA ALTURA Y LA BIOMASA DE TALLOS DE TOMATE MEDIANTE DINÁMICA DE SISTEMAS 649
DISEÑO DE PLAN DE MANEJO A ESCALA DE PREDIO PARA MAIZ DE TEMPORAL EN LOS ALTOS DE JALISCO 653

MINERALES EN AGUA RESIDUAL TRATADA UTILIZADA EN RIEGO AGRÍCOLA EN CAPULÁLPAM DE MÉNDEZ, IXTLÁN, OAXACA 658
EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LAS PRÁCTICAS AGRONÓMICAS DEL MAÍZ DE TEMPORAL SOBRE LA EROSIÓN HÍDRICA CON EL MODELO EPIC 663

3. Biología del suelo

RIQUEZA DE LA NEMATOFAUNA EDAFICA EN MAIZ, EN SUSTRATO SUELO-VERMICOMPOSTA BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO 668
EFECTO DE LA GEOMETRÍA DE AGITACIÓN EN EL CULTIVO DE *Trichoderma harzianum,* CEPA AISLADA DE MUESTRAS DE SUELO COLECTADAS EN NUEVO LEÓN. 673
UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS FUNGICAS EN SITIOS CON DIFERENTE MANEJO DE SUELO EN TLALPAN, CDMX 678
FOSFATASAS INTRA Y EXTRACELULARES DE *BURKHOLDERIA* ASOCIADAS A RAIZ Y RIZOPLANO DE GRAMÍNEAS 682
PROTOZOOS DE LA RIZOSFERA: FUNCIONALIDAD DE AMEBAS DESNUDAS, CILIADOS Y FLAGELADOS EN SUELOS PERTURBADOS 688
ANÁLISIS ELECTROFORÉTICO EN PRIMERA DIMENSIÓN (1D-SDS-PAGE) Y DETECCIÓN DE PROTEÍNAS DE SUELO ASOCIADAS CON GLOMALINA (GLOMALIN-RELATED SOIL PROTEINS, GRSP) PRESENTES EN SUELOS CON DIVERSOS GRADOS DE ERODIBILIDAD DE VALLE DE PALOMAS, S.L.P., MÉXICO 693
MICROORGANISMOS DEL SUELO Y SU POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO 702
BACTERIAS HALOTOLERANTES PROMOTORAS DE CRECIMIENTO VEGETAL (PGPR) Y SU EFECTO EN EL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE TOMATE 707

4. Uso y manejo del agua

PRODUCCIÓN DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* jacq.) Y EFICIENCIA EN USO DE AGUA BAJO DOS FECHAS DE TRASPLANTE**.** 712

III. Aprovechamiento del recurso suelo

1. Conservación del suelo

EFICACIA DE LAS ZANJAS BORDO PARA CAPTAR ESCURRIMIENTOS EN UN AGOSTADERO, MIXTECA OAXAQUEÑA 719

ESTIMACIÓN DE LA EROSIVIDAD DE UN FAOSEM (PH) DEL CENTRO DE MÉXICO 726
DETECCIÓN DE INTERRELACIONES DENTRO DEL SISTEMA 731
SITIO RAMSAR NO. 2027 (PRESA MANUEL ÁVILA CAMACHO) CON BASE EN EL ESTADO ACTUAL DE LA DEGRADACIÓN DEL SUELO
INFLUENCIA DE LA POROSIDAD TOTAL EN LA CURVA DE INFILTRACIÓN IN SITU DEL HORIZONTE AP EN UN SISTEMA DE LABRANZA INTENSIVA MECANIZADA Y DE CONSERVACIÓN 738
PÉRDIDA DE MATERIAL PARENTAL Y SUELO EN LA SIERRA DE LAS NOAS, COAHUILA 744
CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS DE CULTIVO DE ROSA 745
EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN CÁRCAVAS. 750

2. Drenaje y recuperación

3. Fertilidad

PRODUCCIÓN DE MAÍZ FORRAJERO CON DOS SISTEMAS DE ESTERCOLADO EN BASE A NECESIDADES NUTRIMENTALES 755
PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS QUE INCIDEN EN LA FERTILIDAD DE SUELOS BAJO CULTIVO DE *Prunus persica* (L.) Batsch 760
MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO EN NOGAL PECANERO Y SU EFECTO EN COMPONENTES DE RENDIMIENTO 765
MANEJO ORGÁNICO: INCREMENTO EN LA ESTABILIDAD DE LOS AGROSISTEMAS ANTE VARIACIONES CLIMÁTICAS 770
COMPARACION DE LA PRODUCTIVIDAD DE DOS HIBRIDOS DE SANDIA BAJO FERTILIZACION DE LENTA LIBERACION EN EL MUNICIPIO DE TLAHUALILO, DGO., MEXICO 776
RENDIMIENTO Y CALIDAD DE MAÍZ FORRAJERO EN RESPUESTA A PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN CON INHIBIDORES DE LA NITRIFICACIÓN 781
ESTADO NUTRIMENTAL Y DINÁMICA DEL N EN EL SUELO EN MAÍZ FORRAJERO ABONADO CON FERTILIZANTES CON INHIBIDOR DE LA NITRIFICACIÓN 786
EFECTO DE NANOPARTICULAS DE ZnO EN LA GERMINACION Y CRECIMIENTO DE *Cucurbita pepo* 791
BIOFERTILIZACIÓN CON BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO Y SU 798

EFECTO EN *Capsicum chinense* JACQ.

4. Productividad de agrosistemas

ÍNDICE DE SOBREVIVENCIA DE BULBILLOS DE INFLORESCENCIA DEL HENEQUEN, *Agave ourcroydes* Lem. 804

CAPTURA DE CARBONO EN EL SUELO MEDIANTE DOS ABONOS ORGÁNICOS EN EL AGROSISTEMA GUAYABA 810

EFECTO DEL SISTEMA AGROFORESTAL "MILPA-CHICHIPERA" EN LA DINÁMICA DEL C Y N EN EL SUELO DE UN ECOSISTEMA SEMIÁRIDO 816

CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE MAÍCES EN UN SUELO LUVISOL 821

FERTILIZACIÓN Y PRODUCTIVIDAD DE LA MILPA EN EL SISTEMA MIAF EN TRES COMUNIDADES MAZAHUA DEL ESTADO DE MÉXICO 826

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO EN SISTEMAS DE CULTIVO: SORGO-SORGO Y SORGO-MAÍZ 831

MODELO DE PREDICCION DE RENDIMIENTO DE SORGO MEDIANTE LA TECNOLOGÍA DE DRONES 836

PRODUCTIVIDAD DE LA MILPA: MAÍZ, BAYOCOTE, HABA, CALABAZA Y CHÍCHARO FERTILIZADA CON NPK Y ESTIÉRCOL, EN GANZDA, ACAMBAY, ESTADO DE MÉXICO 840

PRODUCTIVIDAD DEL SISTEMA MILPA INTERCALADA CON ÁRBOLES FRUTALES, CON FERTILIZACIÓN MINERAL Y ORGÁNICA DURANTE TRES CICLOS DE CULTIVO, EN SAN FELIPE DEL PROGRESO, ESTADO DE MÉXICO 846

AGROFORESTERÍA EN ZONA ÁRIDA: CULTIVO Y CONSERVACIÓN DE LA FLORA MEDICINAL DE SAN LUIS POTOSÍ 851

COMPARACION DE LA PRODUCTIVIDAD DE DOS HIBRIDOS DE SANDIA BAJO FERTILIZACION DE LENTA LIBERACION EN EL MUNICIPIO DE TLAHUALILO, DGO., MEXICO 855

METODO PARA ESTIMAR CAPACIDAD PRODUCTIVA DEL PASTIZAL: SUELOS Y EROSION 860

RENDIMIENTO DE SEMILLA DE CALABAZA (*CUCURBITA ARGYROSPERMA* HUBER) EN CAMPECHE, MÉXICO 865

BIOMASA Y RENDIMIENTO EN FRIJOL EJOTERO EN RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN FOLIAR DE ZINC: NANOPARTÍCULAS versus SULFATO 869

DIAGNÓSTICO DE LA SUSTENTABILIDAD EN EL USO DE FERTILIZANTES FOSFATADOS EN SUELOS AGRÍCOLAS: UN ENFOQUE EXPERIMENTAL 874

ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA DE LA PALMA DE ACEITE (*Elaeis guineensis* Jacq.) EN EL ORIENTE DEL ESTADO DE CHIAPAS 879

GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE 10 ECOTIPOS NACIONALES DE CHILE PIQUIN *Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum* CON TRATAMIENTOS QUÍMICOS 884

FUENTES NATURALES DE CALCIO PARA MEJORAR LA PRODUCCION Y CALIDAD EN MANZANO "TOP RED" 889

5. Ecología del suelo (El suelo en ecosistemas naturales)

RELACIÓN ENTRE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO Y CARBONO DE BIOMASA MICROBIANA DE SUELOS RIBEREÑOS DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA LOS VOLCANES 895

EFECTO INMEDIATO DE INCENDIOS FORESTALES SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUELOS BAJO TRES TIPOS DE VEGETACIÓN 900

INCENDIOS FORESTALES: EFECTO INMEDIATO SOBRE LAS PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE UN ANDOSOL EN SAN PABLO IXAYOC, EDO. DE MÉX. 906

IV. Educación y asistencia técnica

1. Educación

2. Crédito y asistencia técnica

PERCEPCIÓN COMUNITARIA SOBRE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DEL SUELO: CASO EL JARAL, MEXQUITIC DE CARMONA, S. L. P. 912

DIMETILTRIPTAMINA Y SU EFECTO EN EL CONTROL DE *AEDES AEGYPTIS* 917

FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y ABSORCIÓN DE FÓSFORO EN TRIGO, EN UN SISTEMA DE LABRANZA MÍNIMA. 924

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

PRODUCCIÓN DE NUEZ PECANERA (*Carya illinoinensis* Koch) EN LAS PRINCIPALES ZONAS PRODUCTIVAS DE MÉXICO
Production of Pecans (*Carya illinoinensis* Koch) in the Main Production Zones of Mexico

Ignacio Orona Castillo[1], Dora María Sangerman Jarquín[2], María Gabriela Cervantes Vázquez[1], José de Jesús Espinoza Arellano[3] y Cirilo Vázquez Vázquez[1]

[1] Profesor investigador de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango. Venecia, Dgo., México. Tel. 01(871) 7118918. (orokaz@yahoo.com; cevga@hotmail.com).
[2]Investigadora del Campo Experimental Campo Experimental Valle de México. Carretera Los Reyes-Texcoco, km 13.5 Coatlinchan, Texcoco, Estado de México, México. Tel. 01 800 088 2222 Ext. 85353. Email: sangerman.dora@inifap.gob.mx.
[3] Catedrático Investigador de la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Coahuila, Unidad Torreón. Torreón, Coah., México. E-mail: jesusespinoza_612@yahoo.com.mx.

Resumen

México es el segundo país productor de nuez pecanera y el primer exportador de este producto en el mundo. Con el objetivo de proponer acciones para favorecer la productividad de esta actividad, se caracterizó el funcionamiento de su producción y comercialización en tres de las zonas productoras más importantes de nuez en México: la Comarca Lagunera, Hermosillo (Sonora) y Jiménez (Chihuahua). Para lo anterior se formularon dos tipos de cuestionarios aplicados en los años 2014 y 2015. Uno se aplicó a una muestra de productores determinada aleatoriamente. El segundo se dirigió a comercializadores-transformadores del producto. Los resultados mostraron que los tamaños de huerto predominantes para la Comarca Lagunera y Jiménez son menores que los de Hermosillo, donde son hasta de 800 ha. El número de plagas es mayor en la Comarca Lagunera y Jiménez. En Hermosillo, además, el productor cuenta con mayor infraestructura para manejar el cultivo y los productores reciben mayor asistencia técnica y financiera, lo que explica los mayores rendimientos obtenidos. En el aspecto de comercialización - transformación, el número de empresas es mayor en Jiménez, seguido por Comarca Lagunera y al final Hermosillo, región que comercializa nuez hacia China directamente por los productores. Se concluye que para mejorar la producción en la Comarca Lagunera y Jiménez Chihuahua se requiere atender aspectos de organización, capacitación y financiamiento, y para mejorar la comercialización en las tres zonas de estudio es necesario crear un sistema de información de precios y empresas que le permitan al productor vender al mejor precio.

Palabras clave: *Carya*, huertos de nogal, producción, comercialización.

Summary

Mexico has the second place on pecan production and is the first pecan nut exporter in the world. Their goal of this study was to propose actions to improve pecan profitability, so pecan nut production was characterized in the three most important production areas in in Mexico, which are Comarca Lagunera; Hermosillo (Sonora) and Jiménez (Chihuahua). Two types of questionnaires were applied randomly in 2014 and 2015, one for pecan growers and the

second one to marketers and transformers.. The results showed that the predominant orchard sizes for the Comarca Lagunera and Jiménez are smaller than those in Hermosillo, where the largest ones are up to 800 ha. There are more pests in Jimenez and The Comarca Lagunera than in Hermosillo. In addition, pecan growers in Hermosillo have more infrastructure to manage the crop and also technical and financial assistance, is better, so it could explains the higher yields obtained in this area. Jimenez area has more companies for commercialization - transformation followed by The Comarca Lagunera. Hermosillo, Sonora, is a region where pecan growers sell directly their pecan nuts to China. In conclusion, in order to increase pecan production in the Comarca Lagunera and Jiménez, it is necessary to improve growers organizations, training assistants and financial support. For the three studied areas, to have a better market, it is required to conform a price information system and companies that help to pecan growers to get better prices.

Index words: *Carya*, pecan orchards, production, marketing.

Introducción

La nuez pecanera es una actividad económica muy importante en el norte de México y sur de los Estados Unidos. Los cinco principales estados productores en Estados Unidos son: Georgia, Texas, Nuevo México, Arizona, y Luisiana y Oklahoma, empatados en el quinto lugar (USDA-NASS, 2011) y en México destacan los estados de Chihuahua, Sonora, Coahuila, Durango y Nuevo León.

La producción de ésta nuez en México ha aumentado en cerca de un 80% en los últimos trece años, alcanzando actualmente alrededor de 110 mil toneladas. La superficie sembrada llegó en 2013 a las 104 mil hectáreas (Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 2014). El cultivo del nogal en México es de interés ya que en los últimos años se ha posicionado como un actor importante en el mercado de la nuez pecanera por ocupar el segundo lugar como productor y primero como exportador mundial. El consumo per cápita en México es de alrededor de 0.650 kg (Baca, 2007), mientras que en el 2007 en Estados Unidos el consumo reportado fue de alrededor de 0.752 kg y en 2010 de 0.964 kg.

Origen del Nogal Pecanero

La evidencia arqueológica más antigua de su recolección por humanos para subsistencia data de 8,000 años antes de cristo (AC) durante el período arcaico de América, en el asentamiento Modok Rock, actual estado de Illinois-USA (latitud 38° Norte), correspondiente al límite más norte de su distribución geográfica. La evidencia arqueológica de su distribución más occidental data de hace 8,000 años recuperada de la cueva Baker en el condado de Val Verde (longitud 101° Occidente), en el estado de Texas en USA. Su límite oriental ha sido encontrado en el estado de Alabama en USA (longitud 87° Occidente), relacionado con la cultura misisipiana del medio oeste de los años 1050-1250 AC. Hacia el sur la especie se distribuye en la actualidad hacia el estado de Oaxaca en México (latitud 17° Norte), aunque su límite histórico de distribución geográfica hacia el sur no está sustentado por evidencias arqueológicas si lo está por la variación genética en plástidos, la cual sugiere que no son el producto de una introducción reciente en la zona (Gauke, Mendoza-Herrera, Miller & Wood, 2011). Gray (1973), afirma que el nogal pecanero es originario del sureste de Estados Unidos de América y del norte de México, y que las primeras plantaciones comerciales se iniciaron a partir de 1871 en Estados Unidos, y la introducción pionera de plantaciones comerciales en México se hizo en 1904, en el estado de Nuevo León.

Actualmente la producción de nuez pecanera proviene en su mayoría de plantaciones en lugar de bosques naturales, en el período 2009-2011 el 82 % de la producción en USA se obtuvo de cultivares mejorados (Graham, 2013). La distribución geográfica del cultivo de nuez pecanera en América del Norte se muestra en la Figura 1.

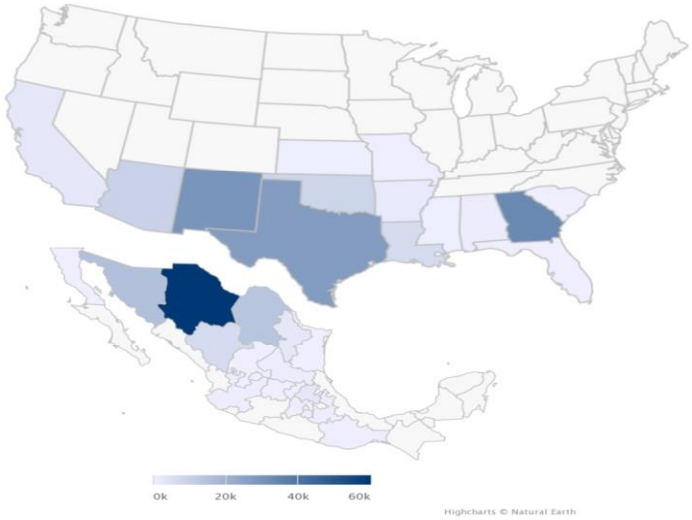


Figura 1. Mapa de distribución geográfica de Nogales pecaneros en América del Norte. La escala de color azul es directamente proporcional a la producción en toneladas de nuez pecanera para el año 2014, (Suárez J. A. *et al*., 2017).

Plagas Principales del Nogal Pecanero en México

Los principales problemas fitosanitarios de este cultivo en México por insectos están el causado por el gusano barrenador de la nuez *Acrobasis nuxvorella* (Neunzig), el cual afecta un amplio rango de cultivares en una zona geográfica extensa, con un nivel de afectación elevado. Afecta a las dos variedades principales (Western y Wichita) cultivadas en México. Este insecto, al completar cuatro generaciones por año, es responsable de pérdidas de hasta el 80% de los frutos., golpeando negativamente la productividad y rentabilidad del cultivo.

Otro insecto que afecta la producción es el Gusano barrenador del ruezno (*Cydia cariana*), el cual también se encuentra en la mayoría de las zonas productoras de México. Durante el ciclo 2008 causó pérdidas del 8.4% de la producción del estado de Durango. (SENASICA 2009).

Del Toro (2013), menciona que los organismos dañinos afectan la productividad de los nogales y su control implica el 15% del costo de producción del cultivo.

Principales Países Productores de Nuez Pecanera en el Mundo

México y Estados Unidos son los principales productores de nuez pecanera, aportan alrededor del 93 % de la producción mundial y el resto Sudáfrica, Australia y Perú. México es el primer país exportador mundial de nuez pecanera. En 2016 la producción de nuez pecanera conjunta de éstos dos países fue de 271 000 toneladas, de las cuales México participó con el 52%, este presenta una tasa de crecimiento anual en la producción del 15.6%, mientras que en Estados Unidos fue del 12.4%, Comité Mexicano del Sistema Producto Nuez, A.C. (2017).

Mercados Potenciales de Nuez Pecanera

Los mercados potenciales y con fuerte demanda real de nuez pecanera, como Japón y Europa, podrían significar una oportunidad importante para el aumento de las exportaciones mexicanas, diversificando el mercado estadounidense, tradicionalmente el preferido por México. Los resultados comerciales recientes muestran que China, incluyendo a Hong Kong, es un espacio con crecimiento substancial en los últimos cinco años, por lo que se ha convertido en el segundo mercado internacional para la nuez pecanera de origen estadounidense.

La calidad de la nuez se considera principalmente por el porcentaje de almendra, el tamaño del fruto, color, daños de la almendra y otros de menor importancia. El contenido de almendra producido en la región en las variedades estudiadas es bueno, considerando que la mayoría de los árboles nativos rinden arriba del 40%. En la mayoría de las variedades el tamaño de la nuez tiende a disminuir en los árboles de mayor edad (Arreola *et al*, 2002).

Principales Entidades Productoras de Nuez Pecanera en México

En México para el año 2016 los estados con mayor superficie sembrada fueron Chihuahua, Coahuila, Sonora y Durango, como se puede observar en el Cuadro 1

.

Cuadro 1. Valor de la producción por estados a nivel nacional, SIAP-SAGARPA 2016.

Entidad federativa	Superficie (ha) Sembrada	Cosechada	Producción (ton)	Rendimiento (ton/ha)	Precio medio rural ($)	Valor($)
Chihuahua	70,587.5	49,903.7	91,987.7	1.84	71,667.9	6,592,568.0
Sonora	12,214.3	8,897.5	18,326.1	2.06	68,922.1	1,263,074.1
Coahuila	17,653.5	13,017.6	14,500.0	1.11	66,133.2	958,928.6
Durango	6,562.7	5,413.7	8,921.3	1.65	68,277.3	609,120.8
Nuevo León	4,077.2	4,056.1	3,100.6	0.76	54,485.7	168,935.5
Media nacional	114,464.2	83,512.7	141,817.6	1.70	69,006.1	9,786,272.6

Fuente: SIAP-SAGARPA, 2017.

Debido a que en éstos estados es donde se produce la mayor parte de nuez pecanera en México, se consideró pertinente realizar un estudio del funcionamiento de este sistema productivo en las principales representativas del cultivo, por lo cual se eligieron tres zonas: La región Comarca Lagunera ubicada en los estados de Coahuila y Durango; el municipio de Jiménez, Chihuahua, y el de Hermosillo, Sonora. En el Cuadro 2 se muestra la superficie sembrada y cosechada de nuez pecanera en las zonas de estudio. SIAP-SAGARPA (2017).

Cuadro 2. Superficie sembrada en las áreas bajo estudio, SIAP-SAGARPA 2016.

Área de estudio	Superficie (ha) Sembrada	Cosechada	Producción (ton)	Rendimiento (ton/ha)	Precio medio rural ($)	Valor($)
Comarca Lagunera	9,245.7	7,635.7	10,887.2	1.3	63,205.2	60,668.0
Hermosillo	7,239.0	6,175.0	14,202.5	2.3	70,055.0	994,956.2
Jiménez	11,235.1	8,840.5	17,662.0	2.0	72,976.7	1,288,910.2

Fuente: SIAP-SAGARPA, 2017.

Se advierte que la Comarca Lagunera, aunque tiene mayor superficie que Hermosillo Sonora registra menor producción total debido a la obtención de menor rendimiento por hectárea. Asimismo, se observa un menor precio rural para dicha zona debido seguramente a la menor calidad de nuez.

Jiménez Chihuahua tiene el mayor potencial de producción, ya que la superficie potencialmente cosechable es elevada.

Evolución de la Superficie Sembrada, el Rendimiento y el Precio Medio Rural en las Regiones Bajo Estudio

De acuerdo al SIAP-SAGARPA (2017) en el período 2011 al 2016, la superficie sembrada para el municipio de Jiménez, Chihuahua, se incrementó 84.94%; para Hermosillo, Sonora un 18.70%, y para la Comarca Lagunera un 19.23%. El rendimiento por hectárea para el mismo período se incrementó para Jiménez, Chihuahua un 84.94%; para Hermosillo, Sonora, un 18.70%, y para la Comarca Lagunera un 19.23%.

Por la importancia económica y social que tiene este cultivo en el país, este estudio busca generar información que oriente las decisiones de apoyo al productor de nuez, así como las necesidades de organización en la comercialización del producto a efecto de mejorar su participación en la cadena de valor mediante la caracterización del proceso de producción y comercialización de la nuez pecanera en las principales regiones productoras de México, identificando las ventajas y limitaciones de cada una de las tres regiones

Materiales y Métodos

Para caracterizar el proceso de producción de la nuez pecanera se diseñó una encuesta dirigida a productores, la cual se aplicó en cada una de las tres regiones productoras; el levantamiento de la información de campo para la Comarca Lagunera se realizó en los meses de octubre a diciembre del 2014, y para Hermosillo, Sonora y Jiménez Chihuahua en los meses de junio, julio y agosto del año 2015.

Tamaño de Muestra

Para determinar el número de productores a encuestar en cada una de las regiones, se recurrió al padrón de productores que manejan las Juntas Locales de Sanidad Vegetal, dependientes de SAGARPA en cada región, donde una vez obtenido se procedió a calcular el tamaño de muestra, utilizando la siguiente fórmula de muestreo simple aleatorio (Fuller, 2009):

$$n = \frac{t^2_{\propto/2}\, S^2}{d^2 + \dfrac{t^2 S^2}{N}}$$

Donde:

N = tamaño de la población, n = tamaño necesario de la muestra, d = precisión de la estimación o la distancia que desee que el estimador se aleje del parámetro (proporción de la población); en la mayoría de los casos d es menor a 0.1, se recomienda calcular el tamaño de la muestra para diferentes valores de d. S = desviación estándar de la población, conocida o estimada a partir de anteriores estudios. t = valor de las tablas de t. α = nivel de significancia de α, lo más común es establecer α=0.05.

Para el cálculo de la varianza (S^2) se estableció en 13.022, obtenida de datos de un muestreo anterior en que se tomó el precio de venta de la nuez como referencia. El grado de confianza utilizado fue igual al cinco por ciento. La encuesta aplicada a productores comprendió 23 preguntas; el análisis y procesamiento de las encuestas se hizo con el programa Microsoft Excel.

El tamaño de muestra para cada región se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Tamaño de muestra de productores encuestados por región de estudio, 2014.

Región	Número de productores	Tamaño de muestra	Cuestionarios aplicados
Comarca Lagunera	396	24	27
Hermosillo, Sonora	86	7	9
Jiménez Chihuahua	121	9	12

El precio ponderado del kilogramo de nuez pecanera, se obtuvo multiplicando el valor en pesos por kilogramo de nuez por el porcentaje de cada forma de comercializar sumando todas las formas de comercializar la nuez que tuvo el productor, ya que hay productores que venden en diferentes porcentajes y a diferentes precios su cosecha.

Para conocer la presencia y operación de empresas comercializadoras - procesadoras de nuez en las regiones de estudio, se diseñó un cuestionario aplicado a éstas empresas. El cuestionario constó de 17 preguntas que sirvieron como guía de entrevista aplicadas a dichas empresas. A partir de la información obtenida se describió el apartado correspondiente. En la Comarca Lagunera se entrevistaron dos empresas; en Hermosillo, Sonora otras dos y en Jiménez, Chihuahua cinco.

Resultados y Discusión (letra Times New Roman 12, bold)

Aspectos Técnicos

La primera diferencia encontrada en las regiones de estudio se refiere a la superficie de los huertos; de acuerdo al padrón de productores el tamaño promedio para la Comarca Lagunera, Hermosillo Sonora y Jiménez Chihuahua es de 8.7, 215.8, y 50.4, ha, respectivamente. Dicha situación propicia la existencia de gran número de huertos pequeños en la Comarca Lagunera, tamaño mediano en la región de Jiménez, Chihuahua y de tamaño grande en Hermosillo, Sonora.

Aun cuando en la Comarca Lagunera y Jiménez, los rangos máximos de superficie encontrados son similares (150 ha), la primera región presenta un gran número de huertos pequeños (85% de los huertos tiene menos de diez hectáreas). La región de Hermosillo, Sonora tiene los huertos más grandes.

Otra diferencia está referida al tipo de riego utilizada en su cultivo. En la Comarca Lagunera el 92% de los huertos riegan con agua proveniente de presa, en Jiménez, Chihuahua este tipo de riego es del 15%, y en Hermosillo, Sonora se riega sólo con agua bombeada del subsuelo. La situación anterior pone en ventaja a los productores que disponen de agua cuando el cultivo lo requiere (los de Hermosillo, Sonora); no así los que dependen de la disposición de agua en las presas y del tandeo que rige el riego en su zona (Comarca Lagunera y Jiménez Chihuahua).

En lo referente a las dos variedades utilizadas en sus huertos una para polinizar y la otra para ser polinizada, se observa que mientras en la Comarca Lagunera y Jiménez Chihuahua la proporción de nuez Western es mayor (65.7 y 80.8% respectivamente), en Hermosillo, Sonora es menor (24.7%); utilizándose en la primer zona como polinizadora la Wichita y en Hermosillo, la Western.

Respecto a rendimientos obtenidos por unidad de superficie, los productores de la Comarca Lagunera registraron los más bajos (1.4 ton /ha^{-1}, mientras los de Jiménez, Chihuahua y Hermosillo, Sonora registran 1.7 y 2.7 ton ha^{-1}) lo que puede atribuirse a la disponibilidad menos frecuente en los riegos efectuados como a la menor atención técnica que reciben los huertos, pues son productores con superficies más pequeñas que las manejadas en Jiménez y Hermosillo. La edad de los huertos es similar en las tres zonas (27 años en promedio). Orona *et al.* (2013) señalan que en el norte de Coahuila la edad promedio de las huertas comerciales establecidas con variedades distintas a Western

y Wichita es de 21 años, mismas que registraron un rendimiento de 1.4 t ha^{-1}, indicando que la asesoría técnica contribuye a mejorar la productividad del nogal. En estudios anteriores se encontró como resultado para los productores ejidales un promedio de producción de 0.91 t ha^{-1} en rendimiento (Orona *et al.*, 2006).

Con relación al nivel de equipamiento poscosecha es la región de Hermosillo, Sonora la más equipada, cada productor cuenta con un promedio de seis implementos utilizados para ello; en Jiménez, Chihuahua, se registra un promedio de cuatro, y en la Comarca Lagunera solo uno. Este equipamiento se refiere a vibradora, bodega, bodega improvisada, bodega de refrigeración, quebradora, seleccionadora, empacadora, descascaradora, secadora y limpiadora. Por lo cual la falta de infraestructura es un punto que requiere ser atendida para la producción de la nuez sobre todo en la Comarca Lagunera. Cabe resaltar que en la región de Hermosillo, Sonora el uso de la secadora de nuez es una necesidad, por ser una zona húmeda localizada en la Costa del Pacífico, donde además se usan defoliantes para poder cosechar la nuez, lo que aumenta los costos de producción del productor.

La región de Hermosillo, Sonora tiene menor incidencia de plagas, después le sigue Jiménez Chihuahua y con más incidencias y variedad de éstas, la Comarca Lagunera. Para disminuir el problema de barrenador del ruezno (*Cydia cariana*) y barrenador de la nuez (*Acrobasis nuxvorella*), en el estado de Sonora existen acciones que regulan la movilización de material vegetativo al estado, lo que evita la introducción de éstos barrenadores y otras plagas provenientes de diversas regiones productoras de nuez. En las otras dos regiones de estudio, para el control biológico de estos barrenadores se liberan diferentes especies de *Chrysopa* y *Trichogramma.* La mayor presencia de plagas en la Comarca se atribuye a la menor atención y asistencia técnica que recibe el cultivo por parte de los pequeños productores que predominan en la zona. Las plagas encontradas aquí coinciden con las reportadas por Nava y Ramírez (2002), Tarango (2005) y Aguilar (2007). En los últimos tres años Ávila-Rodríguez *et al*. (2015), encontraron infestaciones y daños al follaje del nogal por un micro lepidóptero del género *Coptodisca*.

Aspectos Socioeconómicos

La asesoría técnica sobre el manejo de los huertos es otra diferencia marcada. Así, mientras que, en la región de Hermosillo, Sonora todos los productores reciben asistencia técnica; en Jiménez, Chihuahua lo recibe un 66% y en la Comarca Lagunera sólo el 51%. Cabe resaltar que en la primera región se celebra anualmente un Simposio Internacional de Nogal Pecanero, a donde acuden productores, comercializadores y agentes prestadores de servicios, representantes de instituciones gubernamentales y del sistema producto nuez, a escuchar conferencias de Investigadores de renombre involucrados en la producción de este cultivo. Respecto a estar agremiados a alguna organización de productores, se observa que mientras en Sonora nueve de cada diez productores lo están; en Jiménez Chihuahua son seis de cada diez y en Comarca Lagunera sólo 1.5 de cada diez pertenece a alguna organización. La situación anterior explica el por qué los productores de las tres regiones estudiadas tienen diferente nivel de acceso a fuentes financieras y de asistencia técnica, siendo la organización de éstos lo que propicia la obtención de mayores apoyos.

En lo referente a formas de comercializar la nuez, en Hermosillo, Sonora se hace bajo dos formas: a granel seleccionada por tamaño y seleccionada envasada para venta a mayoristas; en Jiménez Chihuahua aparte de las formas mencionadas se hace seleccionada, envasada y vendida a mayoristas, y en la Comarca Lagunera, adicional a las formas comercializadas en Jiménez, Chihuahua, se comercializa descascarada y como huertos en pie, ésta última forma de venta de nuez se hace por productores que carecen de recursos económicos para el manejo de su cultivo, resultándoles más

práctico vender su huerto antes de invertir en él un recurso que no tienen, asegurando de ésta forma un ingreso mínimo. En la recepción de financiamiento para producir se encontró que la mayor proporción de productores que lo reciben son los de Hermosillo, Sonora (55.5%), cabe mencionar que en ésta región existen productores que no lo reciben porque no lo requieren, su capacidad financiera está solventada, mientras que en Jiménez, Chihuahua y Comarca Lagunera ésta proporción es del 25%.

El precio ponderado recibido por los productores de nuez en la Comarca Lagunera, Hermosillo, Sonora y Jiménez fue de 40.36, 73.1 y 61.03 pesos por kilogramo, observándose que éstos precios son más bajos para los productores que cuentan con menor superficie lo cual puede atribuirse al menor poder de negociación por los volúmenes comercializados, a la calidad de la nuez vendida o al tipo de comprador que se destina.

Comercializadoras y Procesadoras de Nuez en las Regiones de Estudio

Comarca Lagunera. En esta zona se entrevistó a dos empresas; Summit Pecans y Comercializadora de Nueces Finas, S.A. de C.V. La primera tiene cuatro años operando en la región y la segunda doce. Los municipios donde opera Summit Pecans son los de San Pedro de las Colonias, Coahuila; Nazas y Peñón Blanco, Durango, con sede en Torreón, Coahuila. Compra nueces en presentación de arpillas directamente a productores para su posterior procesamiento y comercialización de manera embolsada bajo diferentes presentaciones y gramajes; corazón de nuez natural, corazón de nuez garapiñada, corazón de nuez de chocolate, pecan bites de chocolate, pecan bites de chocolate blanco, pecan bites de chocolate amargo, corazón de nuez tostada con sal, etc., así como nuez utilizada para repostería en mitades, pedazos y granillo y atiende principalmente el mercado nacional. Es una empresa moderna que emplea para su comercialización ampliamente el internet. Reporta volúmenes comercializados bajos (cien toneladas actualmente). Cuenta con vehículos de reparto, cuartos fríos, empacadora, seleccionadora, equipo de procesamiento y transformación y se autofinancia.

Comercializadora de Nueces Finas, S.A. de C.V. tiene su sede en Parras de la Fuente Coahuila, localizado a 120 kilómetros de la Comarca Lagunera. Cuenta con compras y ventas vía internet localizada en varias ciudades de la República Mexicana (Nuevo León, Veracruz, Estado de México). Los volúmenes manejados suman hasta doscientas toneladas anuales, mismas que descascara y transforma para su distribución y venta junto con otras frutas deshidratadas. Tiene ocho años operando y las presentaciones en que comercializa su nuez es en corazones, pedacería, granillo y polvo de nuez para repostería. El mercado que atiende es nacional y se maneja con recursos propios, aunque ha recibido apoyos del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) y la Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA).

Hermosillo Sonora. Aquí, las dos compañías comercializadoras – transformadoras de nuez pecanera entrevistadas fueron Agroprocesamientos de Sonora, S.A. de C.V., y Maco Pecan, S.A de C.V. La primera tiene ocho años operando ahí y la segunda once, ambas de capital mexicano. Maco Pecan S.A. de C.V. es una compañía principalmente comercializadora. Nace en la década de 1970 en El Sauz Chihuahua en 2012 comenzó a exportar nuez en cáscara a Estados Unidos. En 2014 cambió su sede a Torreón Coahuila (Comarca Lagunera), donde procesa nuez (nuez mitades, pedazo grande, pedazo mediano, pedazo chico, granillos, granzón, polvo de nuez y nuez MACADAMIA, y se abastece de nueces de Sonora, La Comarca Lagunera, Durango, Coahuila y Chihuahua. Sus mercados de exportación son Estados Unidos (a través de seis compañías pecaneras) y China. Los volúmenes comercializados-transformados de nuez pecanera fluctúan entre los 15 y 18 mil toneladas de nuez anualmente. Abastecen de nuez a compañías del mercado nacional como Bimbo, Sanborns, Nutri Select y El Alba; a seis compañías en Estados Unidos: Young Pecan, Harrel Nut Company, San Saba

Pecan, The Green Valley Pecan, Navarro Pecan y Carter Pecan; y a dos compañías en China. Cabe mencionar que en Hermosillo Sonora hay productores integrados directamente al mercado Chino canalizando el producto por los Puertos de Manzanillo Colima y Guaymas, Sonora en contenedores de veinte toneladas. Los compradores Chinos contactan directamente al productor mediante compradores que acuden a la región a visitar los huertos aún en pie; establecen contactos con el productor y mediante llamadas telefónicas o vía internet acuerdan el precio de venta. La transacción se realiza directamente entre el productor y el comprador Chino.

Agroprocesamientos de Sonora, S.A. de C.V. se dedica a la compra y procesamiento de todo tipo de dulces y productos de confitería, no es especializado en nueces. Principalmente al garapiñado de nuez, nuez natural, bola de celofán en distintos gramajes. Los volúmenes de nuez que procesa se canalizan al mercado local por tiendas comercializadoras de productos de conveniencia como OXXO, Seven Eleven, entre otros.

Jiménez, Chihuahua. Se identificaron cinco compañías, tres de las cuales tienen menos de diez años operando en la región; movilizan volúmenes que oscilan entre las mil y cinco mil toneladas anuales, éstas son: Agroprocesamientos de Sonora, S.A. de C.V.; Procesadora Guevara, y Grupo La Nogalera, con sede en Hermosillo Sonora, Delicias Chihuahua y Cd. Juárez Chihuahua, respectivamente. La primera se abastece de nuez en Sonora y Chihuahua y la segunda de las principales regiones productores de México. La tercera empresa es la más pequeña y más joven, tiene dos años operando y es la que requiere de mayor apoyo y financiamiento para seguir adelante; a diferencia de las otras dos, ésta sólo compra, selecciona vende la nuez a las grandes empresas transformadoras. Las otras dos compañías identificadas fueron Select pecans y Savage equipment. La primera, es una empresa mexicana que nació en 1982 en Delicias, Chihuahua, pero opera también en Estados Unidos, procesa todo tipo de nueces, uva, ciruela pasa y cacahuates, la segunda nació en 1965 en el estado de Oklahoma y tiene 32 años operando en México. Su giro principal es la fabricación de equipo rudo como maquinaria para el manejo de nueces, vibradoras, quebradoras, limpiadoras, descascaradoras, seleccionadoras, cosechadoras mecánicas, equipo de clasificación de nuez, de poda; de bombardeo, etc., y complementariamente procesa nueces de todo tipo, incluida la pecanera.

Los volúmenes procesados anualmente por la primera y segunda empresa oscilan entre siete mil y nueve mil toneladas, respectivamente; la primera se abastece del mercado local, mientras la segunda, de todas las regiones productoras de México. Compran y exportan nueces en cáscara y sin cáscara a los Estados Unidos y el mundo entero, y cuentan con toda la infraestructura de procesamiento y transformación de la nuez, además de mecanismos de distribución de sus productos.

Son empresas integradas desde la producción, comercialización, transformación y distribución de la nuez pecanera en México y fuera del país, sobre todo Savage equipment, que cuenta con sucursales de compra y procesamiento en los Estados Unidos. El marketing lo realizan por redes sociales y sus productos son conocidos en el mundo entero. Son empresas autofinanciadas y con capacidad de préstamo a los productores y comercializadores de nuez que trabajan para ellas.

Conclusiones (letra Times New Roman 12, bold)

En la caracterización del sistema de producción, se encuentran similitudes en las tres regiones en cuanto a la edad del huerto, aunque la región de Jiménez Chihuahua tiene más años como zona productora de nuez pecanera; las variedades sembradas predominantes en los tres sitios son Western y Wichita con más del 90% aunque en diferentes proporciones por sitio; respecto a los rendimientos promedio obtenidos, éstos son mayores en la región de Hermosillo Sonora, seguido por Jiménez Chihuahua y los más bajos en la Comarca Lagunera, esta situación de menos rendimientos se explica por la falta de asesoría técnica, menor organización de productores y la falta de financiamiento para

producir. Por lo tanto, hace falta apoyar más a la Región Comarca Lagunera con organización de productores, asesoría técnica y financiamiento.

Las formas de comercializar la nuez son mayores en la Comarca Lagunera que en Jiménez, Chihuahua y Hermosillo, Sonora; en ésta última región sólo hay dos formas de comercializar: a granel seleccionada por tamaño y seleccionada envasada para venta a mayoristas.

El mayor precio ponderado de nuez recibido por los productores de Hermosillo se debe a la forma en que comercializan su producto y al mercado final que tiene su producto; en este caso China, pues las otras dos regiones comercializan en mayor proporción con comercializadoras provenientes de Estados Unidos, quien finalmente abastece al mercado europeo y oriental.

La presencia y operación de empresas comercializadoras – procesadoras en la región de Jiménez Chihuahua es mayor y fue el estado de Chihuahua donde nacieron las primeras empresas de éste tipo, extendiéndose posteriormente al resto del país.

El creciente nacimiento y proliferación de empresas comercializadoras – procesadoras se debe al creciente mercado de la nuez pecanera en el mundo, identificándose empresas de tipo familiar que aprovechan estas áreas de oportunidad.

El destino de la nuez pecanera de la región de Hermosillo Sonora y Chihuahua hacia el mercado Chino representa una nueva oportunidad de negocio en México y abre la posibilidad de nuevos mercados. Esta situación favorece a los productores mexicanos, cuya nuez es vendida directamente al mercado chino sin triangular por comercializadores Estadounidenses.

Para reducir las brechas en productividad entre las huertas de mayor y menor tamaño y entre regiones es importante apoyar al eslabón más débil, representado por los pequeños productores, con la implementación de: programas de financiamiento para producir y comercializar, asesoría técnica sobre todo en el área de plagas y enfermedades y capacitación en el manejo de la huerta sobre todo en manejo de riegos; y fortalecer la infraestructura de las huertas para un mejor manejo de las nuez y poder vender con mayor valor agregado.

En el comparativo entre regiones si se quiere igualar a Sonora es necesario mejorar sobre todo en los aspectos de organización, capacitación y disponibilidad de financiamiento, aspectos en los cuales supera ampliamente a las otras dos regiones estudiadas.

Referencias

Aguilar P., H. 2007. Principales plagas del nogal en el estado de Coahuila. Publicación Especial 14. Sitio Experimental Zaragoza-CIRNE-INIFAP. Campo Experimental Saltillo. Zaragoza, Coahuila, México. (14) 38

Arreola Ávila Jesús G., Lagarda Murrieta Angel, Medina Morales Ma. Del Consuelo. 2002. Tecnología de producción en Nogal Pecanero. Libro Técnico Núm. 3. Primera edición. INIFAP. Campo Experimental La Laguna, Matamoros, Coahuila.

Ávila-Rodríguez, V., Nava-Camberos, U., Reyes-Carrillo, J. L., de la Peña, C. G., Márquez-Hernández, C., and García-Hernández, J. L. (2015). Primer Reporte de Coptodisca lucifluella1 en Huertos de Nogal, Carya en México. Southwestern Entomologist, 40(2), 419-426.

Baca, M. G. O. 2007. Posicionamiento del Cultivo del Nogal. Presentación a nombre del Consejo Mexicano de la Nuez (COMENUEZ) en el evento del 50 Aniversario del Campo Experimental de la Laguna de INIFAP. Marzo de 2007. Matamoros, Coahuila.

Brison, R. F. 1976. Cultivo del Nogal Pecanero. 1ª Edición en español. Editorial CONAFRUT. México. 350 p.

Camarena, G. D. M., Sanjuán, L. A. I. 2005. Comercialización de la nuez pecan en el mercado europeo. Revista Mexicana de Agronegocios, vol. IX, núm. 17. Sociedad Mexicana de Administración Agropecuaria A.C. México.

CLIMATE-DATA.ORG. 2018. Disponible en: https://es.climate-data.org/location/30977/ (Consultado: 15 diciembre 2017).

Comité Mexicana del Sistema Producto Nuez, A.C. (2017). Estudio de Mercado Estratégico de la Nuez Pecanera. Disponible en http://www.comenuez.com/assets/estudio-estrategico-nuez-pecanera-v11.pdf. 112 p. (Consultado: 12 noviembre 2017).

Del Toro, M. J. A. 2013. Fondo Sectorial de Investigación en materia Agrícola, Pecuaria, Acuacultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos. Control integrado de plagas y enfermedades y uso eficiente del agua de riego en el cultivo de nogal pecanero. Sagarpa.

Espinoza, A. J. J.; Salinas, G. H.; Orona, C. I. y Palomo, R. M. 2009. Planeación de la investigación del Inifap en la Comarca Lagunera en base a la situación de mercado de los principales productos agrícolas de la región. Revista Mexicana de Agronegocios, (XIII) 24: 758-773.

Fuller, Wayne. A. 2009. Samplig Statistics, 1st. Edition. Ed. John Wiley and Sons, Inc. 456 pp.

García-Hernández, J. L., Orona-Castillo, I., González-Cervantes, G., Valdez-Cepeda, R. D., Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguez, E., Fortis-Hernández, M., & Segura-Castruita, M. A. 2009. Interacciones nutrimentales y normas de diagnóstico de nutrimento compuesto en nogal pecanero (Carya illinoensis). Revista Chapingo. Serie horticultura, 15(2), 141-147.

Gauke, L.J., Mendoza-Herrera, M.A. Miller, A.J. & Wood, B.W. (2011). Geographic patterns of genetic variation in native pecans. Tree Genetics and Genomes, 7 (5), 917-932.

Graham, C.J. 2013. I International Symposium on Pecan and Other Carya in Indigenous and Managed Systems. In *Native Pecan Germoplasm in Louisiana* (p. 133-136).

Gray, O. S. 1973. Consider pollen when planting. The Pecan quarterly. 7(3): 24-25.

Herrera, E.A. (1995). Pecan Growing in the Western United States. Hort Technology, (5) 3, 3 - 4. Disponible en: http://horttech.ashspublications.org/content/5/3/200.short (Consultado: 19 diciembre 2017).

Medina, M. M. C. y Cano, R. P. 2002. Aspectos generales del Nogal Pecanero. *In*: Tecnología de producción en Nogal Pecanero. Libro técnico Núm. 3. Primera edición. INIFAP. Campo Experimental La Laguna, Matamoros, Coahuila. 222 p.

Nava C. U. y M. Ramírez D. 2002. Manejo integrado de plagas de nogal, In J. G. Arreola A. y I. Reyes J. [Eds.] Tecnología de Producción en Nogal Pecanero. Libro técnico No.3. Campo Experimental La Laguna-CIRNOC-INIFAP, Matamoros, Coahuila, México. pp. 145-176.

Orona C. I., Espinoza, A. J. J., González, C. G., Murillo, A. B., García, H. J. L. y Santamaría, C. J. 2006. Aspectos técnicos y socioeconómicos de la producción de nuez (*Caryai llinoensis* Koch.) en la Comarca Lagunera, México. Agricultura Técnica en México Vol. 32 Núm. 3 Septiembre-Diciembre 2006 p. 295-301.

Orona, C. I., Sangerman, J. D. M., Fortis, H. M., Vázquez, V. C., y Gallegos, R. M. A. 2013. Producción y comercialización de nuez pecanera (Carya illinoensis Koch) en el norte de Coahuila, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.4 Núm.3, 2013 p. 461-476.

Ramonet R. R., 2017. Programa de Protección Fitosanitaria del Nogal Pecanero en Sonora. *In:* Memorias del Simposio Internacional de Nogal Pecanero. INIFAP. Primera edición, Hermosillo Sonora, 98 p.

Román R., L. y T. Díaz V., y J. E. López A., y C. Watts, y F. Cruz B., y J. Rodríguez C., y J. C. Rodríguez. 2017. Evapotranspiración del cultivo de sandía (Citrullus lanatus) en la costa de Hermosillo, Sonora, México. Terra Latinoamericana, 35(1), 41-49.

Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). 2014. Panorama de la Nuez. Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero.

SENASICA, 2009. *Programa de trabajo de la campaña Manejo fitosanitario del nogal Durango.* Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera - Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera - Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (SIAP-SAGARPA). 2016.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera - Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (SIAP-SAGARPA). 2017.

Suárez J., A., Obregón S., E., Urzúa E.., Cervantes M., J., García F., J.A., Reyes V., N. del C., y Urrea L., R. 2016. Retos y Oportunidades para el Aprovechamiento de la Nuez Pecanera en México. Primera Edición. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ): p. 3.

Tarango R., S. H. 2015. Nogal en *Agenda Técnica Agrícola de Chihuahua.* Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Ed.). Segunda edición, México; D.F. Pág. 85-93.

Toole, E. R.1965. Pecan (Carya illinoensis). In: Fowells, H. A. (Comp.). Silvics of forest trees of the United States. Agriculture Handbook 271, Washington, DC. 12-15.

US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, N.D.L. (2016). National Nutrient Database for Standard Reference Release 28. Disponible en http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl (Consultado: septiembre de 2017).

United States Department of Agriculture - National Agricultural Statistics Service (USDA-NASS). 2011. Annual Non citrus Fruits and Nuts Summary. 1(2).

Wagner, Vandrame; Hazel, W. 2005. Carya illinoensis Pecan. In R.E. Litz (*Ed*), *Biotechnology of fruit and nut crops*. CABI.

INCIDENCIA DE BACTERIAS PATÓGENAS AL HUMANO Y LA APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE REDUCCIÓN DE RIESGOS DE CONTAMINACIÓN EN LA CADENA PRODUCTIVA DEL MANGO CV. TOMMY ATKINS

Estrada-Loera, R.[1*]; Orona-Castillo, I.[2]; Gallegos-Robles, M.[2]; García-Hernández, J.[2]; Osuna-García, J.[3]; Sánchez-Lucio, R.[3]; Vázquez-Vázquez, C.[2]

[1] Doctorado Institucional en Ciencias Agrícolas y Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia. Venecia, Gómez Palacio, Durango, México. Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo km 35. Apartado Postal 1-142 C.P. 35000. Teléfono (871) 7118876.
[2] Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia. Venecia, Gómez Palacio, Durango, México. Carretera Gómez Palacio- Tlahualilo km 35. Dirección postal: Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango. C.P. 35110 Venecia, Gómez Palacio, Durango, México. Teléfono: 52(871)7541643. *Autor de correspondencia: Miguel Ángel Gallegos Robles: E-mail: magallegos@ujed.mx;
[3] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Santiago Ixcuintla, km 6 Entronque Carretera Internacional México-Nogales, Santiago Ixcuintla Nayarit. Apartado Postal No. 100. Teléfono (55) 3871 8700 Ext. 84415 y 84427.

*Autor responsable: rm.estrada87@gmail.com; Av. Guadalupe Victoria s/n, Nazareno, Lerdo, Durango. México. C.P. 35188; 8711641584.

Resumen
Este estudio se realizó para determinar la prevalencia de bacterias patógenas al humano en la producción y empacado de mango c.v Tommy Atkins. Se estudiaron tres huertos con diferente nivel de implementación de los Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación (SRRC), uno inicial, otro intermedio y otro certificado ante el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), y una empacadora; se analizaron un total de 288 muestras en el año 2015 y 2016. Se utilizó un diseño de bloques al azar, con tres repeticiones y arreglo factorial, donde los factores fueron: A= microorganismo, B=tipo de muestra, C= año y factor D=estado de avance en huerta. Para el caso de los análisis en muestras de empaque solo se consideró los factores A, B y C. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en las muestras provenientes de huertas para microorganismo, año, huerta y tipo de muestra, así como en la interacción de los cuatro factores. En las muestras de empaque se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el factor microorganismo, muestra, año y en la interacción microorganismo por año; se determinó la presencia de *Salmonella* spp en 2 UFC log 10/mL en agua de pozo. Los resultados mostraron mayor incidencia de *Klebsiella* spp en 2015 con una diminución en 2016, caso contrario a lo que sucedió con *E.coli*. El grado de avance en la aplicación de SRRC se mantuvo correlacionado con la incidencia de contaminación microbiana en los huertos, presentando menor contaminación microbiana el huerto certificado por SENASICA.
Palabras clave: Inocuidad, *Klebsiella*, *E.coli*, mango, enterobacterias.

Introducción
En la actualidad, la comercialización de los productos con altos estándares de calidad e inocuidad, se van convirtiendo en la clave del éxito para el comercio internacional. Sin embargo, la inocuidad

alimentaria es constantemente desafiada por enfermedades trasmitidas por alimentos (ETAs), las ETAs son un problema importante a nivel mundial ya que ocasionan alta morbilidad y mortalidad. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que cada año enferman en el mundo unos 600 millones de personas, donde uno de cada diez es por ingerir alimentos contaminados y 420, 000 mueren por esta misma causa (OMS, 2015).

El mango (*Mangifera indica* L.) es el fruto tropical más popular e importante a nivel mundial. México es el cuarto productor de mango en el mundo (Hernández, 2015). A nivel nacional el cultivar tiene importancia comercial con una superficie de 186 936.9 ha, y un valor de producción de 4,847.9 millones de pesos (SAGARPA-SIAP, 2014).

Las frutas además de ser atractivas en cuanto a su apariencia, frescura y valor nutritivo, su consumo no debe poner en riesgo la salud humana. El mango, como producto de exportación, debe otorgar la garantía de ser inocuo (Vera *et al.*, 2015). Por ello es importante determinar los puntos críticos de contaminación (PCC) durante toda la cadena productiva, buscando la inocuidad del producto hasta que pueda ser consumido.

En México, para asegurar la inocuidad de un producto agrícola en el sector primario, se tienen implementados los Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación (SRRC), que tienen por finalidad reducir la probabilidad a través de la aplicación de Buenas Prácticas Agrícolas, de que un alimento se contamine durante el proceso de producción, cosecha o empacado al interactuar de manera directa o indirecta con sustancias y superficies de contacto que puedan introducir un contaminante de tipo biológico, químico o físico, y con ello la salud del consumidor sea amenazada (SENASICA, 2010).

El grupo de bacterias *Enterobacteriaceae*, son contaminantes biológicos de fácil adquisición y las frutas son un potencial vehículo de transporte; por lo tanto, debido a la creciente incidencia de las infecciones, hay una necesidad urgente para el control de brotes de intoxicación alimentaria asociados a frutas frescas. El presente estudio pretende mostrar la ocurrencia de enterobacterias asociadas al sistema productivo de mango en el estado de Nayarit, México.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en tres huertos de mango que forman parte del Programa de Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación, localizados en el municipio de Santiago Ixcuintla, Nayarit. Uno de los huertos está clasificado como inicial dentro de este programa; otro como nivel intermedio y un tercero certificado ante el SENASICA. También, se tomaron muestras en una empacadora de mango en la región. En total las muestras tomadas ascendieron a 288.

Muestras tomadas en las huertas

Se tomaron muestras del fruto antes de ser cosechado, cajas de cosecha, y manos de los cosechadores, las cuales se tallaron con hisopo embebido en solución salina (NaCl 0,85%), además se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 5 cm.

Muestras tomadas en el empaque

En la empresa empacadora se tomaron los siguientes tipos de muestras: fruto recién arribado a la empacadora, el cual no ha sido sometido a ningún proceso de desinfección, agua de pozo, la cual utilizan en todos los procesos dentro y fuera del empaque, agua para el lavado del fruto y agua después del lavado de los frutos, agua del hidrotérmico, frutos después de salir del hidrotérmico, agua del hidroenfriado, frutos después de salir del hidroenfriado, muestras de bandas transportadoras, muestras de manos de empacadores, frutos empacados y listos para su comercialización. Las muestras líquidas se tomaron en tubos Falcón de 50 mL, las muestras de fruto y superficies de contacto, se tallaron con hisopo embebido en solución salina (NaCl 0.85%). Todas las muestras se transportaron al laboratorio de biotecnología de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango, para su posterior procesamiento.

Aislamiento de Salmonella spp

El aislamiento e identificación de *Salmonella* se realizó de acuerdo al protocolo descrito por Andrews *et al*., (2007), el cual se describe brevemente; 25 mL o 25 g de muestra se pasaron a 225 mL de agua peptonada buferada (APB) y se incubaron por 24 h a 35 ºC. Después del periodo de incubación en APB, las muestras se pasaron a caldo tetrationato, 1 mL de muestra más 10 mL de caldo de tetrationato y se dejaron incubar de 18 a 24 h a 42 ºC, para posteriormente ser inoculadas en agar XLD (Becton Dickinson de México). Esas placas se incubaron de 22 a 50 h a 35 ºC. Toda colonia con las características de *Salmonella* se pasó a pruebas bioquímicas en agar tres azúcares y hierro (TSI por sus siglas en inglés), agar hierro-lisina (LIA por sus siglas en inglés), y agar citrato de Simmons. Para el conteo de unidades formadoras de colonias (UFC), se siguió la metodología descrita por Vázquez *et al*., (2015).

Aislamiento de E. coli O157:H7

Se empleó la metodología de acuerdo al protocolo descrito por Feng *et al*., (2011). Brevemente, se homegeneizaron las muestras en caldo EHEC suplementado con cefixime, cefsulodin y vancomicina y se incubaron de 18 a 24 h a 37 ºC, posteriormente se pasaron a agar MacConkey sorbitol con cefixime y telurito, se incubaron de 18 a 24 h a 37 ºC, luego se pasaron a agar TSAYE y posteriormente a agar EMB; se aislaron las colonias cuyas características eran de *E. coli* y se sometieron a las pruebas bioquímicas de indol (+), actividad de β-glucoronidasa (MUG) (-); TSI (A/A + Gas), Citrato (-),Sorbitol (-), por ser Sorbitol negativas. Para el conteo de UFC se trasfirieron 25 g o 25 mL de muestra en solución salina (0.85% NaCl) y se realizaron diluciones de 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3} y 10^{-4}, las cuales se inocularon en cajas Petri en agar MacConkey, se incubaron de 20 a 24 h a 35 ºC, posteriormente se realizó el conteo de UFC. Dado que el grupo de enterobacterias incluye también a *Klebsiella*, ésta fue aislada en las muestras analizadas en esta metodología.

Resultados y discusión

Aunque el objetivo de este estudio fue identificar la presencia de *Salmonella* spp y *E. coli* O157:H7, las pruebas microbiológicas en el estudio de 2015 y 2016 permitieron identificar otros tipos de microorganismos como *Klebsiella* spp, que se encontró en el 100% de las muestras analizadas.

Análisis de muestras en huertas

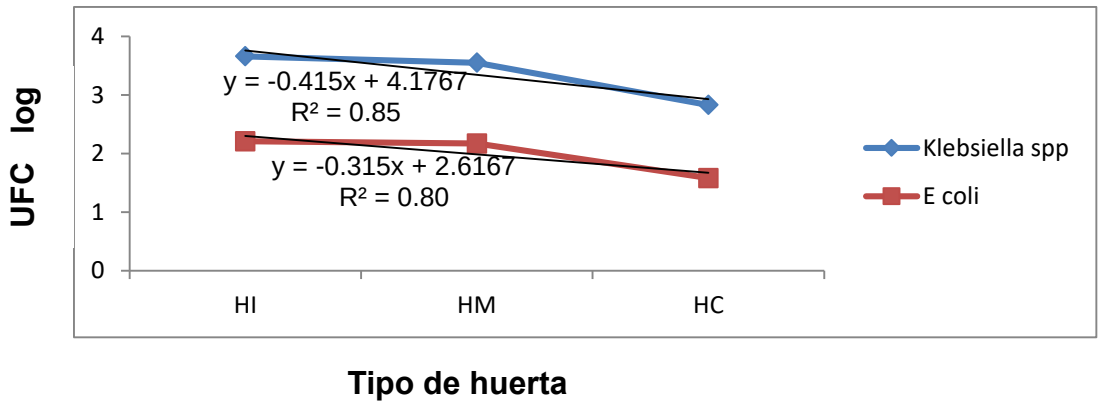


Figura 1. Prevalencia de *Klebsiella* spp y *E. coli* por grado de avance de las huertas en los SRRC. HI = huerta inicial, HM = huerta intermedia, HC = huerta certificada

La tendencia a disminuir UFC conforme se avanza en el grado de aplicación de los SRRC, fue lo esperado (Figura 1), se ha implementado en las huertas (R^2= 0.85 para *Klebsiella* spp; R^2= 0.80 para *E. coli*), pues la intención de los SRRC es reducir los riesgos de contaminación de origen biológico, químico y físico durante el proceso de producción, cosecha y empacado (SENASICA, 2010).

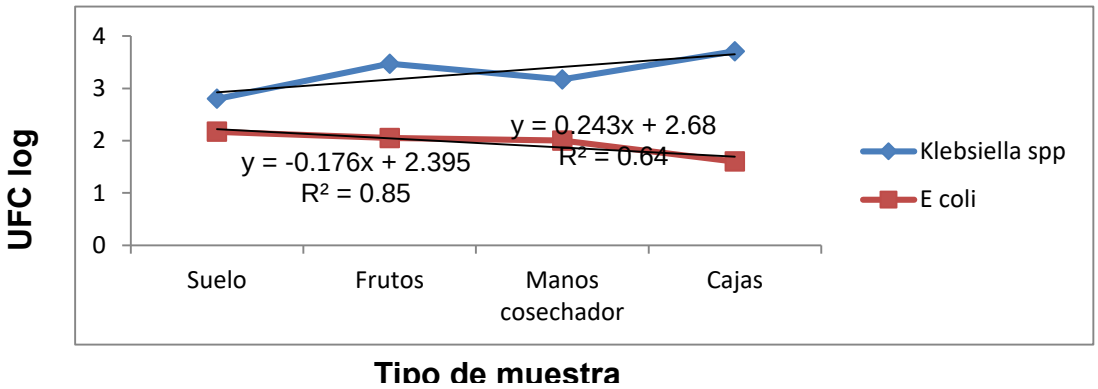


Figura 2. Prevalencia de *Klebsiella* spp y *E. coli* por tipo de muestra obtenida en las huertas.

La prevalencia de *Klebsiella* spp y *E. coli* por tipo de muestra (Figura 2) señala comportamientos diferentes, pues *Klebsiella* spp presentó menos UFC en las muestras de suelo, con tendencia a aumentar en frutos, manos de cosechadores y cajas de cosecha (R^2= 0.64). Por su parte *E. coli* mostró todo lo contrario (R^2= 0.85) a *Klebsiella* spp. El SENASICA (2010), menciona que la eficacia de los SRRC se sustenta en un profundo conocimiento de las condiciones productivas donde se produce el alimento de origen vegetal (Diagnóstico), una valoración adecuada y sustentada sobre los posibles contaminantes que puedan incorporar de manera directa o indirecta (Análisis de peligros), entre otros.

Análisis de muestras en empaque

Cuadro 1. Comparación de medias en muestras de empaque durante 2015 y 2016

Muestra	UFC log 10
Agua después del lavado	2.04 a
Manos	2.03 ab
Fruto antes de ser lavado	2.01 ab
Bandas trasportadoras	2.00 ab
Agua de pozo	1.96 abc
Fruto con hidroenfriado	1.95 abc
Agua de lavado	1.95 abc
Agua con hidroenfriado	1.92 abc
Agua de hidrotérmico	1.89 bc
Fruto con hidrotérmico	1.84 c
Fruto empacado	1.58 d

Medias con letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)

Dentro de la empresa empacadora, el agua de pozo, y el agua después del lavado de los frutos (Cuadro 1), fueron las muestras con mayor contaminación por *E. coli y Klebsiella spp*, y con menor incidencia el agua inicial, autores con trabajos similares como Sanna *et al*. (2016),

detectaron 48 % de *Escherichia coli* en agua de riego y la formación de 180 UFC en vegetales frescos. La persistencia de *Escherichia coli* O157:H7 en suelos puede contaminar el agua potable, por lo tanto, las frutas y los vegetales (Yao *et al*., 2014; Kłapeć *et al*., 2016).

La incidencia de *Salmonella* spp fue detectada en el año 2015 en una muestra de agua de pozo, en una concentración de 2 UFC log 10. La incidencia de *Salmonella* spp fue baja, pero es de interés señalar que el agua de pozo está menos expuesta a la contaminación que las aguas superficiales; sin embargo, en ciertas condiciones los pozos poco profundos, son afectados por el agua superficial o con grietas en su revestimiento, entre otras causas, lo que los hace estar expuestos a contaminación (Erlacher *et al*., 2015).

Conclusión

Los resultados sugieren tomar acciones correctivas que minimicen el riesgo de contaminación microbiológica durante el proceso de producción y empacado, por lo que es importante la cloración del agua las veces que sea necesaria, la desinfección de la maquinaria de trabajo, así como la higiene adecuada del personal, considerándose estos como puntos críticos de contaminación. Los esfuerzos de prevención deberán seguir enfocándose sistemáticamente en aumentar la seguridad alimentaria fortaleciendo los SRRC con la complementariedad de las buenas prácticas agrícolas, de manufactura e higiene.

Referencias

Andrews, W., H. Wang, A. Jacobson and T. Hammack. 2007. *Salmonella*. Bacteriological Analytical Manual. In: https://www.fda.gov/food/foodscienceresearch/laboratorymethods/ucm070149.htm. Consultado 13 de Abril de 2015.

Erlacher, A., M. Cardinale, M. Grube and G. Berg. 2015. Biotic stress shifted structure and abundance of *Enterobacteriaceae* in the lettuce microbiome. PLoS One. 10: 1-14.

Feng, P., S. Weagant and K. Jinneman. 2011. Diarrheagenic Escherichia. Bacteriological Analytical Manual. In: https://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm070080.htm. Consultado 13 de Abril de 2016.

Kłapeć, T., A. Cholewa, G. Cholewa, J. Dutkiewicz and A. Wójcik. 2016. Microbiological characterization of vegetables and their rhizosphere soil in Eastern Poland. Annals of Agricultural and Environmental Medicine 23: 559–565.

Organización Mundial de la Salud (OMS). 2015. Inocuidad de los alimentos. Disponible en: http://search.who.int/search?q=inocuidad+de+alimentos&ie=utf8&site=who&client=_es_r&proxystylesheet=_es_r&output=xml_no_dtd&oe=utf8. Consultado 13 de Mayo del 2016.

SAGARPA-SIAP, 2014. Cierre de producción agrícola. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/. Consultado 11 de abril de 2016.

Sanna, A., B. Meloni, A. Ruggeri, S. Succa, C. Sanna, V. Carraro and V. Coroneo. 2016. Microbiological quality of the water used in agriculture in Sardinia. 28: 158-170.

SENASICA, 2010. Anexo Técnico 1. Requisitos generales para el reconocimiento y certificación de Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación en la producción primaria de alimentos de origen agrícola. Disponible en: http://publico.senasica.gob.mx/?doc=15261. Consultado 12 de Enero de 2017.

Yao, Z., H. Wang, L. Wu, J. Wu, P. Brookes and Xu. Jianming. 2014. Interaction between the microbial community and invading *Escherichia coli* O157:H7 in soils from vegetable fields. Applied and Environmental Microbiology. 80: 70-76.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

ANÁLISIS DE VARIABLES BROMATOLÓGICAS DE ALFALFA (*Medicago sativa L.*) FERTILIZADAS CON FUENTES ORGÁNICAS E INORGÁNICAS.

ANALYSIS OF BROMATOLOGICAL VARIABLES OF ALFALFA (*Medicago sativa L.*) FERTILIZED WITH ORGANIC AND INORGANIC.

Ávila-Cisneros; R[1] *., Rocha-Valdez; J.L[1]., González-Torres; A[1]

[1]Profesores e Investigadores del Departamento de Ciencias Básicas de la División de Carreras Agronómicas de la UAAAN Unidad Laguna e integrantes del Cuerpo Académico UAAAN-CA-34. Dirección: Carretera a Santa Fe y Periférico Raúl López Sánchez (s/n), Colonia Valle Verde, Torreón, Coahuila, México.
Email:raavci2003@yahoo.com.mx.

RESUMEN

A mediados del cuarto trimestre del año 2017 se estableció un experimento con alfalfa (*Medicago sativa L*) de la variedad sundor en el ejido San Ignacio Municipio de San Pedro de las Colonias Coahuila mediante el diseño de experimentos bloques al azar con 6 tratamientos y 5 repeticiones. Tres tratamientos (A, B y E) fueron fuentes orgánicas de fertilizantes, C y D fueron fuentes inorgánicas y el F fue el testigo (sin fertilizante). La finalidad fue demostrar la verdad concedida a crédito de que las fuentes orgánicas de fertilizante a base de vermicomposta enriquecen la calidad bromatológica de la alfalfa y mejoran la correlación entre % de materia seca y % de proteína cruda. En ambas afirmaciones; después de validar el ANOVA por medio del Software de Olivares-FAUANL(2012) no se presentaron diferencias estadísticas significativas. Podemos concluir que las fuentes orgánicas a base de vermicomposta no generan resultados diferenciados en la calidad bromatológica de la alfalfa a pesar de ser más caros que las fuentes tradicionales inorgánicas.

PALABRAS CLAVES: Calidad, bromatológica, vermicomposta, alfalfa,

ABSTRACT

In the middle of the fourth quarter of 2017, an experiment was established with alfalfa (*Medicago sativa L)* of the sundor variety in the San Ignacio municipality de San Pedro de las Colonias Coahuila, through the design of randomized block experiments with 6 treatments and 5 repetitions Three treatments (A, B and E) were organic sources of fertilizers, C and D were inorganic sources and F was the control (without fertilizer). The purpose was to demonstrate the truth granted on credit that organic sources of vermicompost fertilizer enrich the bromatological quality of alfalfa and improve the correlation between% dry matter and% crude protein. In both affirmations. After validating the ANOVA through the Olivares-FAUANL Software (2012), no significant statistical differences. We can conclude that organic sources based on vermicompost do not generate differentiated results in the bromatological quality of alfalfa despite being more expensive than traditional inorganic sources.

KEY WORDS: Bromatological quality, vermicompost, alfalfa.

ANTECEDENTES

Molina y Córdova (2006) en un estudio presentado nos dan a conocer que de las 229 especies cultivadas en México; 179 son cultivos introducidos, 108 de ciclo anual y 71 perennes, con 9 mil 694 millones de hectáreas; en donde por supuesto está ubicada la alfalfa (*Medicago sativa* L). Pero además en la mayoría de los países latinoamericanos y del mundo, los forrajes constituyen aproximadamente el 80% del alimento consumido por los rumiantes durante su vida productiva. En México la alfalfa (*Medicago sativa* L.) es la leguminosa forrajera más utilizada para la alimentación del ganado lechero en las regiones árida, semiárida y templada. Su importancia radica en la cantidad de forraje obtenido por unidad de superficie cultivada, valor nutritivo, aceptabilidad y consumo animal, ya sea en estado fresco, heno o ensilado.

Villarreal-Gonzáles *et al*. (1998) realizaron un análisis bajo el auspicio de la compañía LALA S.A. de C.V sobre los impactos que ha llegado a tener la ganadería lechera en la región lagunera de Coahuila y Durango; y sobre el particular reportan: "la leche y sus derivados juegan un papel fundamental en la alimentación humana, el hombre usa la leche de varios animales para su propia alimentación. Por su alto valor nutritivo, la leche es uno de los alimentos esenciales para la alimentación del ser humano, su creciente consumo en México y el mundo se debe a que éste producto es una de las fuentes de proteína económicamente más accesibles y por lo tanto de mayor demanda en la población de bajos recursos". En la Comarca Lagunera – cuenca lechera del país- la alimentación del ganado se conforma básicamente de alfalfa, ensilaje de maíz, alimentos balaceados, los cuales se producen a nivel local; mismo que en el año 1997 se aprovisionaron en los siguientes porcentajes según la tabla número 1.

Tabla 1: Aprovisionamiento de insumos para la ganadería de la Comarca Lagunera en toneladas de forraje para el año 1997

Año	Avena forrajera	Zacate ballico	Maíz forrajero	Sorgo forrajero	Alfalfa	Total
1997	5500	2194	15962	12154	34499	70309
Prod. T/ha.	31.36	41.55	47.24	42.16	71.65	
% de materia seca	19	23	26	28	24	

Fuente: Villarreal-González et al (1998).

Tal como podemos apreciar en la tabla 1; desde hace más de 20 años la alfalfa es el forraje más utilizado por los productores de leche acercándose en ese tiempo a las 34 mil 500 toneladas y siendo el cultivo forrajero que promedia el mayor rendimiento de toneladas por hectárea con casi 72; y ocupando el tercer lugar en el contenido de materia seca (MS) con un 24%.

En México en 1968 se sembraron 160 000 hectáreas con una producción de 9 millones de toneladas de materia verde. Mientras que para 2006 la superficie cultivada con alfalfa fue de 379 103 hectáreas y se cosecharon 28 millones de toneladas de forraje verde con un rendimiento promedio anual de 75.24 Ton ha^{-1} (Mendoza-Pedraza *et al*, 2010). Tal como se puede observar en los dos estudios anteriores la producción de alfalfa en forraje verde promedian las 73 toneladas por hectárea; referencia que será de utilidad para comparar la producción obtenida en la presente investigación relacionada con alfalfa fertilizada con fuentes orgánicas e inorgánicas.

Además hay que agregar que la alfalfa forrajera es muy importante en la alimentación del ganado en especial de producción lechera. La alfalfa se cultiva en una amplia variedad de suelos y climas. Se adapta a altitudes comprendidas entre 700 y 2800 msnm y se adapta a suelos profundos, bien drenados, alcalinos y tolera la salinidad moderada; sin embargo, su desarrollo es limitado en pH inferior a 5.0. La temperatura óptima de crecimiento fluctúa entre los 15 y 25 ºC durante el día y de 10 a 20 ºC en la noche. Por la longitud y profundidad de sus raíces, es resistente a la sequía, ya que obtiene agua de las capas profundas del suelo. Pertenece a la familia de las Fabaceae y tiene un notable consumo de calcio (Ca) y Magnesio (Mg) que, de contenerlos el suelo en proporciones suficientes para satisfacer sus requerimientos, es necesario solamente el agregar fertilizantes fosfatados y potásicos. La alfalfa (Medicago sativa L.) es una planta perenne, de crecimiento erecto, tallo poco ramificado de 60 a 100 cm de altura; tiene hojas trifoliadas, con un pedicelo intermedio más largo que los laterales, foliolos ovalados, generalmente sin pubescencia, con márgenes lisos y bordes superiores ligeramente dentados (Muslera y Ratera, 1991).

Jolalpa-Barrera, et al (2009) escriben que en México, la producción de alfalfa se obtiene en su inmensa mayoría en condiciones de riego y tiene una relación directa con el desarrollo de la ganadería bovina productora de leche, ya que este cultivo constituye un forraje de alta calidad. De ahí que las principales zonas productoras de alfalfa se ubiquen cerca de las principales cuencas lecheras. Los principales estados que producen alfalfa son Chihuahua, Hidalgo y San Luis Potosí.

Valdez-Quintanilla (2018) reporta datos actualizados en la producción de alfalfa para la Comarca Lagunera y menciona que en el ciclo de cultivos perennes 2017 destaca la producción de alfalfa verde con una siembra por gravedad de 33,941 hectáreas y una producción de 3,060,233 toneladas. Por bombeo se sembraron 5831 hectáreas con una producción de 443,585 toneladas. El valor de la producción de alfalfa sumó 2,047millones 721 mil pesos, donde el cultivo de la alfalfa participo con un 71% del valor de la producción en la agricultura de La Laguna de Coahuila y Durango en el año arriba mencionado; esto sirve para alimentar a un sector pecuario que en su totalidad fue un negocio del orden de 32 mil 283 millones 960 mil pesos.

EFECTOS DE FERTILIZACIÓN ORGÁNICA E INORGÁNICA EN LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE, MATERIA SECA, PROTEÍNA CRUDA Y ALGUNOS MINERALES EN FORRAJES.

La fertilización con fuentes orgánicas no es una corriente nueva para lograr buenas producciones en la alfalfa; hay una serie de trabajos que se mencionan más adelante relacionados sobre todo con estiércol de bovinos; pero en lo relacionado con vermicompost en alfalfa vale la pena citar el trabajo de Correa-Morocho (2013), quién mediante un diseño de experimentos completamente al azar evaluó en la provincia de Chimborazo, Ecuador diferentes dosis de vermicompost en tratamientos de 4, 6; y 8 toneladas por hectárea (t/Ha); y concluye de la manera siguiente: ”La aplicación de diferentes niveles de vermicompost, afectaron estadísticamente su comportamiento productivo, en el primer corte ya se encontraron mejores respuestas, con la utilización de 8 t/Ha de vermicompost; se mejoró la cobertura basal (45.07%), producción de forraje verde (PFV) logrando 16.87 t/PFV/Ha, número de tallos por planta (51.33 tallos/planta); y en número de hojas por tallo se logró la cantidad de 117.43 hojas. En el análisis económico se ratifica que se logra rentabilidad costo-beneficio de 1.7 aplicando la dosis de 8 t/Ha”. Sin embargo, relacionado con materia seca (t/Ha/año) la mejor producción se obtuvo con el menor nivel de vermicompost es decir; 4 t/ha; este generó una producción de 33.53 t/ms/Ha/año; superior a los niveles de fertilización de 6 y 8 t/Ha

mismos que generaron 31.95 y 31.32 ms/t/ha/año respectivamente; y estadísticamente hablando no hubo diferencia significativa.

Determinar la bromatología de cada uno de los cultivos es poder cuantificar variables que participan directamente en la nutrición de los hatos ganaderos y en la generalidad esto se hace tomando muestras representativas. Cuando una muestra de alimento se coloca en un horno a una temperatura de 105 grados centígrados durante 24 horas, el agua se evapora y el alimento seco restante se llama materia seca (ms). En sus etapas inmaduras las plantas contienen 70-80% de agua y 20-30% de materia seca. Sin embargo, las semillas no contienen más de 8-10% de agua y un 90-92% de materia seca. La materia seca del alimento contiene todos los nutrientes requeridos por la vaca (González-Crende; 2014). De ese nivel de importancia es esta característica bromatológica; por lo que buscar alternativas de fertilización que mejoren la calidad en las plantas en su altura, materia seca; y sus niveles proteicos; y si además se logra con metodologías sustentables se está incidiendo en el cuidado del medio ambiente. Sobre cultivos forrajeros se tiene la experiencia de Torres Moya et al (2016) en un experimento con cultivos forrajeros de avena sativa no encontraron diferencia estadística en algunas variables bromatológicas para los tratamientos aplicados de fuentes orgánicas e inorgánicas de fertilización; y lo relacionan con las siguientes circunstancias: "Los resultados se pueden relacionar directamente con la disponibilidad de nitrógeno de los fertilizantes inorgánicos en comparación con los abonos orgánicos. Los fertilizantes inorgánicos de liberación rápida se solubilizan fácilmente en el suelo, por lo cual su efecto en la nutrición de las plantas es directo y rápido. Por otro lado, los abonos orgánicos liberan algunos nutrientes a una manera más lenta ya que este proceso depende directamente de la actividad microbiana en el suelo y de algunos factores abióticos; ello dificulta garantizar las necesidades nutricionales de los cultivos inmediatamente".

En estudios sobre alfalfa y muy cercano a el área de estudio del proyecto presentado Vázquez-Vázquez C. *et al* (2010) trabajaron con 5 tratamientos de estiércol con 0, 40, 80, 120; y 160 toneladas/hectárea; y como testigo el fertilizante químico (30-100 Kg/Ha de N y P) con las variedades CUF 101, Sandor y Altaverde. Relacionado con el rendimiento de materia seca (ms) en microgramos (mg). Los resultados más importantes se presentan en la tabla 2 para 120 T/Ha de estiércol y el testigo a base de nitrógeno y fósforo. En la tabla se pueden observar un incremento en los valores cuya explicación es que el aprovechamiento de los nutrientes presentes en el estiércol es debido a la forma gradual que libera minerales éste tipo de fertilización.

Tabla 2: Rendimiento promedio del T4 vs el testigo en mg de ms

Mes de corte	T4(160 T/Ha) de estiércol	Testigo (30-100 base N y P) por Ha
Diciembre 2004	3.1	2.7
Enero 2005	1.6	1.45
Febrero	3.8	2.8
Marzo	4.4	3.3
Abril	4.2	3.1
Junio	4.3	3.2

Flores – Aguilar *et al* (2012) han aportado investigación relacionada con la alfalfa (*Medicago sativa L*) y su fertilización con fuentes orgánicas, inorgánicas y la combinación de ambos; pues mediante un diseño de experimentos en bloques al azar con 4 tratamientos (T1 testigo, T2 Fertilizante orgánico de estiércol ovino, T3 fertilizante inorgánico superfosfato triple; y T4 que fue una combinación de orgánico e inorgánico) generaron como resultados que para la variable

bromatológica microgramos (mg) de materia seca por hectárea (MS ha^{-1}) el mejor en términos cuantitativos fue el T4 con 3.3 mg de ms ha^{-1} y el de más bajo rendimiento el T1 con solo 2.1 mg de ms ha^{-1} ; es decir fue la fertilización combinada de fuentes orgánicas e inorgánicas los que mejor resultados arrojaron a favor de la variable materia seca.

Otro componente bromatológico de importancia es la llamada proteína cruda (pc) o proteína bruta; que se refiere al % de proteína que contiene un alimento después de haberlo sometido al análisis químico o al análisis bromatológico; el método de Kjeldahl se utiliza para determinar la proteína cruda tomando como base el nitrógeno de la muestra; pues la proteína es el elemento plástico de todo ser vivo y es el componente fundamental de los tejidos blandos que dan forma los cuerpos vivos; de ahí su importancia; y en combinación con la energía son los nutrientes que sostienen la vida. La proteína cruda se expresa en % por cada Kg de materia seca, la cual puede expresarse también en gramos/Kg; por ejemplo: Un Kg de ms de un alimento contiene 12% de proteína cruda o sea 120 gramos/Kg (Gasque-Gómez; 2008).

Los requerimientos de algunos elementos bromatológicos por las vacas productoras de leche los podemos encontrar en la tabla 3; en ésta tabla en particular podemos observar que la necesidad de ms y pc está en función de su nivel de producción de leche.

Tabla 3: Guía para la composición de la ración totalmente mezclada para vacas lecheras de alta producción.

Niveles de producción Nutrientes/Cantidad de alimento	Altas productoras >35 Kg/día	Medias productoras 25 a 35 Kg/día	Bajas productoras <25 Kg/día
ms Kg/día	20	18	16
pc % ms	18	17	16
calcio % ms	0.8	0.7	0.5
fósforo % ms	0.5	0.4	0.4

Fuente: Gasque-Gómez; 2008

Sobre el contenido de proteína cruda en forrajes tenemos las aportaciones de Reyes-Porata *et al* (2009) que en sus trabajos encontraron una correlación inversa entre la producción de ms y la concentración de proteína; es decir los genotipos de forraje evaluados presentaron una mejor producción de ms según los de mayor altura; y una disminución en la concentración de proteína. En el experimento que nos ocupa la altura de la alfalfa es una variable a medir, otra; el por ciento de ms, y finalmente su porcentaje de proteína cruda.

Relacionado con altura de planta antes del corte y con % de floración recomendado; Avila-Cisneros *et al* (2018) en una investigación con alfalfa de la variedad sundor se logró una altura promedio de 37 cm al fertilizar con vermicomposta; y de 38 cm al fertilizar con sulfato de magnesio. En el proceso investigativo no se presentó diferencia estadística entre la fuente orgánica y la fuente inorgánica.

Planteamiento del problema.

La producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en la Comarca Lagunera tradicionalmente ha sido fertilizada con fuentes inorgánicas a base de fósforo y magnesio estancando la calidad bromatológica del cultivo.

Objetivo general.

Evaluar la calidad bromatológica de la alfalfa fertilizando con fuentes orgánicas sustentables a base de vermicomposta.

Objetivo particular.

Incrementar la calidad bromatológica de la alfalfa en lo relacionado a altura de planta, por ciento de materia seca y proteína cruda utilizando fuentes de fertilización orgánica a base de vermicomposta.

Hipótesis.

La fertilización orgánica a base de vermicomposta y lixiviados de la misma incrementa los por cientos de materia seca y proteína cruda en el cultivo de la alfalfa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Mediante un diseño experimental bloques al azar se evaluaron 6 tratamientos de fertilización con 5 repeticiones cada uno con arreglos de parcelas de 3 m x 10 m para una superficie de 30 m2 c/u en el ejido San Ignacio municipio de San Pedro de las Colonias Coahuila México para el cultivo de la alfalfa (*Medicago sativa* L) de la variedad SW10; el análisis bromatológico y de mineralización se realizó en el laboratorio comercial AGROLAB® mismo que se encuentra en la 2ª sección de la zona industrial de Gómez Palacio Durango, el análisis de varianza se efectúo por medio del software de Olivares- FAUANL versión 2012 para una α del 5% y el análisis de correlación entre variables bromatológicas se realizó aplicando la metodología propuesta por Rocha-Valdez y Avila-C.; (2017). El experimento se realizó en el tercer trimestre del año 2017; y la definición de los tratamientos se presenta a continuación:

A= Fertilización con vermicomposta a razón de 1 Kg/m^2 €€

B= Lixiviado de vermicomposta a razón de 1 litro/m^2

C= Fertilizante sintético MAP (11-52-00) de constituyente a razón de 1.2 Kg.m^2

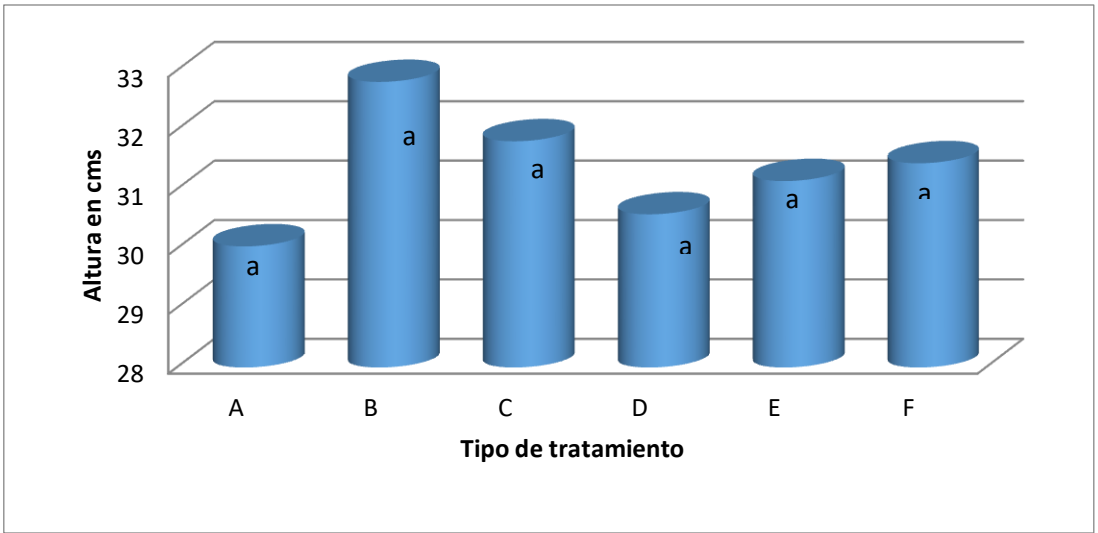
D= Sulfato de Magnesio a razón de 1.5 Kg.m^2

E= Solución nutritiva mineralizada a razón de 20 lts por cada 30 m^2

F= Testigo.

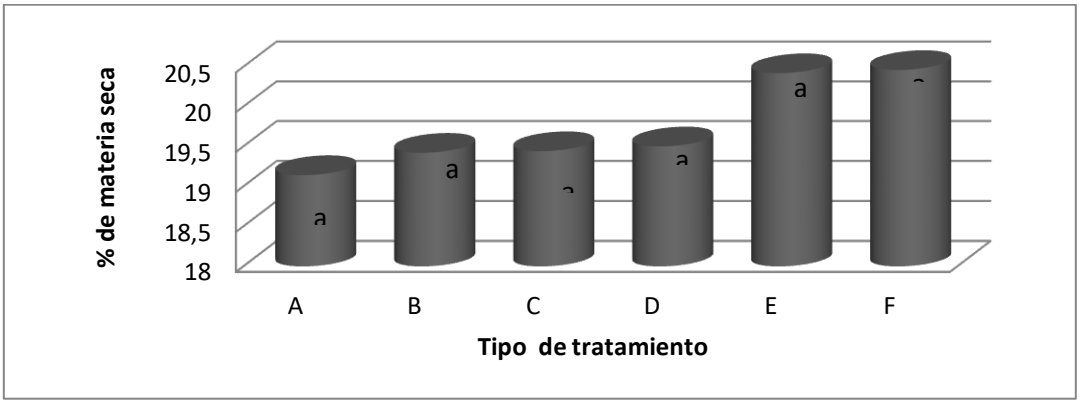
RESULTADOS

El análisis de varianza (ANOVA) para la variable altura de planta para los 6 tratamientos y sus 5 repeticiones con un alfa de 5% no arrojó diferencia estadística significativa entre los tratamientos, es decir; todos se comportaron de manera similar. Sin embargo, destaca por encima de ellos el tratamiento B (lixiviado de vermicomposta) que generó el mayor valor promedio con una altura cercana a los 33 cm tal como se puede apreciar en la gráfica 1; misma que a la vez nos permite apreciar en la parte superior de la misma el no cambio de letra que significa la similitud estadística entre los tratamientos.



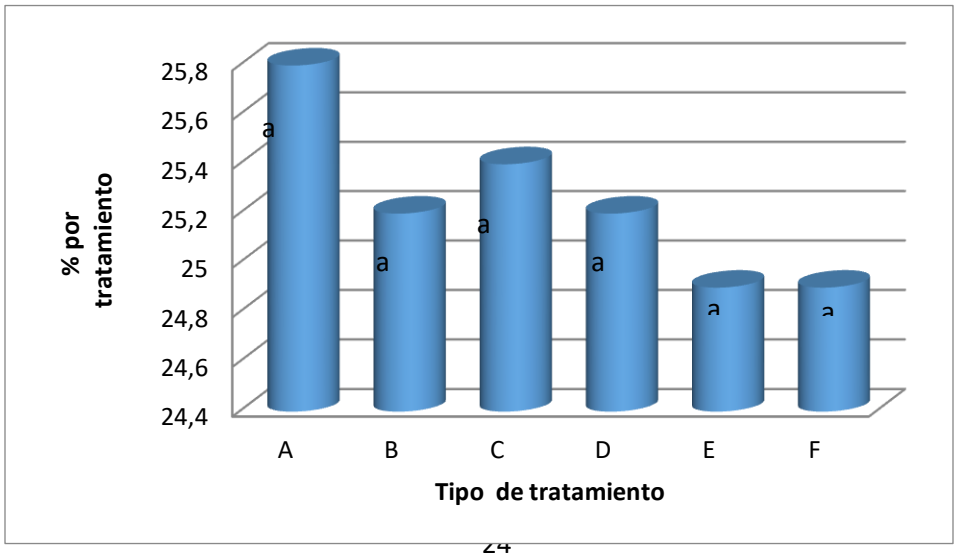
Gráfica 1: Análisis estadístico de las medias de altura de planta en cm.

La segunda variable analizada fue la determinación del porcentaje de materia seca (ms); en la misma tal como se visualiza en la gráfica 2; no hay cambio de letra (parte superior de las barras) lo que nos indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos; los porcientos de MS que han arrojado los 6 tratamientos son muy similares entre ellos; destaca de manera mínima el del tratamiento E (solución nutritiva mineralizada) con un 20.4%; similar que el tratamiento F (testigo).



Gráfica 2: Análisis estadístico de las medias del porcentaje de materia seca (ms) para los 6 tratamientos.

En la gráfica 3 se puede encontrar el análisis estadístico realizado para la variable bromatológica porciento de proteína cruda o proteína bruta (pc) en la misma tampoco existió diferencia estadística entre los 6 tratamientos; destaca el tratamiento A (fertilización con vermicomposta) con un valor de 25.8% de proteína cruda.



Gráfica 3: Análisis estadístico de las medias del porcentaje de proteína cruda (pc) para los 6 tratamientos.

CONCLUSIONES.

Las fuentes orgánicas de fertilización en la alfalfa no fueron mejores ni peores que las fuentes de fertilización inorgánicas con las que tradicionalmente se ha enriquecido el suelo al sembrar las diferentes variedades de alfalfa en la Comarca Lagunera. En las tres variables evaluadas altura de planta, porcentaje de materia seca y porciento de proteína cruda no se presentó en ninguna de ellas diferencia estadística.

BIBLIOGRAFÍA

Avila-Cisneros, R., Rocha-Valdez; J.L., Ogaz; A., González-Torres; A. y González-Avalos; R. 2018. La fertilización orgánica: Un área de oportunidad sustentable para incrementar los rendimientos físicos y económicos de la producción de alfalfa (*Medicago sativa L.*). Revista Mexicana de Agronegocios. Séptima época. Año XXII, volumen 42. Hermosillo Sonora México.

Banco de México-FIRA. 1997. Análisis de rentabilidad de la producción de leche. Subdirección regional norte. Residencia estatal, Comarca Lagunera, Gómez Palacio Durango.

Correa-Morocho, S.P. 2013. Evaluación de diferentes dosis de vermicompost y giberelinas en la producción de forraje de Medicago sativa L. (alfalfa). Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias Pecuarias. Riobamba, Ecuador.

Flores-Aguilar, J. de J.; Vázquez-Rosales, R.; Solano-Vergara, J. de J.; Aguirre-Flores; V.; Flores-Pérez, F.I.; Bahena-Galindo, M.E.; Oliver-Guadarrama, R.; Gramnjero-Colin, A.E.; y Orihuela-Trujillo, A. (2012). Efecto de fertilizante orgánico, inorgánico y su combinación en la producción de alfalfa y propiedades químicas del suelo. Terra latinoamericana, vol.30(3). Chapingo Estado de México.

Gasque-Gómez, R. 2008. Enciclopedia bovina. Primera edición. Capítulo I: Alimentación de bovinos. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UNAM. ISBN:978-970-32-4359-4. Ciudad Universitaria, México, D.F.

González-Crende, C. 2014. Nutrición animal. Primera edición. ISBN:004260. Facultad de Ciencias Agrarias/Universidad de Belgrano, Torre universitaria, Zavala 1837, Primer nivel. Buenos Aires, Argentina. P. 16.

Jolalpa-Barrera, J.L., Espinoza-García, J.A.; Cuevas-Reyes; V.; Moctezuma-López, G.; y Romero-Santillán; F. (2009). Necesidades de investigación de la cadena productiva de la alfalfa (Medicago sativaL.) en el estado de Hidalgo.Revista Mexicana de Agronegocios. XIII (25). Torreón Coahuila México.

Mendoza-Pedroza S.I., Hernández-Garay A., Pérez-Pérez J., Quero-Carrillo A.R., Escalante-Estrada J.A.S., Zaragoza-Ramírez J.L. y Ramírez-Reyna O. 2010. Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 1(3). Mérida Yucatán México. Torres – Moya, E.; Ariza – Suárez, D.; Baena – Aristizabal, C.D.; Cortés –Gómez, S.;

Molina M.J.C y Córdova T.L.2006. Informe nacional sobre el estado de los recursos filogenéticos para la agricultura y la alimentación. Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural pesca y alimentación y la Sociedad Mexicana de Filogenética. Chapingo, Edo. De México En: http://www.fao .org/docrep/013/i1500e/mexico.pdf.

Muslera, P. y Ratera C. 1991. Praderas y Forrajes, Producción y Aprovechamiento. 2a Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp. 674.

Olivares-Saenz ;E.(2012). FAUANL,versión 1.1, prueba. San Nicolás de Los Garza, Nuevo León, México.

Reyes-Porata; A., Bolaños-Aguilar; ED., Hernández-Sánchez; D., Aranda-Ibañez; EM. Y Reyes-Izquierdo; F. 2009. Producción de materia seca y concentración de proteína en 21 genotipos de pasto humidícola Brachiaria humidícola (Rendle) Scheweick. Revista Universidad y Ciencia .25(3). Villahermosa, Tabasco, México.

Rocha-Valdez; J.L. y Avila-C; R. 2017. Bioestadística aplicada a la medicina veterinaria e investigación pecuaria. Editorial Académica Española. 1ª edición. BahnhofstraBe 28, 66111. Saarbrucken, Alemania.

Valdés Quintanilla M. 2016. Sector agropecuario 2015. Resumen económico y compendio noticioso 2015 Comarca Lagunera. Suplemento especial. El siglo de Torreón; periódico regional. Cía. Editora de la Laguna S.A. de C.V. 01 de enero de 2016.Torreón Coahuila México

Vázquez-Vázquez, C; García-Hernández, J.L.; Salazar-Sosa, E.; Murillo-Amador, B.; Orona-Castillo, I.; Zuñiga-Tarangua, R.; Rueda-Puente, E.; y Preciado-Rangel, P. 2010. Rendimiento y valor nutritivo de forraje de alfalfa (Medicago sativa L.) con diferentes dosis de estiércol bovino. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. INIFAP.1(4).

Villarreal – González, J.R.; Aguilar – Valdez, A. y Luevano – González, A. (1998). El impacto socioeconómico de la Ganadería Lechera de la Región Lagunera. Revista Mexicana de Agronegocios. III (3). Torreón Coahuila México.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

RIZOBACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL EN LA AGRICULTURA SUSTENTABLE

Bernardo Espinosa Palomeque[1], Pedro Cano Ríos[1], Pablo Preciado Rangel[1], Alejandro Moreno Reséndez[1], Juan Carlos Rodríguez Ortiz[2], Lucio Leos Escobedo[1]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez km 1.5 y Carretera a Santa Fe S/N. 27059 Torreón, Coahuila, México.
[2]Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Carretera San Luis Potosí- Matehuala, Km. 14.5 Soledad de Graciano Sánchez 78321, San Luis Potosí. México.

Autor para correspondencia: berna_palomeque@outlook.com

RESUMEN

El sistema de producción de los cultivos agrícolas es un factor crítico para determinar el rendimiento y la calidad de los frutos. Para mejorar la productividad de las especies vegetales en la actualidad se depende del suministro excesivo de agroquímicos los cuales impactan negativamente en la salud humana y la fertilidad de los suelos, además de causan contaminación al ambiente. En este sentido, para mitigar los efectos adversos de los agroquímicos, se ha propuesto el uso de bioinoculantes base microorganismos rizosféricos, en los cuales se encuentran las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal [(PGPR), por sus siglas en inglés "plan growth promoting rhizobacteria"] que estimulan significativamente el crecimiento, desarrollo y el rendimiento de los cultivos, además de mejorar la salud de suelo a través de diferentes mecanismos de acción como son: fijación biológica de nitrógeno, solubilización de fosfatos, inhibición del desarrollo de microorganismos fitopatógenos por la síntesis de antibióticos o sideróforos. Con la aplicación de bioinsumos base PGPR se contribuye sustancialmente a la disminución del suministro de fertilizantes sintéticos en los agroecosistemas, así contribuir a la conservación del ambiente. En esta revisión se reseñan aspectos básicos de los mecanismos de acción de las PGPR como una alternativa a los problemas agrícolas.

Palabras claves: control biológico, fertilidad de suelo, PGPR, rizosfera

SUMMARY

The production system of agricultural crops is a critical factor in determining the yield and quality of the fruits. To improve the productivity of plant species nowadays it is dependent on the excessive supply of agrochemicals which negatively impact on human health and soil fertility, in addition to causing environmental pollution. In this sense, to mitigate the adverse effects of agrochemicals, it has been proposed to use plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) significantly stimulate the growth, development and yield of crops, in addition to improving soil health through different mechanisms of action such as: biological nitrogen fixation, solubilization of phosphates, inhibition of the development of phytopathogenic microorganisms by the synthesis of antibiotics or siderophores. With the application of PGPR base bio-inputs, a substantial contribution is made to reducing the supply of synthetic fertilizers in agroecosystems, thus contributing to the conservation

of the environment. In this review, basic aspects of the mechanisms of action of the PGPR are reviewed as an alternative to agricultural problems.

1. Introducción

La agricultura es una de las actividades antropogénicas que aportan grandes contaminantes debido al uso excesivo de agroquímicos que causan riesgos potenciales a la salud humana e impactan negativamente al ambiente (Vejan *et al.*, 2016). Sin embargo, la producción de cultivos agrícolas en los diferentes agroecosistemas se ha incrementado a través del uso de fertilizantes y pesticidas sintéticos, lo cual ha provocado incremento de la contaminación de los recursos suelo y agua (Creus, 2017). Ante esta situación, en la actualidad existe el creciente interés tanto de los investigadores y productores en la búsqueda de sistemas de producción sostenible con el ambiente (Buragohain *et al.*, 2017). Debido a lo anterior han surgido insumos agrícolas como los bioinoculantes base microorganismos rizosféricos entre los cuales se encuentras las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (Tabassum *et al.*, 2017) [PGPR, por sus siglas en inglés "plan growth promoting rhizobacteria" (Kloepper y Schroth, 1978)]. La aplicación tanto de biofertilizantes, bioestimulantes y bioprotectores base PGPR podrían estimular el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las especies vegetal, mediante la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fosfatos, la producción de fitohormonas y la producción de enzimas hidrolíticas que actúan como control biológico, producción de polisacáridos extracelulares, resistencia sistemática inducida y/o adquirida (Arora *et al.*, 2017). Bajo esta perspectiva, se describen los elementos de la interacción de las especies vegetales y PGPR, haciendo énfasis en los mecanismos de acción de las rizobacterias en el sistema radical de las plantas.

2. Rizósfera

La rizósfera es la estrecha zona de suelo rica en nutrimentos que rodea el sistema radicular de las especies vegetales donde se producen procesos biológicos y ecológicos complejos, es un hábitat muy favorable para la proliferación de microorganismos que prosperan en los exudados (azucares, aminoácidos y otros metabolitos secundarios) que son absorbidos como nutrimentos por los microorganismos del rizodepósitos, que ejercen un impacto significativo sobre la salud de las plantas y la fertilidad del suelo (Bais *et al.*, 2006; Ahmed *et al.*, 2017; Tabassum *et al.*, 2017), fue descrita por primera vez por Lorenzo Hiltner en el año 1904 (Hartmann *et al.*, 2008) proviene del griego etimológicas (Gr.) *rhiza* (raíz) y *sphere* (entorno) y se subdivide espacialmente: endorizósfera (espacio intercelular entre los tejidos radicales colonizado por microorganismos y se aíslan después de la esterilización superficial de la raíz), ectorizósfera (compartimento de suelo asociado a la raíz hasta un distancia de cinco milímetros) y el rizoplano (interfaz suelo/raíz) (Narula *et al.*, 2009; Noumavo *et al.*, 2016). La rizósfera es un sistema abierto altamente dinámico con cambios temporales y espaciados por factores bióticos (resultado de cambios fisiológicos y morfológicos del sistema radical en crecimiento) y abióticos (lluvia, riego, sequía). Por tanto, es difícil comprender las adaptaciones microbianas a cada situación en particular (Spaepen *et al.*, 2009). Las funciones biológicas del sistema radical de las plantas, como la absorción, la respiración y la exudación, tienen efectos sobre la rizósfera, modificando las condiciones biogeoquímicos del suelo (p. ej.: concentraciones de elementos nutritivos, contaminantes, compuestos complejantes y quelatantes, pH, potencial redox, presiones parciales de oxigeno (O_2) y dióxido de carbono (CO_2), entre otros (Gianfreda, 2015).

Por otra parte, gran número de microorganismos como bacterias, protozoarios, nematodos y hongos coexisten en la rizósfera, siendo las bacterias las más abundante (Weston *et al.*, 2012). Los microorganismos que colonizan la rizósfera pueden clasificarse en función de sus efectos sobre las plantas y forma de interactuar con las raíces, siendo algunos patógenos y otros benéficos (Saharan y Nehra, 2011). Los microorganismos presentes en la rizósfera son esenciales debido a que juegan un papeЄl muy importante en la transformación de nutrimentos y pueden producir fitohormonas, asimismo sus actividades metabólicas sumada a las de la fauna del suelo, promueven la salud del dicho recurso natural y la productividad de los cultivos (Creus, 2017). Las interacciones entre planta y raíz en la rizósfera pueden incluir las interacciones raíz – raíz, raíz – insecto y raíz – microorganismo, lo que resulta en la producción de más exudados de las raíces que finalmente favorecen significativamente a las poblaciones microbianas en esta región ecológica (**Figura 1)** (Calvo *et al.*, 2014). Los microorganismos que provocan efectos positivos en las plantas o participan en algunas de las interacciones benéficas de raíz – microorganismo se encuentran las bacterias promotoras del crecimiento vegetal, y de éstas las más estudiadas son las rizobacterias (López *et al.*, 2015; Tabassum *et al.*, 2017), estas bacterias colonizan principalmente las raíces, ya que los exudados de hasta el 40 % del fotosintato de las raíces de las plantas establecen un nicho ecológico (Kai y Piechulla, 2009). Los siguientes procesos deben recibir una adecuada interpretación para logar una mejor compresión para una mejor adaptación de la rizosfera, (i) los diversos factores involucrados en la movilización de los nutrimentos minerales para mejorar su eficiencia de absorción; (ii) promoción del crecimiento de la raíz por una gran diversidad de rizobacterias; y (ii) disminución o prevención de las enfermedades por microorganismos antagonistas en relación con el estado del micronutrimento (Römheld y Neumann, 2006).

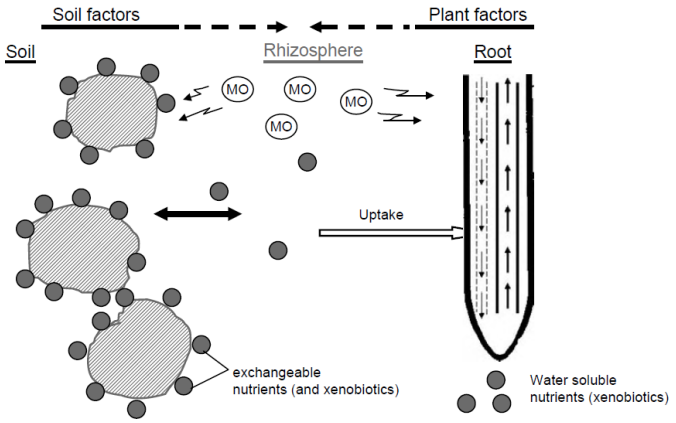


Figura 1. Interacción de los microorganismos (MO) con los factores del suelo y las raíces de las plantas en la rizósfera en la absorción de nutrimentos minerales y xenobióticos (Römheld y Neumann, 2006).

3. Bioinoculantes

El uso indiscriminado y el gran creciente dependencia a los fertilizantes sintéticos en los sistemas de producción de los cultivos agrícolas causan deterioro de las propiedades físicas y químicas del suelo, además tienen un impacto variable en la composición y las funciones de la microbiota del suelo (Camelo-Rusinque *et al.*, 2017). El uso excesivo de fertilizantes inorgánicos ha mostrado un impacto negativo en la productividad de los cultivos, la contaminación del suelo y del agua, la

susceptibilidad de los cultivos a fitopatógenos y, en última instancia, a la pérdida de la economía (Zaidi *et al.*, 2015). En general, entre el 60 y 90 % del fertilizante total aplicado se pierde y solo el 40 y 10 % restante es aprovechado por las plantas (Bhardwaj *et al.*, 2014). En este contexto, para mitigar los efectos adversos de los fertilizantes sintéticos el uso de bioinoculantes en la agricultura sea aumentado considerablemente durante las últimas dos décadas (Hayat *et al.*, 2010), éstos son a base de microorganismos aplicados con el fin de disminuir el suministro de fertilización sintética así como mitigar la contaminación generada por los agroquímicos (**Figura 2)** (Pii *et al.*, 2015). Diversos bioinoculantes a base de rizobacterias que estimulan el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos vegetales usualmente referidas como PGPR son utilizados comercialmente recibiendo diferentes nombres y asimismo tienen distintos mecanismos de acción: (i) bioprotectores, reducen los daños causados por patógenos; (ii) biofertilizantes, mejoran la adquisición de elementos nutritivos; (iii) bioestimulantes, producción de fitohormonas. Los mayores avances se han reportado con los bioprotectores y con los géneros: *Bacillus, Paenibacillus, Streptomyces, Pseudomonas, Burkholderia y Agrobacterium,* que se utilizan actualmente como agentes de control biológico por disminuir la incidencia de enfermedades en las plantas mediante la inducción de resistencia sistemática y la producción de sideróforos o antibióticos (Tjamos *et al.*, 2010).

La aplicación de inóculos bacterianos ofrece una opción para disminuir el suministro de fertilizantes inorgánicos y pesticidas ya que la mayoría de los aislamientos han reportado incrementos significativos en el crecimiento de las plantas, tanto en raíces y/o parte aérea (Khalid *et al.*, 2006). Cuando las PGPR son inoculan en las semillas antes de la siembra, son capaces de establecerse en las raíces de los cultivos (Saharan y Nehra, 2011). Algunas PGPR mejoran la salud de las plantas mediante el proceso denominado resistencia sistémica inducida (RSI), a través de la fortificación de la fuerza física y mecánica de la pared celular, así como cambio en la fisiología y bioquímica de la planta que estimulan la síntesis mecanismos de defensa a un amplio rango de agentes fitopatógenos e insectos herbívoros (Pieterse *et al.*, 2014). En este mismo sentido la inducción de la RSI es a través de las vías de señalización del ácido jasmónico y del etileno (Reddy, 2014). Aunado a lo anterior, las cepas de las PGPR comercializadas incluyen *A. radiobacter, A. brasilense, A. lipoferum, Azotobacter chroococcum, B. fimus, B. licheniformis, B. megaterium, B. mucilaginous, B. pumilus, Bacillus* spp., *B. subtilis, B. subtilis* var. *amyloliquedaciens, B. cepacia, Delfitia acidovorans, Paenobacillus macerans, Pantoea agglomerans, P. aureofaciens, P. chlororaphis, P. fluoresecens, P. solanacearum, Pseudomonas* spp., *P. syringae, S. entomophilia, S. griseoviridis, Streptomyces* spp., *S. lydicus* y varias *Rhizobia* spp. (Glick, 2012). El uso de bioinoculantes compuestos de microorganismos benéficos, ya sean bioestimulantes, biofertilizantes o bioprotectores constituyen una alternativa biotecnológica cada vez más aceptada en los sistemas de producción sustentables, tanto en cultivos extensivos como intensivos (Creus, 2017). Por lo tanto, el papel de los microrganismos en la agricultura sustentable ha proporcionado nuevos conocimientos sobre la economía agrícola, y uno de los beneficios directos es la menor dependencia a los fertilizantes y pesticidas sintéticos, lo cual es favorable debido a que las aplicaciones continuas de estos productos inorgánicos no solo presentan efectos perjudiciales sobre los ecosistemas agrícolas sino también representan riesgos en la salud para humanos y animales (Mishra y Arora, 2016).

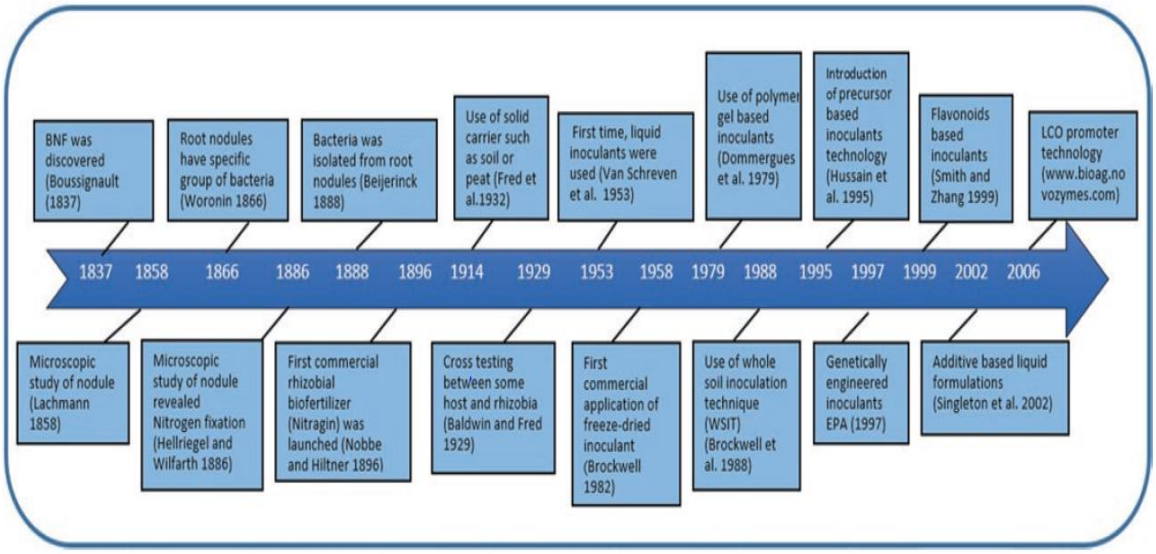


Figura 2. Línea del tiempo de los principales descubrimientos en el desarrollo de biofertilizantes a base de microrganismos rizosféricos (Arora *et al.*, 2017).

4. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal

En la actualidad se ha incrementado el uso de bacterias que habitan en la rizósfera de las raíces las cuales estimulan el crecimiento y rendimiento de las especies vegetales (Wu *et al.*, 2005; Khalid *et al.*, 2006; Ashrafuzzaman *et al.*, 2009; Almaghrabi *et al.*, 2013). Es importante mencionar que los microorganismos rizosféricos son capaces de mejorar el proceso de absorción nutrimental de las plantas, su vigor y resistencia sistémica a diversos fitopatógenos, debido a su interacción con el metabolismo de las especies vegetales y la consiguiente detección de patrones moleculares asociados al patógeno, liberación de proteínas de resistencia y activación de su inmunidad inducida (Hipólito-Romero *et al.*, 2017). Las PGPR son capaces de colonizar las raíces de las plantas en cantidades significativas [10^5 - 10^7 unidades formadores de colonia por gramo de raíz fresca (Spaepen *et al.*, 2009)] y mejorar su crecimiento, de manera directa e indirecta, y poseen varios modos de acción complejos que interactúan entre sí para establecer relaciones benéficas (Minorsky, 2007; Camelo *et al.*, 2011). La promoción del crecimiento vegetal directa por las PGPR se puede derivar de la solubilización del fósforo, producción de reguladores de crecimiento, tales como auxinas, giberelinas (GAs), citoquininas e inhibidores de etileno, mediante la obtención de las actividades metabólicas de las raíces y/o mediante el suministro de nitrógeno fijado biológicamente (Spaepen *et al.*, 2009). La promoción indirecta del crecimiento de las plantas se efectúa cuando las PGPR producen sideróforos los cuales pueden solubilizar y quelar el hierro de la rizósfera y así de este modo inhiben el crecimiento de uno o más microorganismo fitopatógenos (**Figura 3**) (Caballero-Mellado, 2006; Ahmad *et al.*, 2008), de igual manera son capaces de producir y secretar enzimas hidrolíticas tales como quitinasas, β-glucanasa, deshidrogenasas, lipasas, fosfatasas, proteasas, hidrolasas, exo y endo-poligalacturonasas, pectinoliasas, celulasas y ACC-desaminasa las cuales se ha demostrado ser eficaces como agente de control biológico al degradar la pared celular de los patógenos (Noumavo *et al.*, 2016; Vejan *et al.*, 2016). Además algunas PGPR tienen, también una función en la degradación de contaminantes orgánicos que podrían aumentar la

fertilidad del suelo (Saharan y Nehra, 2011). Los microorganismos rizosféricos aceleran el proceso de degradación produciendo una amplia gama de enzimas hidrolíticas (p. ej.: ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico "ACC" o ACC desaminasa) cuales disminuyen la concentración de etileno en la planta e incrementa la disponibilidad de amonio (NH_4^+) en la rizosfera, así ayudan a la restauración ecológica de sitios contaminados (Figura 4) (Esquivel-Cote *et al.*, 2013; Mishra *et al.*, 2017).

5. Modo de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal

Existen diferentes mecanismos utilizados por las PGPR para estimular el crecimiento y desarrollo de las plantas en diversas condiciones ambientales. En general, las PGPR funcionan como biofertilizantes, bioestimuladores y bioprotectores, los mecanismos pueden ser directos o indirectos (**Figura 5**) (Tjamos *et al.*, 2010; Nadeem *et al.*, 2013; Goswami *et al.*, 2016).

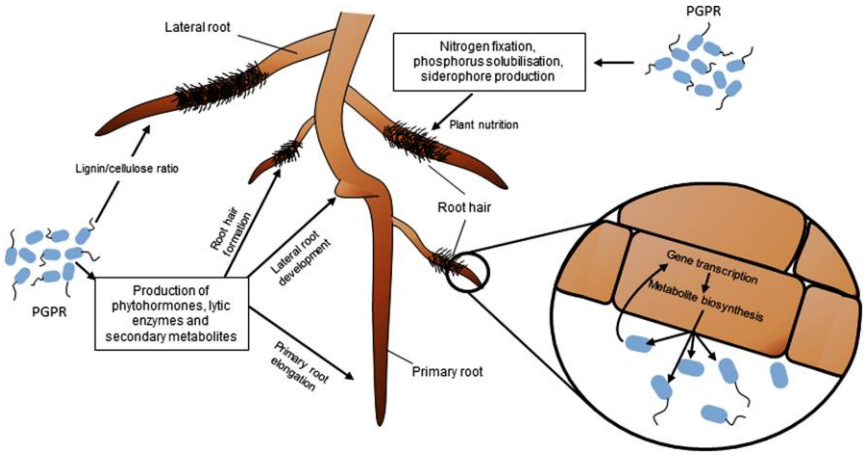


Figura 3. Modo de acción utilizado por las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal hacia la promoción del crecimiento en las plantas (Vejan *et al.*, 2016).

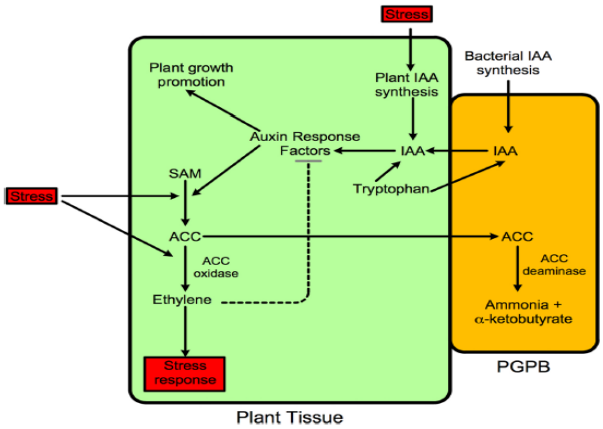


Figura 4. Estimulación del crecimiento de las plantas por las PGPR que contienen ACC desaminasa. El estrés aumenta tanto el AIA como la síntesis de etileno dentro de la planta, lo que en última

instancia disminuye el crecimiento de las plantas. Con las PGPR que contienen ACC desaminasa, los niveles de etileno se disminuyen, lo que contrarresta parte de la inhibición del crecimiento que causa el aumento del etileno (Olanrewaju *et al.*, 2017).

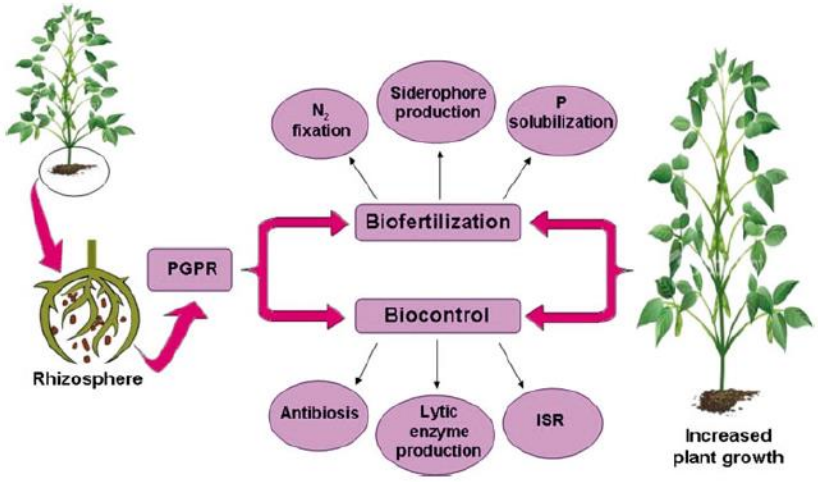


Figura 5. Mecanismos de acción conocidos para la promoción del crecimiento de las plantas por PGPR. Diferentes mecanismos pueden ser ampliamente estudiados: (1) biofertilización, y (2) biocontrol de fitopatógenos. La biofertilización abarca: (a) fijación de N_2, (b) producción de sideróforos, (c) solubilización P inorgánica. El control biológico implica: (a) antibiosis, (b) secreción de enzimas líticas, y (c) resistencia sistemática inducida (RSI) (Kuman *et al.*, 2011).

4.1. Fijación biología de nitrógeno

El nitrógeno (N) es uno del elemento esencial más importantes para el crecimiento de las plantas; es indispensable para la síntesis de ácidos nucleicos, proteínas, clorofila, coenzimas, fitohormonas y metabolitos secundarios. Alrededor del 1 – 5 % de la materia seca total de la planta consiste en N (Hawkesford *et al.*, 2012). Lamentablemente no hay especies de plantas que sean capaz de convertir el nitrógeno atmosférico (N_2) a NH_4^+ (Das *et al.*, 2013). Por lo tanto, las plantas dependen de la fijación biológica de nitrógeno (FBN) que se define como la conversión de N_2 a NH_4^+, compuesto químico del N que puede ser utilizado por la planta, la FBN se consigue mediante la enzima denominada nitrogenasa de molibdeno, que se encuentre en todos los diazótrofos (Ahemad y Kibret, 2014). De hecho, la FBN representa aproximadamente dos tercios del N fijado a nivel mundial, mientras que el resto del N es aportado principalmente por el proceso industrial Haber-Bosch (Rubio y Ludden, 2008), el cual consiste en hacer reaccionar las sustancias elementales N_2, e hidrógeno (H_2), a alta temperatura, alta presión y en presencia de un catalizador (Sosa, 2015). Dada la volatilidad (y la tendencia general al alza) de los precios del petróleo y los intentos mundiales de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con el uso agrícola de N que contienen los fertilizantes sintéticos producidos por el proceso Haber-Bosch, la FBN podría ser una alternativa en la sustitución de los fertilizantes inorgánicos en los sistemas de producción de cultivos no leguminosos (James y Baldani, 2012).

La fijación biológica de nitrógeno se lleva a cabo en bacterias asociadas a plantas y en bacterias de vida libre, que están ampliamente distribuidas en la naturaleza (**Figura 6**) (Molina *et al.*, 2015). Los

microorganismos fijadores de nitrógeno se clasifican en general como: (a) bacterias fijadoras de N_2, incluyendo miembros de la familia rhizobiaceae que forman simbiosis con plantas leguminosas (por ejemplo, rizobios) y actualmente incluyen más de 50 especies distribuidas en los géneros *Rhizobium*, *Ensifer*, *Mesorhizobium*, *Azorhizobium* y *Bradyrhizobium* (Ahemad y Khan, 2010; Velázquez *et al.*, 2010) y árboles no leguminosos (p. ej., *Frankia*) y (b) formas fijadoras de N no simbióticas (vida libre, asociativa y endófitas) tales como cianobacterias (*Anabaena*, *Nostoc*), *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Gluconoacetobacter diazotrophicus* y *Azocarus*, etcétera (Bhattacharyya y Jha, 2012; Das *et al.*, 2013). La fijación biológica de N ocurre cuando es catalizado por la enzima nitrogenasa sensible al oxígeno, presente dentro de las bacterias (**Figura 7)**, mediante la siguiente reacción (Bhattacharjee *et al.*, 2008):

$$N_2 + 8H + 8e^- + 16\ ATP \xrightarrow{\text{Nitrogenasa}} 2NH_3 + H_2 + 16\ ADP + 16Pi$$

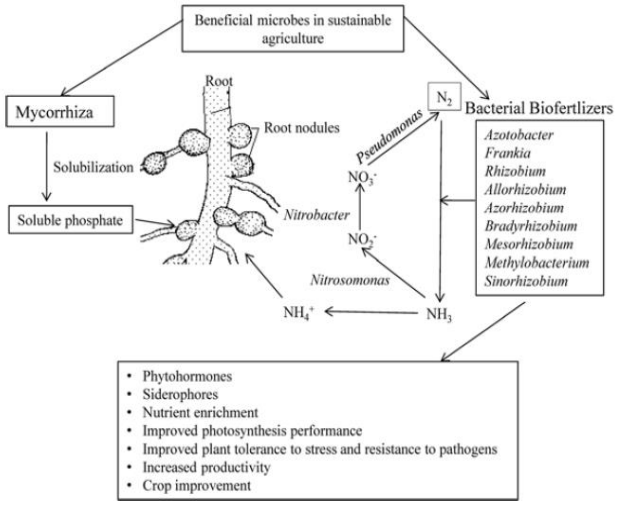


Figura. 6. Uso potencial de microorganismos del suelo en la producción sustentable de cultivos agrícolas (Bhardwaj *et al.*, 2014).

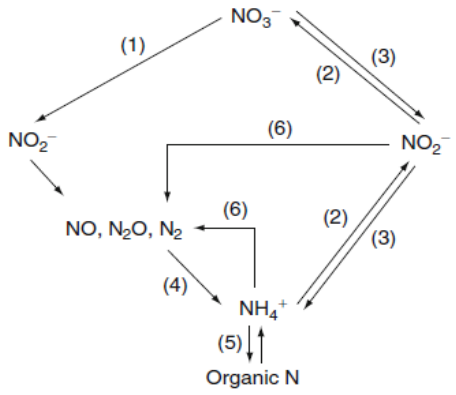


Figura 7. Ciclo biológico del nitrógeno. El nitrógeno se puede transformar en diferentes formas químicas por los microorganismos, que van desde el estado de oxidación +5 (NO_3^-) y -3 (NH_4^+). Las diferentes reacciones, llevadas a cabo por diferentes grupos de microorganismos bajo diferentes

condiciones ecológicas, se indican por los números: (1) desnitrificación, (2) nitrificación, (3) asimilación y reducción asimilable de nitrato, (4) fijación biológica de nitrógeno, (5) amonio asimilable y (6) oxidación anaeróbica de NH_4^+. Los procesos (1), (3) y (4) requieren un donador de electrones, mientras que el proceso (2) requiere receptor de electrones. NO_3^- y NH_4^+ son las principales formas de nitrógeno que las plantas pueden usar fácilmente (Spaepen *et al.*, 2009).

4.2. Biosolubilización de fosfatos

El papel de los microorganismos rizosféricos en la solubilización de fosfato se remonta al año 1903 (Khan *et al.*, 2007). La mayoría de los suelos agrícolas contienen grandes reservas de P, que se han acumulado principalmente como consecuencia de las aplicaciones regulares de fertilizantes. En suelos ricos en P, la mayor parte del P no está disponible para las plantas, debido a que se encuentra en su forma insoluble (Castagno *et al.*, 2011). Además el 75 % de los fertilizantes fosfatados solubles añadidos a los cultivos pueden convertirse en forma poco soluble por reacción con los iones Ca^{2+} libres en suelos alcalino de alto pH o con Fe^{3+} o Al^{3+} en suelos ácido de pH bajo (Hariprasad y Niranjana, 2008). El P solo es asimilable en la forma monobásica: $H_2PO_4^{-1}$ y dibásica: HPO_4^{-2}, compuestos disponibles para las plantas, aunque en condiciones de campo comúnmente se mantienen en bajas concentraciones (Vessey, 2003). Las PGPR pueden utilizarse para trasformar el P insoluble, presente en el suelo, en una forma asimilable, para lograr incrementar los rendimientos de las especies vegetales (**Figura 8**) (Rodríguez *et al.*, 2006; Jha *et al.*, 2008). Las bacterias solubilizan fosfato al producir ácidos orgánicos como son ácido cítrico, láctico, succínico y glucónico (la acidificación libera los fosfatos y cationes de Ca^{2+}, Fe^{3+} y Al^{3+} al suelo) (Hariprasad y Niranjana, 2008). También se puede solubilizar el fosfato por medio de las enzimas fitasa o C-P linasa que presentan algunos microrganismos (Richardson, 2001). Otra forma de realizar la solubilización del fosfato orgánico a inorgánico, es por medio de la enzima fosfatasa, la cual hidroliza los enlaces orgánicos fosfatados liberando aniones fosfato a la solución del suelo de donde los microorganismos y las raíces de las plantas se nutren (Pérez *et al.*, 2007). La liberación de las formas solubles a partir de fósforo mineral, se realiza con la producción de ácido orgánicos como el ácido glucónico o 2-ceto-glucónico, la bioproducción de estos ácidos depende de la fuente de carbono (C) disponible en la rizósfera (Ahemad y Khan, 2012). Los géneros bacterianos capaces de solubilizar fosfato son: *Aereobacter*, *Achromobacter*, *Acinetobacter*¸ *Agrobacterium*, *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Microccocus*, *Microbacterium*, *Serratia*, *Beijerinckia*, así como las especies: *A. chroococcum*, *B. circulans*, *Cladosporium harbarum*, *Bradyrihizobium japonicum*, *E. agglomerans*, *P. putida*, *P. chlororaphis*, *R. leguminosarum* (Rodríguez y Fraga, 1999; Díaz *et al.*, 2001; Molina *et al.*, 2015).

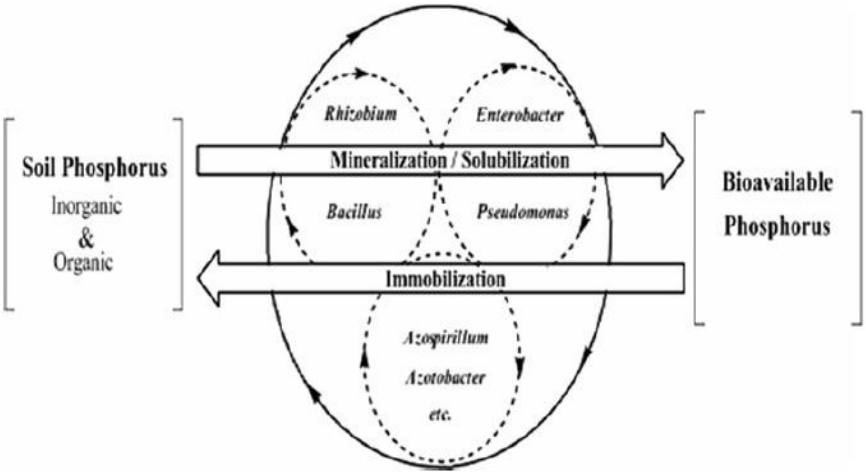


Figura 8. Movilización e inmovilización del fosforo del suelo por las rizobacterias (Khan *et al.*, 2009).

4.3. Producción de fitohormonas

Las fitohormonas vegetales son mensajeros químicos que afectan la capacidad de respuesta de las plantas a su ambiente, son compuestos orgánicos eficaces a muy baja concentración, por lo general son sintetizados en una parte de la planta y son transportados a otra parte. Interactúan con tejidos específicos para causar respuestas fisiológicas, tales como crecimiento o maduración de los frutos. Cada respuesta es a menudo el resultado de dos o más fitohormonas que actúan juntas. Las fitohormonas estimulan o inhiben el crecimiento de plantas, debido a esto también son nombradas reguladores del crecimiento, se reconocen principalmente cinco grupos: auxinas, citoquininas, giberelinas, etileno y el ácido abscísico (Saharan y Nehra, 2011). Estas fitohormonas están involucradas en el crecimiento y desarrollo de las plantas en virtud de su efecto. Las auxinas se involucran principalmente en el aumento de células, las citoquininas en la división celular y las giberelinas en el alargamiento del tallo estimulando la división celular y el alargamiento celular, mientras que el etileno y el ácido abscísico en la maduración de frutos y senescencia de las plantas (Khalid *et al.*, 2006).

La bioestimulación es considerada el mecanismo más estudiado de las PGPR (Lugtenberg y Kamilova, 2009), las fitohormonas tal como las auxinas [principalmente ácido indolacético (AIA)], ácido giberélico y citoquininas producidas por las PGPR pueden alterar la arquitectura de las raíces y promover el desarrollo de las plantas (Kloepper *et al.*, 2007; Tjamos *et al.*, 2010; Nadeem *et al.*, 2013). El AIA es la auxina más estudiada, producida por las rizobacterias, la cual afecta la división, extensión y diferenciación celular de las plantas; estimula la germinación de semillas y tubérculos; incrementa la tasa de desarrollo del xilema y raíces; controla los procesos de crecimiento vegetativo; inicia la formación de raíces laterales y adventicias, mediante las respuestas a la luz, la gravedad y fluorescencia; además afecta a la fotosíntesis, la formación de pigmento, la biosíntesis de diversos metabolitos y la resistencia a condiciones estresantes (Tsavkelova *et al.*, 2006). Es sintetizado por diversa vías metabólicas en función de la bacteria a partir del triptófano también presente en los exudados de las raíces (Camelo *et al.*, 2011). En general, el AIA bacteriano aumenta el área superficial y la longitud de la raíz, y por lo tanto proporciona a la planta un mayor acceso a

los elementos nutritivos del suelo. Además, el AIA bacteriano ablanda las paredes celulares de las plantas y, como resultado, facilita una cantidad creciente de exudación de la raíz que proporciona elemento nutritivo adicionales para soportar el crecimiento de las bacterias en la rizósfera (Glick, 2012). Los organismos capaces de sintetizar el AIA son *Acetobacter*, *Azospirillum*, *Alcaligenes*, *Enterobacter*, *Mycobacterium*, *Microbacterium*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Shingomonas* y *Xanthomonas* (Tsavkelova *et al.*, 2007; Jha *et al.*, 2008). Estos géneros sintetizan el AIA, principalmente por la vía de indol-3-ácido pirúvico, la indol 3-acetonitrilo, la triptamina y la del indol-3-acetamida (**Figura 9)** (Castagno *et al.*, 2011; Molina *et al.*, 2015).

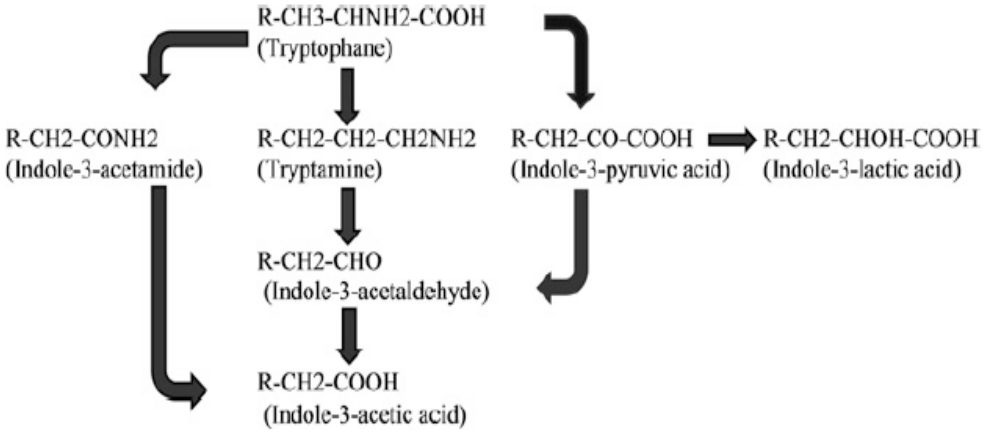


Figura 9. Vía biosintética del ácido indol-3-acético (AIA) en bacterias (Amara *et al.*, 2015).

Las citoquininas son derivados purínicos que actúan como promotores del crecimiento vegetal e influyen en diversos procesos fisiológicos y desarrollos de las plantas tales como la división celular, germinación de semillas, desarrollo de raíces primarias, formación de raíces adventicias, acumulación de clorofila, expansión foliar, formación de brotes y el retraso de la senescencia. Las plantas usan continuamente citoquininas para mantener las reservas de células madre totipotentes en sus meristemos de brotes y raíces (García *et al.*, 2001; Ortíz-Castro *et al.*, 2014). Las citoquininas se forman en cualquier tejido vegetal (tallos, raíces, hojas, flores, frutos o semillas), aunque se acepta en general, que en las raíces se producen las mayores cantidades de estas fitohormonas (Dobbelaere *et al.*, 2003). Ejemplos de algunos géneros de PGPR incluidas en la producción de citoquininas *Agrobacterium*, *Aminobacter*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Blastobacter*, *Escherichia*, *Erwinia*, *Hyphomicrobium*, *Methiloarcula*, *Methylobacterium*, *Methylobacter*, *Methylobacterium*, *Methylomonas*, *Methylophylus*, *Methylosinus*, *Methylovorus*, *Paracoccus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Rhodococcus*, *Streptomyces*, *Xanthobacter* (Tsavkelova *et al.*, 2006). Además se ha reportado la producción de citoquininas (especialmente zeatina) en varias especies de PGPR como son *A.* giacomelloi, *A. brasilense*, *B. japonicum*, *B. licheniformis*, *P. fluorescens* y *P. polymyxa* (Vacheron *et al.*, 2013).

Las GAs son moléculas complejas con grupos di-terpenos tetracarboxílicos. Se han caracterizado 136 giberelinas en plantas superiores (128 especies), 28 GAs en hongos (siete especies) y solo cuatro GAs (GA_1, GA_3, GA_4 y GA_{20}) en bacterias (siete especies) (MacMillan, 2002). Estas fitohormonas están involucradas en diversas funciones metabólicas requeridas por las plantas tal como la germinación de semillas, la elongación del tallo, la altura de la planta, la expresión sexual,

la floración, la formación de frutos, la senescencia y también promueven el alargamiento de la raíz principal y la expansión de las raíces laterales (Yaxley *et al.*, 2001; Babalola, 2010; Camelo *et al.*, 2011; Kang *et al.*, 2014). La producción de GAs ha sido reportado en varias PGPR por ejemplo, *Acinetobacter* spp., *Agrobacterium* spp., *Arthrobacter* spp., *A. xylosoxidans*, *A. calcoaceticus*, *Azospirillum* spp., *Azotobacter* spp., *Bacillus* spp., *Clostridium* spp., *Herbaspirillum seropedicae*, *Flavobacterium* spp., *Gluconobacter diazotrophicus*, *Micrococcus* spp., *Pseudomonas* spp., *Rhizobium* y *Xanthomonas* (Tsavkelova *et al.*, 2006; Glick, 2012).

4.4. Mecanismos de biocontrol

Las plantas han desarrollado un potente sistema inmunológico para resistir una posible colonización por patógenos microbianos. Adicionalmente la RSI inducida por las rizobacterias es un tipo de resistencia sistémicamente mejorada contra un amplio espectro de patógenos que se desencadena tras la colonización de las raíces por cepas bacterianas benéficas (De Vleesschauwer y Höfte, 2009). El uso de microorganismos para controlar las enfermedades en las plantas, es una forma de control biológico, es un enfoque respetuoso con el medio ambiente. Los microorganismo benéficos son un enemigo natural de fitopatógenos, debido a que producen metabolitos secundarios cerca de la superficie de la planta, es decir, el sitio donde deben actuar (Lugtenberg y Kamilova, 2009), estos metabolitos son biodegradables y no se necesitan en cantidades elevadas, a diferencia de los agroquímicos que son resistentes a la degradación por microorganismos y se aplican en grandes cantidades a los cultivos agrícolas para mantener la salud de las plantas **(Figura 10)** (Molina *et al.*, 2015). Algunas cepas de *Pseudomonas* spp. seleccionadas como antagonistas de *Fusarium* y *Colletotrichum orbiculare*, son capaces de inducir resistencia sistémica cuando se inocula en las plantas (Lugtenberg y Kamilova, 2009).

Por otra parte, el hierro (Fe) es un elemento esencial para el crecimiento de los organismos, las plantas lo obtienen del suelo y cuando la disposición de los elementos nutritivos es limitada los microorganismos de la rizósfera entran en competencia por adquirirlo, las PGPR producen sideróforos que son compuestos de bajo peso molecular para obtener competentemente este mineral del suelo. Además, los sideróforos son compuestos que desempeñan la función de solubilizar específicamente el hierro e incorporarlo al metabolismo celular, químicamente, se consideran compuestos ligantes a hierro que funcionan de forma general uniéndose covalentemente a hierro sin generar cambios en el estado de oxidación. Las sustancias inhibidoras producidas por las PGPR que más se han reportado son los sideróforos, la síntesis de estos y sus receptores es inducida por las limitaciones de Fe en el medio y regulada por proteínas dependientes de Fe, pH y trazas de C, N y P (Camelo *et al.*, 2011). En este sentido, uno de los métodos de estimular indirectamente el crecimiento de las plantas es por la producción y secreción de sideróforos, compuestos que secuestran el Fe disponible en la rizósfera y como resultado previene que cualquier microorganismo patógeno prolifere (**Figura 11**) (Ortiz *et al.*, 2016).

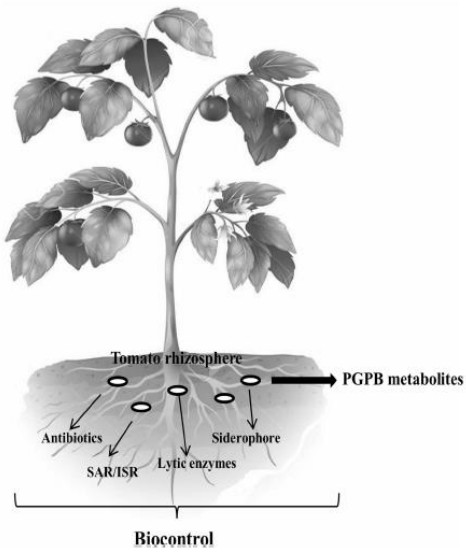


Figura 10. Descripción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en el manejo de enfermedades en el cultivo de tomate (Singh *et al.*, 2017).

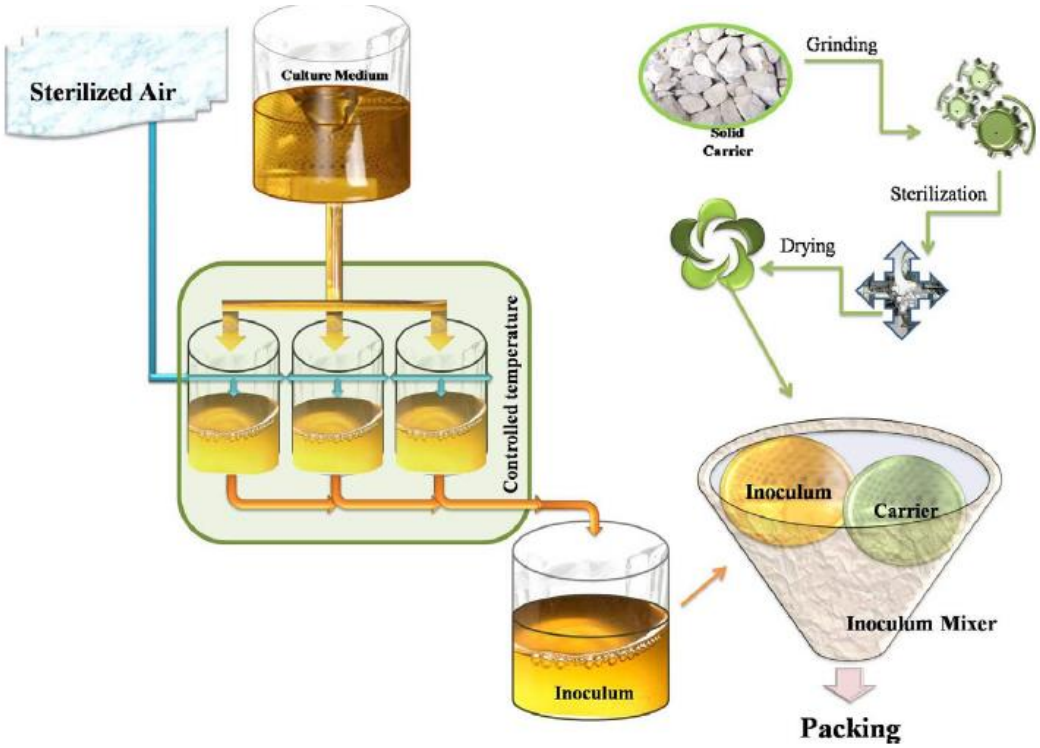


Figura 11. Esquema generalizado de la formulación de bioprotectores por industrias donde las PGPR se conservan en una molécula portadora apropiada y se empaquetan para su aplicación comercial al final del agricultor. Varias formulaciones de PGPR están comercialmente disponibles

en el mercado por diferentes productores comerciales y diferentes instituciones gubernamentales (Tabassum *et al.*, 2017).

Fertilidad del suelo y la captación de nutrimentos por PGPR

El suelo es el nicho natural para los microorganismos rizosféricos que juegan un papel importante en los procesos del suelo y determinan la productividad de las especies vegetales (Sharma *et al.*, 2017). Las PGPR están involucradas en diferentes procesos del suelo como es la descomposición de residuos de cultivos, mineralización de materia orgánica, inmovilización de nutrimentos minerales, solubilización de fosfato, fijación de nitrógeno, síntesis de fitohormonas y control biológico de enfermedades dichos procesos ayudan en la mejora de la fertilidad del suelo, además de mejorar la productividad de las especies vegetales (**Figura 12)** (Vessey, 2003; Calvo *et al.*, 2014; Egamberdieva *et al.*, 2015). La disponibilidad de humedad es un factor crítico en el suelo para la colonización de PGPR en la rizosfera. Las rizobacterias asociadas con las raíces están involucradas en la síntesis de un gran número de biomoléculas que se conjuntan con el suelo y mejoran la salud del suelo (Sharma *et al.*, 2017). En este sentido, en condiciones climáticas húmedas o secas, el pH del suelo puede fluctuar mucho. La gran cantidad de lluvia en un área tropical reduce significativamente el pH del suelo por lixiviación de cationes alcalinos como Ca y Mg o mejora los procesos de meteorización, que finalmente resultan en la producción de óxidos de hierro y aluminio con una alta afinidad por el intercambio catiónico con la solución de suelo. En condiciones de clima seco, hay una alta concentración de cationes alcalinos en el suelo, incluidos Ca y Mg, que aumentan considerablemente el pH del suelo. La acidez del suelo puede afectar: (1) el crecimiento de la planta y la producción del rendimiento, (2) la población y actividades microbianas, (3) la disponibilidad de nutrimentos del suelo y (4) actividades de patógenos (Miransari, 2011).

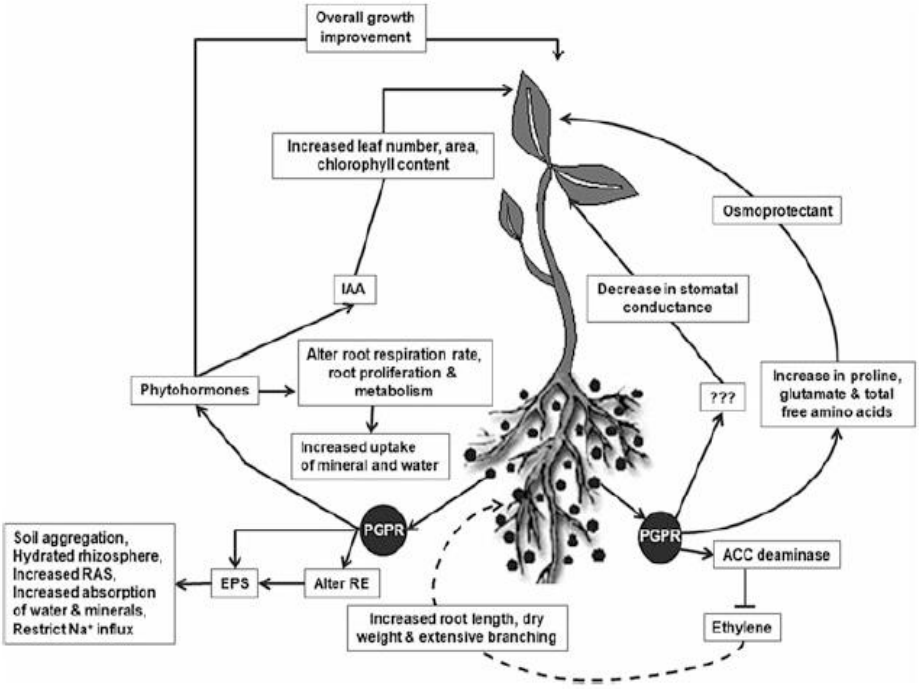


Figura 12. Mecanismos de mejora de la fertilidad del suelo a través de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (Egamberdieva *et al.*, 2015).

La PGPR modifica la fisiología de las plantas, asimismo las propiedades nutricionales y físicas del suelo rizosférico. Se ha demostrado que las rizobacterias incrementan la absorción de elementos nutritivos como Ca, K, Fe, Cu, Mn y Zn a través de la bomba de protones ATPasa (Bhattacharyya y Jha, 2012). Este aumento en la absorción de nutrimentos por las plantas podría explicarse a través de la producción de ácidos orgánicos por las plantas y PGPR, disminuyendo el pH del suelo en la rizosfera (Glass *et al.*, 2002). En la actualidad es importante la actividad de las PGPR en el mantenimiento de la fertilidad del suelo (Tabassum *et al.*, 2017), por ejemplo las rizobacterias ayudan la solubilización de los nutrimentos no disponibles y a facilitar su absorción (Glick, 1995). Por lo tanto la aplicación bioinoculantes en programas de fertilización de los cultivos aumenta la materia orgánica del suelo, lo que modifica la actividad de las comunidades microbianas del suelo, induciendo cambios en el conjunto de carbono orgánico del suelo. Los procesos inducidos por los bioinoculantes en las propiedades biológicas del suelo varían de suelo a suelo y juegan papeles importantes en el estado de la fertilidad del suelo y la estabilización del carbono orgánico del suelo, lo que a su vez afecta las propiedades del suelo y la productividad de las especies vegetales (Buragohain *et al.*, 2017).

Por otra parte, la materia orgánica del suelo es importante en la conservación y restauración del suelo a largo plazo. Los compuestos orgánicos disueltos tienen un papel principal en el suministro de NH_4^+ derivado del suelo, regulan las transformaciones del N fijado biológicamente y ayudan mantener un equilibrar en la relación carbono/N del suelo. El suelo que tiene un nivel bajo de materia orgánica si se inocula con PGPR puede dar mejores rendimientos. La agregación del suelo es un factor físico importante de la fertilidad del suelo, lo que contribuye a la retención y movimiento del agua. La producción de exopolisacáridos por algunos PGPR aumenta la agregación y la fertilidad del suelo. La aplicación de PGPR que produce exopolisacáridos también ayuda a aumentar el rendimiento de los cultivos en suelo afectado por factores ambientales tales como la sequía y el estrés por salinidad (Qurashi y Sabri, 2012; Arora *et al.*, 2017; Van Oosten *et al.*, 2017).

Conclusión

La contaminación al ambiente y la disminución en la productividad de los cultivos agrícolas sean convertidos en un problema importante a un ritmo sin precedentes. La dependencia a los fertilizantes y pesticidas sintéticos los cuales provocan un efecto negativo en la salud humana, además de alteran el equilibrio ecológico en la rizosfera del medio radical de las plantas. Ha causado la búsqueda de sistemas de producción sustentable que reduzcan el suministro de agroquímicos. Ante esta situación, los bioinoculantes a base de PGPR pueden ayudar a mitigar el problema de la perdida de la fertilidad del suelo y disminuir el suministro de agroquímicos en los sistemas de producción agrícola, así fortalecer el enfoque de la agricultura sustentable. Es de vital importancia comprender los aspectos útiles de los bioinoculantes ya que su aplicación representa una alternativa biotecnología moderna para decrecer la existente tensión ambiental.

Literatura citada

Ahemad, M., & Khan, M. S. (2010). *Pseudomonas aeruginosa* strain PS1 enhances growth parameters of greengram [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] in insecticide-stressed soils. *Journal of Pest Science, 84*(1), 123-131. doi: 10.1007/s10340-010-0335-0

Ahemad, M., & Khan, M. S. (2012). Alleviation of fungicide-induced phytotoxicity in greengram [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] using fungicide-tolerant and plant growth promoting *Pseudomonas* strain. *Saudi J Biol Sci, 19*(4), 451-459. doi: 10.1016/j.sjbs.2012.06.003

Ahemad, M., & Kibret, M. (2014). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University - Science, 26*(1), 1-20. doi: 10.1016/j.jksus.2013.05.001

Ahmad, F., Ahmad, I., & Khan, M. S. (2008). Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiol Res, 163*(2), 173-181. doi: 10.1016/j.micres.2006.04.001

Ahmed, B., Zaidi, A., Khan, M. S., Rizvi, A., Saif, S., & Shahid, M. (2017). Perspectives of plant growth promoting rhizobacteria in growth enhancement and sustainable production of tomato. In A. Zaidi & M. S. Khan (Eds.), *Microbial strategies for vegetable production* (pp. 125-149). Cham, Switzerland: Springer Nature.

Almaghrabi, O. A., Massoud, S. I., & Abdelmoneim, T. S. (2013). Influence of inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on tomato plant growth and nematode reproduction under greenhouse conditions. *Saudi J Biol Sci, 20*(1), 57-61. doi: 10.1016/j.sjbs.2012.10.004

Amara, U., Khalid, R., & Hayat, R. (2015). Soil bacteria and phytohormones for sustainable crop production *Bacterial metabolites in sustainable agroecosystem* (pp. 87-103): Springer.

Arora, N. K., Verma, M., & Mishra, J. (2017). Rhizobial Bioformulations: Past, Present and Future *Rhizotrophs: Plant Growth Promotion to Bioremediation* (pp. 69-99): Springer.

Ashrafuzzaman, M., Akhtar, H. F., Razi, I. M., Anamul, H. M., Zahurul, I. M., Shahidullan, S. M., & Meon, S. (2009). Efficiency of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) for the enhancement of rice growth. *African Journal of Biotechnology, 8*(7), 1247-1252.

Babalola, O. O. (2010). Beneficial bacteria of agricultural importance. *Biotechnol Lett, 32*(11), 1559-1570. doi: 10.1007/s10529-010-0347-0

Bais, H. P., Weir, T. L., Perry, L. G., Gilroy, S., & Vivanco, J. M. (2006). The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annu. Rev. Plant Biol., 57*, 233-266. doi: 10.1146/

Bhardwaj, D., Ansari, M. W., Sahoo, R. K., & Tuteja, N. (2014). Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial Cell Factores, 13*(1), 1-10.

Bhattacharjee, R. B., Singh, A., & Mukhopadhyay, S. N. (2008). Use of nitrogen-fixing bacteria as biofertiliser for non-legumes: prospects and challenges. *Appl Microbiol Biotechnol, 80*(2), 199-209. doi: 10.1007/s00253-008-1567-2

Bhattacharyya, P. N., & Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal Microbiology Biotechnology, 28*(4), 1327-1350. doi: 10.1007/s11274-011-0979-9

Buragohain, S., Sarma, B., Nath, D. J., Gogoi, N., Meena, R. S., & Lal, R. (2017). Effect of 10 years of biofertiliser use on soil quality and rice yield on an Inceptisol in Assam, India. *Soil Research*. doi: 10.1071/sr17001

Caballero-Mellado, J. (2006). Microbiología agrícola e interacciones microbianas con plantas. *Revista Latinoamericana de Microbiología, 48*(2), 154-161.

Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil, 383*(1-2), 3-41. doi: 10.1007/s11104-014-2131-8

Camelo-Rusinque, M., Moreno-Galvan, A., Romero-Perdomo, F., & Bonilla-Buitrago, R. (2017). Desarrollo de un sistema de fermentación líquida y de enquistamiento para una bacteria fijadora de nitrógeno con potencial como biofertilizante. *Rev Argent Microbiol, 49*(3), 289-296. doi: 10.1016/j.ram.2016.06.005

Camelo, R. M., Vera, M. S. P., & Bonilla, B. R. R. (2011). Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal. *Revista Corpoica- Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 12*(2), 159-166.

Castagno, L. N., Estrella, M. J., Sannazzaro, A. I., Grassano, A. E., & Ruiz, O. A. (2011). Phosphate-solubilization mechanism and in vitro plant growth promotion activity mediated by *Pantoea eucalypti* isolated from *Lotus tenuis* rhizosphere in the Salado River Basin (Argentina). *J Appl Microbiol, 110*(5), 1151-1165. doi: 10.1111/j.1365-2672.2011.04968.x

Creus, C. M. (2017). Inoculantes microbianos: piezas de un rompecabezas que aún requiere ser ensamblado. *Rev Argent Microbiol, 49*(3), 207-209. doi: 10.1016/j.ram.2017.07.001

Das, A. J., Kumar, M., & Kumar, R. (2013). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): An alternative of chemical fertilizer for sustainable, environment friendly agriculture. *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences, 1*(4), 21-23.

De Vleesschauwer, D., & Höfte, M. (2009). Rhizobacteria-induced systemic resistance. *Advances in Botanical Research, 51*, 223-281. doi: 10.1016/s0065-2296(09)51006-3

Díaz, V. P., Ferrera-Cerrato, R., Almaraz, S. J. J., & Alcántar, G. G. (2001). Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento en lechuga. *Terra Latinoamericana, 19*(4), 327-335.

Dobbelaere, S., Vanderleyden, J., & Okon, Y. (2003). Plant Growth-Promoting Effects of Diazotrophs in the Rhizosphere. *Critical Reviews in Plant Sciences, 22*(2), 107-149. doi: 10.1080/713610853

Egamberdieva, D., Shrivastava, S., & Varma, A. (2015). *Plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and medicinal plants* (Vol. 42): Springer.

Esquivel-Cote, R., Gavilanes-Ruiz, M., Cruz-Ortega, R., & Huante, P. (2013). Importancia agrobiotecnológica de la enzima acc desaminasa en rizobacterias, una revisión. *Revista Fitotecnia Mexicana, 36*(3), 251-238.

García, S. I. E., Hynes, R. K., & Nelson, L. M. (2001). Cytokinin production by plant growth promoting rhizobacteria and selected mutants. *Can J Microbiol, 47*(5), 404-411. doi: 10.1139/w01-029

Gianfreda, L. (2015). Enzymes of importance to rhizosphere processes. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 15*(2), 283-306.

Glass, A. D., Britto, D. T., Kaiser, B. N., Kinghorn, J. R., Kronzucker, H. J., Kumar, A., . . . Unkles, S. E. (2002). The regulation of nitrate and ammonium transport systems in plants. *J Exp Bot, 53*(370), 855-864.

Glick, B. R. (1995). The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Can J Microbiol, 41*(2), 109-117.

Glick, B. R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. *Scientifica (Cairo), 2012*, 963401. doi: 10.6064/2012/963401

Goswami, D., Thakker, J. N., Dhandhukia, P. C., & Tejada Moral, M. (2016). Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review. *Cogent Food & Agriculture, 2*(1). doi: 10.1080/23311932.2015.1127500

Hariprasad, P., & Niranjana, S. R. (2008). Isolation and characterization of phosphate solubilizing rhizobacteria to improve plant health of tomato. *Plant and Soil, 316*(1-2), 13-24. doi: 10.1007/s11104-008-9754-6

Hartmann, A., Rothballer, M., & Schmid, M. (2008). Lorenz Hiltner, a pioneer in rhizosphere microbial ecology and soil bacteriology research. *Plant Soil, 312*, 7-14. doi: 10.1007/s11104-007-9514-z

Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Møller, I. S., & White, P. (2012). Functions of Macronutrients. In M. s. M. N. o. H. Plants (Ed.), *Mineral nutrition of higher plants* (pp. 135-189). Elsevier Ltd., Amsterdam, The Netherlands.

Hayat, R., Ali, S., Amara, U., Khalid, R., & Ahmed, I. (2010). Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. *Annals of Microbiology, 60*(4), 579-598. doi: 10.1007/s13213-010-0117-1

Hipólito-Romero, E., Carcaño-Montiel, M. G., Ramos-Prado, J. M., Vázquez-Cabañas, E. A., López-Reyes, L., & Ricaño-Rodríguez, J. (2017). Efecto de inoculantes bacterianos edáficos mixtos en el desarrollo temprano de cultivares mejorados de cacao (Theobroma cacao L.) en un sistema agroforestal tradicional del norte de Oaxaca, México. *Rev Argent Microbiol*. doi: 10.1016/j.ram.2017.04.003

James, E. K., & Baldani, J. I. (2012). The role of biological nitrogen fixation by non-legumes in the sustainable production of food and biofuels. *Plant and Soil, 356*(1-2), 1-3. doi: 10.1007/s11104-012-1317-1

Jha, B. K., Gandhi Pragash, M., Cletus, J., Raman, G., & Sakthivel, N. (2008). Simultaneous phosphate solubilization potential and antifungal activity of new fluorescent pseudomonad strains, *Pseudomonas aeruginosa*, *P. plecoglossicida* and *P. mosselii*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology, 25*(4), 573-581. doi: 10.1007/s11274-008-9925-x

Kai, M., & Piechulla, B. (2009). Plant growth promotion due to rhizobacterial volatiles--an effect of CO2? *FEBS Lett, 583*(21), 3473-3477. doi: 10.1016/j.febslet.2009.09.053

Kang, S. M., Khan, A. L., You, Y. H., Kim, J. G., Kamran, M., & Lee, I. J. (2014). Gibberellin production by newly isolated strain *Leifsonia soli* SE134 and its potential to promote plant growth. *J Microbiol Biotechnol, 24*(1), 106-112.

Khalid, A., Arshad, M., & Zahir, Z. A. (2006). Phytohormones: microbial production and applications. In N. Uphoff (Ed.), *Biological approaches to sustainable soil systms.* (pp. 207-220). Boca Raton, Florida, USA: Taylor & Francis/CRC.

Khan, A. A., Jilani, G., Akhtar, M. S., Naqvi, S. M. S., & Rasheed, M. (2009). Phosphorus solubilizing bacteria: occurrence, mechanisms and their role in crop production *J. Agric. Biol. Sci, 1*(1), 48-58.

Khan, M. S., Zaidi, A., & Wani, P. A. (2007). Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture - A review. *Agronomy for Sustainable Development, 27*(1), 29-43. doi: 10.1051/agro:2006011

Kloepper, J. W., Gutierrez-Estrada, A., & McInroy, J. A. (2007). Photoperiod regulates elicitation of growth promotion but not induced resistance by plant growth-promoting rhizobacteria. *Canadian Journal Microbiology, 53*(2), 159-167. doi: 10.1139/w06-114

Kloepper, J. W., & Schroth, M. N. (1978). Plant growth promoting rhizobacteria on radishes. In Gilbert-Clorey (Ed.), *Procceding of the 4th International Conference on Plant Pathogenic Bacteria* (Vol. 2, pp. 879-882). France.

Kuman, A., Prakash, A., & Johri, B. N. (2011). *Bacillus* as PGPR in Crop Ecosystem. In D. K. Maheshwari (Ed.), *Bacteria in Agrobiology* (pp. 37-59). Springer. Heidelberg, Germany.

López, L. V., Cruz, H. M. A., Fernández, D. S., & Mendoza, H. A. (2015). Diversidad bacteriana en raíces de maíz hibrido convencional y genéticamente modificado. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, *85*, 233-243.

Lugtenberg, B., & Kamilova, F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annu Rev Microbiol*, *63*, 541-556. doi: 10.1146/annurev.micro.62.081307.162918

MacMillan, J. (2002). Occurrence of gibberellins in vascular plants, fungi, and bacteria. *Journal of Plant Growth Regulation*, *20*, 387-442.

Minorsky, P. V. (2007). On the Inside. *Plant Physiology*, *146*(2), 323-324. doi: 10.1104/pp.104.900246

Miransari, M. (2011). Soil microbes and plant fertilization. *Appl Microbiol Biotechnol*, *92*(5), 875-885. doi: 10.1007/s00253-011-3521-y

Mishra, J., & Arora, N. K. (2016). Bioformulations for plant growth promotion and combating phytopathogens: a sustainable approach. In N. K. Arora, S. Mehnaz & R. Balestrini (Eds.), *Bioformulations for sustainable agriculture* (pp. 3-33). Springer, New Delhi.

Mishra, J., Singh, R., & Arora, N. K. (2017). Plant Growth-Promoting Microbes: Diverse Roles in Agriculture and Environmental Sustainability. 71-111. doi: 10.1007/978-981-10-3473-2_4

Molina, R. D., Bustillos, C. M. d. R., Rodríguez, A. O., Morales, G. Y. E., Santiago, S. Y., Castañeda, L. M., & Muñoz, R. J. (2015). Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias, aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Revista de la DES Ciencias Biológicas Agropecuarias*, *17*(2), 24-34.

Nadeem, S. M., Naveed, M., Zahir, Z. A., & Asghar, H. N. (2013). Plant–microbe interactions for sustainable agriculture: fundamentals and recent advances. In N. K. Arora (Ed.), *Plant Microbe Symbiosis: Fundamentals and Advances* (pp. 51-103). India: Springer.

Narula, N., Kothe, E., & KumAR, B. R. (2009). Rol of root exudates in plant-microbe interactions. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, *83*, 122-130.

Noumavo, A. P., Agbodjato, N. A., Baba-Moussa, F., Adjanohoun, A., & Baba-Moussa, L. (2016). Plant growth promoting rhizobacteria: beneficial effects for healthy and sustainable agriculture. *African Journal of Biotechnology*, *15*(27), 1452-1463. doi: 10.5897/ajb2016.15397

Olanrewaju, O. S., Glick, B. R., & Babalola, O. O. (2017). Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *33*(11). doi: 10.1007/s11274-017-2364-9

Ortíz-Castro, R., Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., & López-Bucio, J. (2014). The role of microbial signals in plant growth and development. *Plant Signaling & Behavior*, *4*(8), 701-712. doi: 10.4161/psb.4.8.9047

Ortiz, T. J. A., Delgadillo, M. J., Rodríguez, M. M. d. l. N., & Calderón, Z. G. (2016). Inoculación bacteriana en el crecimiento y calidad del fruto de cinco variedades de fresa en suelos con pH contrastante. *Terra Latinoamericana*, *34*(2), 177-185.

Pérez, E., Sulbarán, M., Ball, M. M., & Yarzábal, L. A. (2007). Isolation and characterization of mineral phosphate-solubilizing bacteria naturally colonizing a limonitic crust in the south-eastern Venezuelan region. *Soil Biology and Biochemistry*, *39*(11), 2905-2914. doi: 10.1016/j.soilbio.2007.06.017

Pieterse, C. M., Zamioudis, C., Berendsen, R. L., Weller, D. M., Van Wees, S. C., & Bakker, P. A. (2014). Induced systemic resistance by beneficial microbes. *Annual Reviews Phytopathology*, *52*, 347-375. doi: 10.1146/annurev-phyto-082712-102340

Pii, Y., Mimmo, T., Tomasi, N., Terzano, R., Cesco, S., & Crecchio, C. (2015). Microbial interactions in the rhizosphere: beneficial influences of plant growth-promoting rhizobacteria on nutrient acquisition process. A review. *Biology and Fertility of Soils, 51*(4), 403-415. doi: 10.1007/s00374-015-0996-1

Qurashi, A. W., & Sabri, A. N. (2012). Bacterial exopolysaccharide and biofilm formation stimulate chickpea growth and soil aggregation under salt stress. *Brazilian Journal of Microbiology*, *43*(3), 1183-1191.

Reddy, P. P. (2014). *Plant growth promoting rhizobacteria for horticultural crop protection*. Bangalore, Karnataka, India: Springer.

Richardson, E. A. (2001). Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Australian Journal of Plant Physiology*, *28*, 897-906.

Rodríguez, H., & Fraga, R. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*, *17*, 319-339.

Rodríguez, H., Fraga, R., Gonzalez, T., & Bashan, Y. (2006). Genetics of phosphate solubilization and its potential applications for improving plant growth-promoting bacteria. *Plant and Soil*, *287*(1-2), 15-21. doi: 10.1007/s11104-006-9056-9

Römheld, V., & Neumann, G. (2006). The rhizosphere: Contributions of the soil-root interface to sustainable soil systems. In U. N (Ed.), *Biological approaches to sustainable soil systems* (pp. 92-107). CRC Press, Taylor and Francis, Oxford.

Rubio, L. M., & Ludden, P. W. (2008). Biosynthesis of the iron-molybdenum cofactor of nitrogenase. *Annu Rev Microbiol, 62*, 93-111. doi: 10.1146/annurev.micro.62.081307.162737

Saharan, B. S., & Nehra, V. (2011). Plant growth promoting rhizobacteria: A critical review. *Life Sciences and Medicine Research, 21*, 1-30.

Sharma, I. P., Chandra, S., Kumar, N., & Chandra, D. (2017). PGPR: Heart of Soil and Their Role in Soil Fertility (pp. 51-67).

Singh, V. K., Singh, A. K., & Kumar, A. (2017). Disease management of tomato through PGPB: current trends and future perspective. *3 Biotech, 7*(4), 255. doi: 10.1007/s13205-017-0896-1

Sosa, P. (2015). El largo y sinuoso camino de la Química. *Educación Química, 26*(4), 263-266. doi: 10.1016/j.eq.2015.09.006

Spaepen, S., Vanderleyden, J., & Okon, Y. (2009). Plant growth-promoting actions of rhizobacteria. *Advances in Botanical Research, 51*, 283-320. doi: 10.1016/s0065-2296(09)51007-5

Tabassum, B., Khan, A., Tariq, M., Ramzan, M., Iqbal Khan, M. S., Shahid, N., & Aaliya, K. (2017). Bottlenecks in commercialisation and future prospects of PGPR. *Applied Soil Ecology*, *121*, 102-117. doi: 10.1016/j.apsoil.2017.09.030

Tjamos, E. C., Tjamos, S. E., & Antoniun, P. P. (2010). Biological management of plant diseases: Highlights on research and application. *Journal of Plant Pathology, 92*(4), 17-21.

Tsavkelova, E. A., Cherdyntseva, T. A., Klimova, S. Y., Shestakov, A. I., Botina, S. G., & Netrusov, A. I. (2007). Orchid-associated bacteria produce indole-3-acetic acid, promote seed germination, and increase their microbial yield in response to exogenous auxin. *Arch Microbiol*, *188*(6), 655-664. doi: 10.1007/s00203-007-0286-x

Tsavkelova, E. A., Klimova, S. Y., Cherdyntseva, T. A., & Netrusov, A. I. (2006). Microbial producers of plant growth stimulators and their practical use: A review. *Applied Biochemistry and Microbiology, 42*(2), 117-126. doi: 10.1134/s0003683806020013

Vacheron, J., Desbrosses, G., Bouffaud, M. L., Touraine, B., Moenne-Loccoz, Y., Muller, D., . . . Prigent-Combaret, C. (2013). Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. *Front Plant Sci, 4*(1), 1-19. doi: 10.3389/fpls.2013.00356

Van Oosten, M. J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S., & Maggio, A. (2017). The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 4*(1). doi: 10.1186/s40538-017-0089-5

Vejan, P., Abdullah, R., Khadiran, T., Ismail, S., & Nasrulhaq Boyce, A. (2016). Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability-A Review. *Molecules, 21*(5). doi: 10.3390/molecules21050573

Velázquez, E., García-Fraile, P., Ramírez-Bahena, M.-H., Rivas, R., & Martínez-Molina, E. (2010). Bacteria involved in nitrogen-fixing legume symbiosis: current taxonomic perspective *Microbes for legume improvement* (pp. 1-25): Springer.

Vessey, K. J. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil, 255*, 571-586.

Weston, L. A., Ryan, P. R., & Watt, M. (2012). Mechanisms for cellular transport and release of allelochemicals from plant roots into the rhizosphere. *J Exp Bot, 63*(9), 3445-3454. doi: 10.1093/jxb/ers054

Wu, S. C., Cao, Z. H., Li, Z. G., Cheung, K. C., & Wong, M. H. (2005). Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma, 125*(1), 155-166. doi: 10.1016/j.geoderma.2004.07.003

Yaxley, R. J., Ross, J. J., Sherriff, J. L., & Reid, B. J. (2001). Gibberellin biosynthesis mutations and root development in pea. *Plant Physiology, 125*, 627-633.

Zaidi, A., Ahmad, E., Khan, M. S., Saif, S., & Rizvi, A. (2015). Role of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable production of vegetables: Current perspective. *Scientia Horticulturae, 193*, 231-239. doi: 10.1016/j.scienta.2015.07.020

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

PERSPECTIVAS DE LA AGRICULTURA ORGÁNICA EN MEXICO

Dr. Enrique Salazar Sosa[1], Dr. Raymundo Rivas Muñoz[1], Dr. Manuel Fortis Hernández[1], MC. José Guadalupe González Quirino[2], Dr. Ignacio Orona Castillo[3]

[1] Instituto Tecnológico de Torreón (ITT). Ejido Ana, Coahuila.
[2] Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro U.L. Torreón, Coahuila.
[3] Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango, Ejido Venecia, Gómez Palacio, Dgo.

Autor para correspondencia: enmageel1@yahoo.es

RESUMEN

La Comarca Lagunera es la cuenca con más de 400,000 cabezas de ganado bovino. Sin embargo, es una de las regiones con más estiércol producido el cual rebasa los dos millónes de kilogramos por día base seca. Por lo anterior el reciclado apropiado de este abono orgánico es determinante `para mejorar la fertilidad natural del suelo y como consecuencia su calidad, así como incrementar o mantener la producción de un cultivo determinado en invernadero o campo. El objetivo del presente estudio fue el de dar a conocer las prospectivas de la agricultura orgánica en México y determinar el método de uso y aprovechamiento del estiércol para su uso en una agricultura, convencional, sustentable y/o orgánica. el método de solarización se llevó acabo con muestras de estiércol de ocho diferentes establos y se compararon estas con estiércol solarizado a uno y seis meses con tres repeticiones cada uno respectivamente. El estudio realizado en maíz forrajero se llevó acabo en el campo de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango (FAZ-UJED. Se mejoraron las condiciones físico-químicas y biológicas del suelo, se alargó el calendario de riego en un 15 por ciento, debido a que el estiércol fermentado amortiguó las pérdidas de agua en el suelo por percolación y evaporación. Aparte de lo anterior el estiércol solarizado permitió la eliminación de patógenos lo cual es una garantía de que este método es una buena alternativa para todo tipo de agricultura incluyendo la orgánica. Además, los resultados fueron ampliamente significativos demostrándose que el efecto de la solarización elimina totalmente las bacterias y hongos presentes en el estiércol, así como las malezas.

A través de los años la MO se incrementó en todos los tratamientos de estiércol y en promedio de los diez años los tratamientos de 160 y 120 Mg ha^{-1} de estiércol aplicado incrementaron 189 y 180% la MO en el suelo, terminaron con 4 y 3.8% de MO. Similar a la concentración de MO en el suelo, los nitratos también se incrementaron en todos los tratamientos donde se aplicó estiércol, siendo los mejores tratamientos los de 120 y 160 Mg ha^{-1} de estiércol, con valores finales de 22.25 y 21.33 mg kg^{-1}.

La conductividad eléctrica después del segundo año de aplicación (1999) se incrementó considerablemente (arriba de 4 dS m^{-1}) debido a la alta concentración de sales en el estiércol, siendo los tratamientos de 80, 120 y 160 Mg ha^{-1} de estiércol los más altos con valores de 8 dS m^{-1} o más en el sexto año de estudio (2003), y a través de descanso, es decir, suspensión de la aplicación en el 2004 se logró disminuir estos, a niveles inferiores a 4 ds m^{-1}, lo cual indica que el monitoreo del suelo es necesario

Palabras claves: estiércol, solarizado, invernadero

INTRODUCCIÓN

La población mundial presenta un incremento continuo de tal manera que para el 2050 se espera tener aproximadamente nueve billones de habitantes (UNFPA, 2004; Naciones Unidas, 2003); lo cual aparte de requerir alimentos para su consumo diario, demandaran productos lo más sanos (inocuos) posibles para una buena salud y calidad de vida (Figura 1). Por lo que se requiere que desde este momento se realicen cambios en los sistemas de producción actuales, ya que se producen sin ningún control, los cuales llevan el riesgo no solo de incrementar costos de producción, sino, además, de no ser los productos más adecuados desde el punto de vista de la inocuidad alimentaria. Es así como la agricultura desde cualquier punto de vista deberá ser más eficiente en cantidad y calidad de los productos por unidad de superficie porque si la tendencia sigue siendo la de disminuir área de siembra, pero más demanda de alimentos los esfuerzos por buscar nuevas alternativas más rentables deberán ser más insistentes, rápidas y viables en la actualidad.

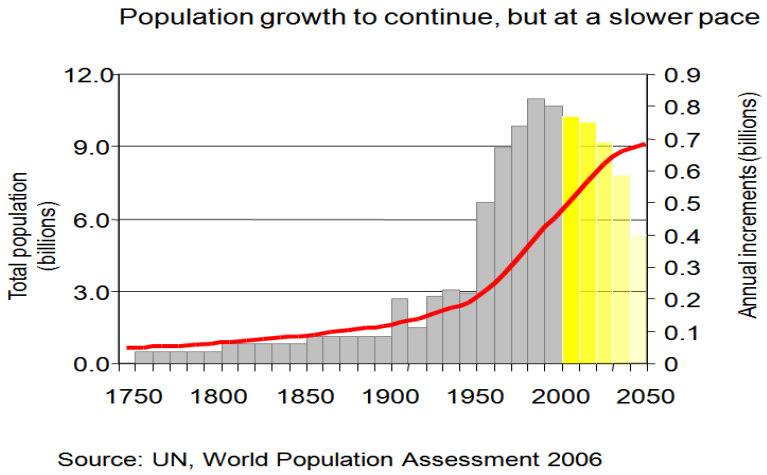


Figura 1. Población mundial al 2050

Por otra parte, los recursos suelo y agua han sido utilizados en sistemas de producción convencional de una manera intensiva e irracional sin tomar en cuenta su deterioro y baja fertilidad en el caso del suelo. En cuanto al agua, su cantidad y método de aplicación no son los más adecuados, lo que ha contribuido a un uso y aprovechamiento ineficiente. Por lo que se debe de regresar al suelo lo que se ha extraído a través del tiempo, utilizando abonos orgánicos y buenas prácticas agrícolas, entre otros; y con respecto al agua aplicarla en cantidad y distribución donde la planta lo necesita, es decir, cambiando los métodos de riego tradicionales de gravedad a presurizados y más eficientes. Estos conceptos son parte de lo que la agricultura orgánica sustentable considera para la producción agrícola más eficiente y ecológicamente estable en una región determinada.

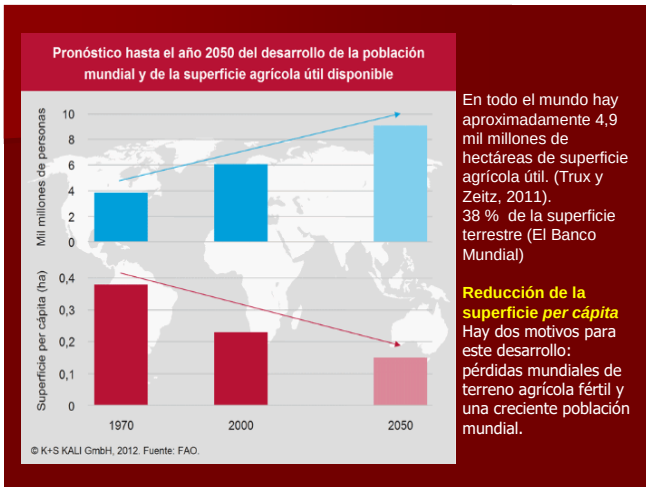


Figura 2. Incremento de la población y decremento de la superficie del suelo a nivel mundial

Esta comprado que la aplicación de abonos orgánicos resulta ventajoso y eficiente para mejorar las características químicas, biológicas y fiscas del suelo, pero su uso presenta las siguientes incógnitas:

- Falta de conocimiento técnico para aprovechar los residuos de cosechas, estiércoles, agua etc.
- Falta de dosificación adecuada de estiércoles.
- Desconocimiento técnico sobre el efecto de la aplicación continua de estiércoles al suelo.
- Desconocimiento técnico sobre el grado de biodegradación del estiércol a través del tiempo y su impacto en la planta

además, son una fuente posible de contaminantes químicos y biológicos con los que un especial cuidado se deberá tener al utilizarlos como la aplicación activa y nos pasiva de esos abonos y asi garantizar su uso en cuanto a pureza e inocuidad. Por lo que pasterizar o solarizar son metros viables que si garantizan los anterior.

En este sentido, el objetivo principal de este trabajo es describir el concepto de solarizar abonos orgánicos y sus ventajas y alcances en el país.

Cuadro 3. Agencias certificadoras en el Estado de Chiapas, México (Martínez *et al*., 2008).

Agencia	No. de Organizaciones	
	Total	%
Certimex	109	48.66
Ocia	22	14.73
Naturland	26	11.61
Certimex/Imo control/Naturland	16	7.14
Bioagricentert/Bioagricoop	11	4.91
Certimez/Imo control	4	1.79
Certimex/Naturland	4	1.79

Demeter Association	3	1.34
Certimez/Imo control/Naturland	2	0.89
Certimex/Imo control/Ocia	2	0.89
Certmex/Ocia	3	1.34
Imo control/Naturland	2	0.89
Imo control/Naturland/Ocia	2	0.89
Naturland/Ocia	2	0.89
Bcs/Imo Control/Naturland/Ocia	1	0.45
Bioagricentert/Bioagricoop/Certimex	1	0.45
Certimex/Imo control/Naturland/Ocia	1	0.45
Certimex/Imo control/Ocia/QAI	1	0.45
Demeter Association/Ocia	1	0.45
Total	224	100

Situación actual de la agricultura en el país

1. Mercado interno en etapa incipiente.
   15% de la producción orgánica se consume dentro del país
   5% se vende como orgánica, el resto como convencional
2. Desconocimiento total de la producción orgánica hasta su mercado y certificación
3. Desconocimiento del concepto Inocuidad Alimentaria
4. Falta de financiamiento.
   a. Funcionamiento diario de mercados orgánicos
   b. Capacitación y educación sobre agricultura orgánica
   c. Certificación, principalmente en pequeños productores
5. Publicidad y oferta local de productos orgánicos
6. Desconocimiento de normas y procesos de certificación
7. Educación, investigación y transferencia de tecnología en todos los niveles sobre agricultura orgánica
8. Políticas publicas claras que alienten a una reconversión de agricultura convencional hacia una agricultura orgánica

Definición de agricultura orgánica (IFOAM, 1996)

Codex Alimentarius la define como un sistema de producción que promueve e incrementa la salud del agro-ecosistema, incluyendo la biodiversidad, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo.

IFOAM (1996) (International Federation og Organic Agriculture Movement) señala que engloba todos los sistemas agrícolas que promueven la producción sana y segura de alimentos y fibras textiles desde el punto de vista ambiental, social y económico.

La Norma Chilena señala que es un sistema integral de producción agropecuaria basado en prácticas de manejo ecológico, cuyo objetivo principal es alcanzar una productividad sostenida en base a la conservación y/o recuperación de los recursos naturales.

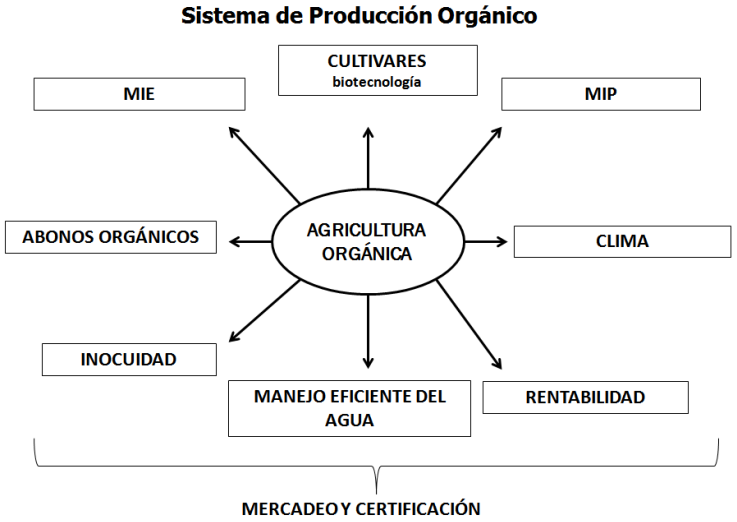
Principios de la agricultura orgánica (IFOAM, 2005)

Principio de la salud: La agricultura Orgánica debe sostener y promover la salud del suelo, planta, animal, persona y planeta como una sola e indivisible.

Principio de la ecología: La agricultura Orgánica debe estar basada en sistemas y ciclos ecológicos vivos, trabajar con ellos, imitarlos y ayudar a sostenerlos.
Principio de la equidad: La agricultura Orgánica debe estar basada en relaciones que aseguren equidad con respecto al ambiente común y a las oportunidades de vida.
Principio de precaución: La agricultura Orgánica debe ser gestionada de una manera responsable y con precaución para proteger la salud y el bienestar de las generaciones presentes, futuras y el ambiente.

Diagrama conceptual del sistema de producción orgánica

Este diagrama se presenta en la figura siguiente y nos indica claramente todos los componentes más importantes que comprende la agricultura orgánica, desde luego también su certificación.



Abonos orgánicos y biofertilizantes

La parte más elemental de la nutrición vegetal son los abonos orgánicos y biofertilizantes en la agricultura orgánica tropical y de otras áreas. Sin embargo, se debe tener cuidado con la relación carbono:nitrógeno (C/N) de cada abono orgánico, así como de sus estructuras bioquímicas ya que dependiendo de estos factores será la disponibilidad de nutrientes en la planta y desde luego que se debe tener en mente que todos los nutrimentos derivados de la descomposición y biodegradación de los abonos orgánicos estará disponibles para la planta y microorganismos, principalmente los que están en la rizosfera que por lo general siempre están en estado de hambre y son mayoría en número que los pelos absorbentes de las plantas y demás conductos de absorción de iones por estas. Así, los abonos orgánicos en resumen influyen además de nutrientes en la calidad del suelo, afectando sus características físicas, químicas y biológicas, además son posibles contaminantes de microorganismos patógenos como hongos, bacterias, actinomicetos y protozoarios como el Giardia y Cryptosporidium (Olivas-Enríquez *et al.*, 2011) entre otros (Figuras 3, 4 y 5).



Figura 3. Alta concentración de estiércol

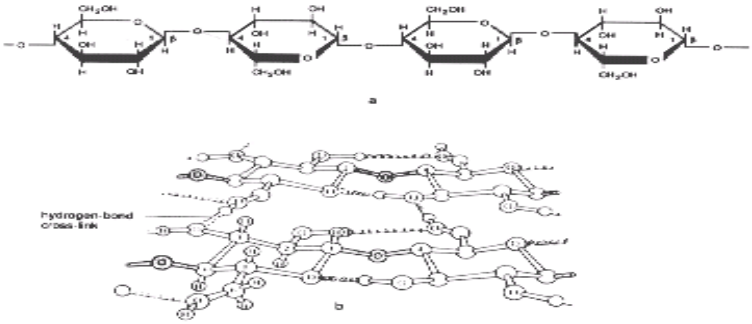
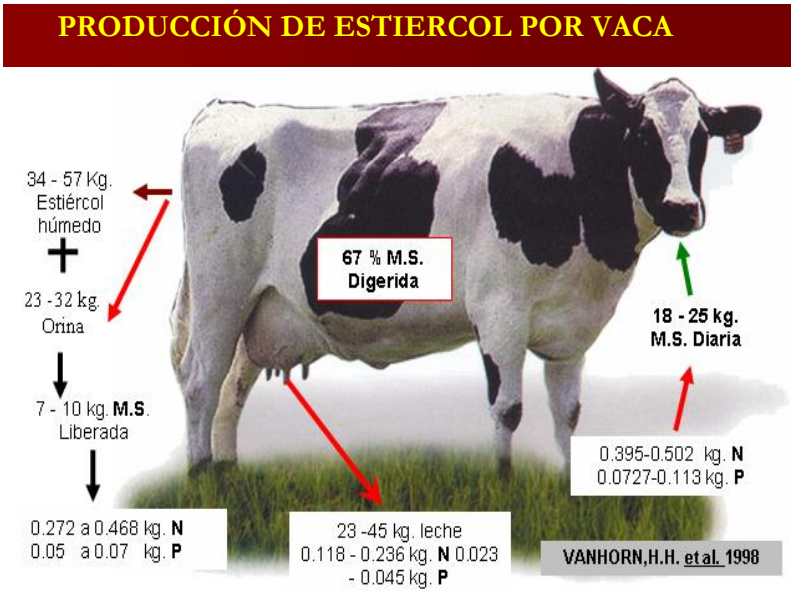


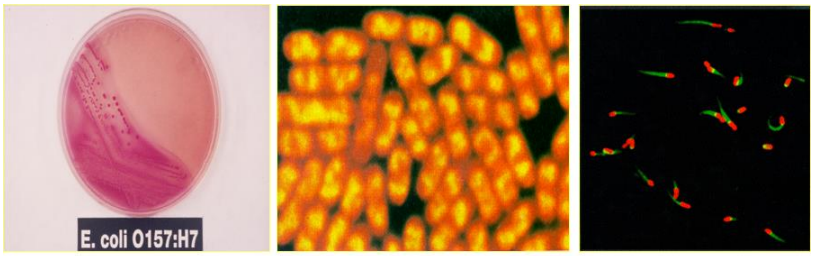
Figura 4. Estructura bioquímica de la celulosa



Figura 5. Fuentes de materia orgánica

Algunas de las bacterias patógenas para humanos encontradas en abonos orgánicos son las indicadas en la Figura 6. El *Cryptosporidium parvum* y *Giardia lamblia* son parásitos zoonóticos distribuidos en todo el mundo incluyendo los países en vías de desarrollo (Figuras 7 y 8), infectan a más del 20 % de la población mundial y producen ooquistes resistentes al ambiente, sobreviviendo mucho tiempo en agua tratada (clorada) después de la potabilización, hasta por seis meses y causa diarreas crónicas.





E. coli **0157:H7** *Salmonella* *Listeria*

Figura 6. Bactérias patógenas

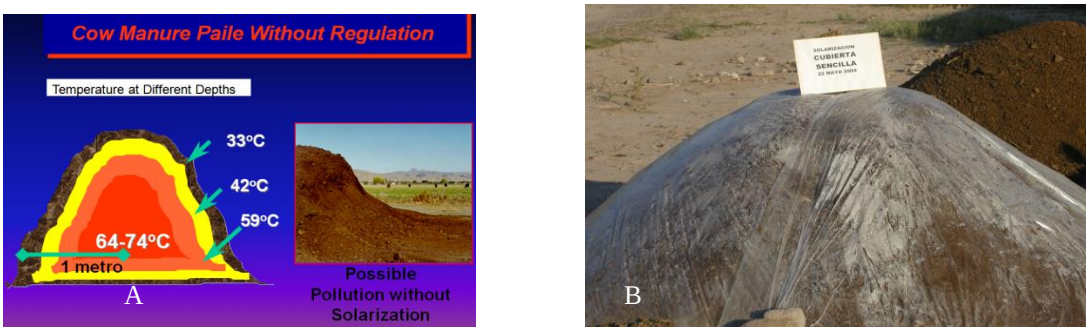




Figura 7. ***Cryptosporidium parvum*****.** **Figura 8.** ***Giardia lamblia***

Dado lo anterior, todo abono orgánico para ser utilizado como fuente nutrimental o con otros fines en agricultura orgánica deben ser tratados con un método activo y no pasivo para garantizar que todos los posibles patógenos que tengan sean aniquilados y eliminados (Salazar *et al.*, 2011). Un método viable es la solarización con plástico que tenga alta transmisibilidad de energía, permitiendo así que en el abono orgánico las temperaturas alcancen niveles de más de 60 °C, y bajo estas condiciones más un determinado por ciento de humedad en el abono orgánico, entre 30 y 40 %, no habrá duda que en todo el perfil de la pila de solarización se eliminaran todos los patógenos presentes (Vázquez-Vázquez *et al.*, 2011) (Figura 9 y 10).

Los biofertilizantes se presentan en el mercado en un gran número de marcas, con diferentes ventajas para el productor, pero mucho cuidado se debe tener sobre su inocuidad y alcances ya que algunos de ellos contienen microorganismos que vendrán a competir con los nativos que son mayoría y que pueden disminuir su eficacia, de tal manera que es preferible probarlos en campo y observar su eficacia en la nutrición vegetal antes de invertir cantidades económicas altas, por otro lado, todas las compostas y otros abonos orgánicos que tengan un proceso deberán justificar su inocuidad presentando un análisis microbiológico completo.



A **B**

Figura 9: A y B. Comportamiento de la temperatura en una pila de abono no solarizado y pila de solarización, cubierta de plástico sencillo.

Los biofertilizantes se presentan en el mercado en un gran número de marcas, con diferentes ventajas para el productor, pero mucho cuidado se debe tener sobre su inocuidad y alcances ya que algunos de ellos contienen microorganismos que vendrán a competir con los nativos que son mayoría y que pueden disminuir su eficacia, de tal manera que es preferible probarlos en campo y observar su eficacia en la nutrición vegetal antes de invertir cantidades económicas altas, por otro lado, todas las compostas y otros abonos orgánicos que tengan un proceso deberán justificar su inocuidad presentando un análisis microbiológico completo.

Es común que un solo abono orgánico (estiércol, abono verde, vermicompost, etc.) no tienen los nutrientes suficientes para satisfacer la demanda nutrimental de la planta, por lo que se deberá de buscar la manera de combinarlos e inclusive utilizar micorrizas, ya que estas exploran área más amplia que las raíces de los cultivos permitiendo así, proporcionarle a la planta nutrientes necesarios para satisfacer sus necesidades de nutrientes (Figura 10).



Figura 10. Micorrizas e inoculación de la semilla

El Cuadro 4, muestra algunos cultivos tropicales y sus necesidades de nutrimentos (archivo agronómico No 3, 2012; OIRSA, 2012), los cuales tienen que garantizar que con abono orgánico completan estas necesidades de nutrientes, pero se deberá tener mucho cuidado la asimilación microbial, perdidas por lixiviación, gas, entre otros. De tal manera que una de las perspectivas de la agricultura orgánica en zonas tropicales será asegurase del uso y aprovechamiento de los abonos orgánicos a través de la experimentación en campo, ya que los perfiles del suelo, cultivares, entre otros, tienen una influencia directa en el uso y aprovechamiento de nutrientes derivados de la descomposición de cualquier abono orgánico aplicado al suelo.

Cuadro 4. Requerimientos nutricionales de algunos cultivos.

CULTIVO	COSECHA	N (kg)	P_2O_5 (kg)	K_2O (kg)	CaO (kg)	MgO (kg)	S (kg)
Algodón	1 t ha^{-1}	120	19.7	74.7		24.1	20
Caña (Por Corte)	100 t ha^{-1}	110	71	290	57	48	60
Piña	35 t ha^{-1}	35	7	88	11	4	
Coco		232	83.6	251	16.6	51	**215**
Cacao	4° año en adelante	210	90	270		75	125
Maíz grano	9 t ha^{-1}	198	36	171	27	27	36
Trigo grano	30 t ha^{-1}	150	25	95	15	15	23
Arroz	6 t ha^{-1}	133	19	157	17	14	6
Soya grano	4 t ha^{-1}	320	32	132	64	36	28
Girasol grano	3.5 t ha^{-1}	140	17.5	98	63	38.5	17.5
Café (1665 litros)	30 fanegas 1 FANEGA = 55.5 LITROS	43	8.36	48.1	11.24	4.67	2.33

Inocuidad

La comisión Codex Alimentarius[1] (CCA) define la inocuidad como la garantía de que los alimentos no causaran daño al consumidor cuando se preparen y/o consuman de acuerdo con el uso a que se destinen. La Organización Mundial de la Salud retoma esta definición en su manual sobre las cinco claves para la inocuidad de los alimentos (OMS, 2007). Por lo tanto, un alimento es considerado sustancia o producto destinado a ser ingerido por los seres humanos o con probabilidades razonables de serlo, tanto si han sido transformados entera o parcialmente, como si no lo han sido. Así un alimento inocuo es por lo tanto aquel que está libre de agentes contaminantes que puedan dañar la salud de los consumidores de manera inmediata (por ejemplo, bacterias patógenas) o de mediano y largo plazo (micotoxinas, residuos de pesticidas, etc.). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentos (FAO), un contaminante es un agente biológico o químico, materia extraña u otra sustancia añadida de manera no intencional a los alimentos o una propiedad de estos que pueda poner en peligro su inocuidad (FAO, 2004).

Los alimentos pueden contaminarse de manera natural o debido a malas prácticas en su manejo en cualquiera etapa desde la producción hasta su disposición final en la mesa del consumidor; puede suceder al entrar en contacto con el suelo, el agua de riego, la lluvia, el aire, algunos abonos orgánicos, agroquímicos, personas portadoras, materiales de empaque, animales domésticos y silvestres, maquinaria y equipo, entre otros elementos.

Lo inocuo es un atributo de calidad que a diferencia de los externos o internos está escondido, dificultando enormemente su control. La inocuidad es un área en la cual se pueden establecer normas o estándares obligatorios (Leos-Rodriguez *et al*., 2008).

En general, los contaminantes o peligros que pueden estar presentes en los alimentos se agrupan en: microbiológicos, químicos y físicos.

Agricultura Orgánica

Es factible y necesario incrementar cultivos, predios y productores que se dediquen a la agricultura orgánica sin descuidar los aspectos señalados en esta breve publicación considerando el aspecto de la certificación con los puntos que se señalan y así realmente garantizar ante el consumidor y mercados nacionales e internacionales que se trata de productos realmente orgánicos en zonas tropicales, lo cual es factible y rentable.

Aspectos a considerar en la certificación de productos orgánicos

Recomendaciones mínimas a cubrir antes de solicitar la certificación orgánica por primera vez.

Se debe entender que la lista más apropiada es respetar todos y cada uno de los "estándares" de la normatividad, es decir del programa en el que se pretende lograr la certificación, entre estos programas, los más importantes son los de Estados Unidos (NOP-USDA), la Unión Europea (EU) y Japón (JAS).

Parcela:

1. El terreno que se pretende certificar debe tener al menos tres años de operaciones 100% orgánicas. Es decir, tres años en los que no se hayan utilizado productos o prácticas no permitidas

[1] Es un órgano intergubernamental que se reúne cada dos años para adoptar proyectos de normas alimentarias preparadas por más de 20 comités especializados. El objeto de estas normas y textos afines es proteger la salud del consumidor y asegurar la aplicación de prácticas equitativas en el comercio de los alimentos. La Comisión del Codex fue establecida de manera conjunta a principios de los años 60 por la FAO y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

en la agricultura orgánica y con el uso continuo de sustancias, materiales y prácticas permitidas. Es indispensable contar con toda clase de comprobantes de esto: facturas, etiquetas, bitácoras, envases.

2. Debe de encontrarse en el terreno una adecuada rotación y biodiversidad.

3. El terreno deberá contar con suficiente "zona de amortiguamiento" para estar protegido en contra de contaminaciones accidentales de parcelas convencionales vecinas.

4. No es obligatorio, pero se recomienda que este cercado.

5. Además de las prácticas de manejo orgánico, se debe respetar normatividad de INOCUIDAD y lo que se conoce como BUENAS PRACTICAS AGRICOLAS (BPA´s), como el hecho de contar con áreas de higiene adecuadas y alejadas del terreno de producción.

6. El terreno debe contar con letreros visibles que indiquen que es ORGÁNICO y que se deben respetar ciertas prohibiciones, por ejemplo: "NO FUMAR", "LAVARSE LAS MANOS ANTES DE ENTRAR"

Documentación:

1. Plan de Finca del año actual: programa de manejo considerando la mayor cantidad de detalles posible acerca del manejo nutrimental, el manejo de plagas y enfermedades, semillas y variedades, agua, etc. Uno de los aspectos más importantes del plan de finca es la rotación de cultivos y la biodiversidad.

2. De cada uno de los aspectos mencionados en el Punto 1 se deberá contar con su propia documentación. Por ejemplo:

2.1. Del manejo nutrimental. Si se utilizan compostas se deberá contar con facturas de compra, certificaciones que hayan acompañado la compra, preferentemente con certificación orgánica, resultados de análisis, etc. En caso de que se elaboren en la propia finca, se deberá contar con las bitácoras de elaboración de la misma con registros diarios de temperatura, humedad, nombre del operador, etc. Si se usan abonos verdes también se deberá contar con bitácoras de producción o documentación de adquisición.

2.2. Del manejo de plagas. Se deberá utilizar y tener la documentación comprobante de la mayor cantidad de prácticas de manejo de plagas permitidas en la agricultura orgánica: liberación de enemigos naturales, aplicación de extractos botánicos, uso de atrayentes o repelentes permitidos, etc. y asimismo contar con documentos comprobatorios de cada uno.

2.3. Lo mismo para todos los demás aspectos del manejo (Enfermedades, Maleza, Semillas, Manejo de Postcosecha y Almacenaje, etc.).

2.4. Historiales de campo de los últimos tres años. Se deberá incluir toda la información en forma similar al plan de finca; es decir, todos los detalles posibles del manejo de nutrición, plagas, etc.

2.5. Mapas de parcela de todas las parcelas (mostrando uso de tierra colindante e identificación de parcelas).

2.6. Etiquetas de productos e insumos.

2.7. Documentación de semillas.

2.8. Análisis de suelo y Análisis foliares.

2.9. Análisis de residuos en vegetales.

2.10. Análisis de agua.

2.11. Bitácoras de manejo de equipos y maquinara (registros de limpieza y productos utilizados).

2.12. Cuando se solicite la certificación a alguna AGENCIA DE CERTIFICACION, esta solicitará el llenado de varios formatos con toda clase de información respecto al uso y manejo completo de la

parcela. Solicitará también declaraciones juradas acerca de diferentes aspectos como NO-USO DE ORGANISMOS GENETICAMENTE MODIFICADOS, etc.

Personal de campo:

1. Los encargados del trabajo de campo deben conocer los fundamentos y la normatividad orgánica.
2. Los encargados de campo deben contar con una copia de los estándares del programa para el que se desea solicitar la certificación.

Para complementar lo anterior se presentan resultados de investigación en maíz forrajero en la Comarca Lagunero utilizando estiércol solarizado.

Uso y aprovechamiento de estiércol

Producción de maíz forrajero

Como cualquier otro cultivo, el maíz requiere de una cantidad suficiente de nutrientes adecuados para satisfacer sus necesidades; misma cantidad es absorbida del suelo, la cual varía en tiempo y disponibilidad por la fertilidad natural del mismo. Los principales nutrientes que demanda este forraje se presentan con regularidad deficiente en el suelo, los cuales pueden ser aportados aplicando diferentes fertilizantes ya sea, químicos, estiércoles y residuos de cosecha. Es importante mencionar que el uso de fertilizantes químicos ha incrementado el costo de producción de los cultivos y puede contaminar el suelo y el agua principalmente con nitratos por lo que las fuentes orgánicas son una opción que debe ser investigada (Salazar *et al*., 2007).

Respecto a la aplicación de diferentes tipos de abonos orgánicos estos generan cambios distintos sobre las propiedades del suelo, ya que tienen características propias; estas deben tenerse en cuenta dentro de las estrategias para un manejo integral de la materia orgánica del suelo. Los estiércoles incorporan una mezcla rica en nutrientes por cuanto generalmente las heces van mezcladas con la orina y son de fácil mineralización por los microorganismos (Barrera, 2003).

Romero *et al*. (2000) mencionan que los abonos orgánicos se han usado desde tiempos remotos y han sido muy efectivos, sin embargo, hay que considerar la variación en cuanto a su composición química y el aporte de nutrimentos que proporciona al cultivo ya que depende esta depende de su procedencia, edad, manejo y humedad.

En este sentido cuando se dispone de algún desecho orgánico es necesario el buscar la manera más adecuada de aprovecharlo, dosificándolo e incorporándolo al suelo adecuadamente para satisfacer las necesidades nutricionales de los cultivos para su mejor desarrollo e incrementar su productividad, cuidando siempre de no contaminar el ambiente (Salazar *et al*., 2003a).

En la región lagunera el maíz forrajero ocupa un lugar importante dentro del patrón de cultivos por un alto rendimiento energético que aporta a las reacciones para ganado bovino lechero. Actualmente la producción promedio de forraje de maíz por hectárea es de 45 toneladas de forraje fresco y 15 toneladas de forraje seco. Reta *et al*. (2002) mencionan que las estrategias que en la Comarca Lagunera se han empleado para incrementar la producción han sido variadas; destacando la utilización de variedades e híbridos más eficientes en el uso del agua, arreglos topológicos, densidades de población; así como la utilización de abonos orgánicos, sin embargo, destacan es necesario seguir desarrollando investigación en estos últimos.

Rendimiento de forraje de maíz

El cuadro 1 muestra las producciones obtenidas del año 2000 al 2007, en los años 2000 y 2001 los tratamientos de 80, 120 y 160 Mg ha^{-1} de estiércol fueron iguales al tratamiento de fertilizante químico, lo cual indica que compiten con él desde los primeros años, sobresalen los tratamientos de 160 y 120 Mg ha^{-1} en los años 2000 y 2001 respectivamente con 85.7 y 89.8 Mg ha^{-1} de forraje verde cada año. Para los años 2002 y 2003 los tratamientos de estiércol fueron superiores al testigo

sin estiércol y al tratamiento químico, en ambos años el tratamiento que sobresalió fue el de 120 Mg ha^{-1} estiércol con 84.3 y 67.2 Mg ha^{-1} de forraje verde.

Del 2004 al 2006 las más altas producciones se presentaron en el tratamiento de 80 Mg ha^{-1} de estiércol con 85m 72.8 y 56.4 Mg ha^{-1} de forraje verde, respectivamente; en 2004 los tratamientos de estiércol son iguales entre si y superiores al testigo y al tratamiento químico, en 2005 los tratamientos de 80, 120 y 160 Mg ha^{-1} de estiércol se comportaron estadísticamente iguales entre si pero superiores al resto de los tratamientos. En el año 2006 las producciones fueron bajas, el tratamiento de 120 Mg ha-1 fue estadísticamente inferior al resto de los tratamientos de estiércol y el tratamiento químico.

En 2007 los tratamientos de estiércol fueron iguales entre si y superiores a los demás, siendo el de 180 Mg ha^{-1} de estiércol el tratamiento de mayor producción con 73.5 Mg ha^{-1} de forraje verde. De acuerdo al comportamiento en el periodo de estudio la figura 6 muestra que el mejor tratamiento fue el de 120 seguido del tratamiento de 80 Mg ha^{-1} de estiércol. Esto coincide con los resultados encontrados por Salazar *et al.*, (2007)

Cuadro 1. Producción de forraje de maíz con tratamientos de estiércol un control (cero aplicación) y un testigo químico (100-150-00), CAE-FAZ-UJED, 2000-2007

Tratamientos	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
	- - - - - - - - - - - - - - - - - - Peso Verde (Mg ha^{-1})- - - - - - - - - - - - - - - - - -							
0 Mg ha^{-1}	29.31 b	40.1 c	29.74 b	28.29 c	24.79 c	25.83 c	27.77 c	27.28 c
40 Mg ha^{-1}	50.42 b	50.1 b	80.75 a	56.74 a	86.28 a	62.64 b	56.38 a	67.56 a
80 Mg ha^{-1}	71.54 a	89.2 a	77.04 a	63.34 a	85.09 a	72.81 a	56.38 a	70.93 a
120 Mg ha^{-1}	84.61a	89.8 a	84.27 a	67.22 a	75.84 a	71.60 a	42.22 b	73.51 a
160 Mg ha^{-1}	85.73 a	57.3 a	81.09 a	53.75 a	77.11 a	66.74 a	52.75 a	69.89 a
100-150-00	54.78 a	87.4 a	65.34 b	49.10 b	61.11 b	54.59 b	54.17 a	52.86 b
DMS	32.55	36.96	24.52	15.38	11.05	14.44	12.93	13.55

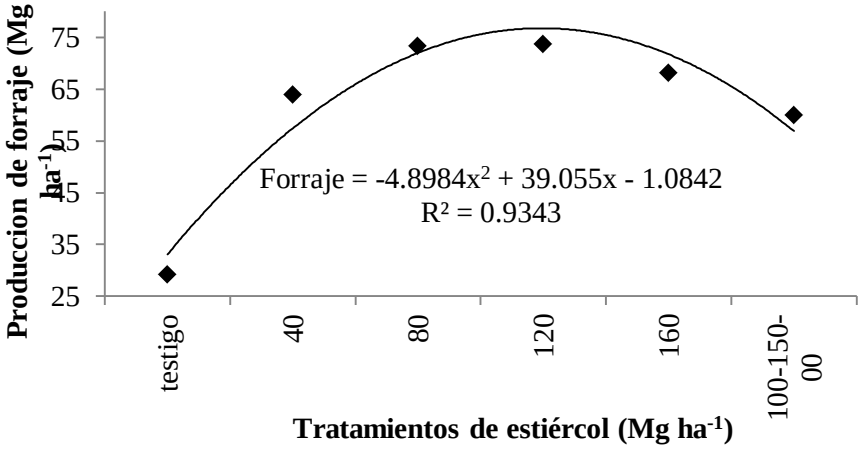


Figura 6. Tendencia de producción de forraje de maíz en diferentes tratamientos de estiércol, un tratamiento químico y un testigo.

Concentración de Nitratos en el Suelo

Las concentraciones de nitratos en el perfil del suelo muestran cantidades muy diferentes en cada tratamiento de estiércol, sin embargo, en todos se apreció una tendencia a la baja en las profundidades de 180 y 210 cm (Figura 3). Para el tratamiento testigo (0 Mg ha^{-1} de estiércol) la concentración más alta de nitratos se encontró en la profundidad de 60 cm con 72.4 mg kg^{-1}. Para los estratos 7.5 y 15 cm las concentraciones oscilan entre 6.5 y 53.5 mg kg^{-1}. Sin embargo, a partir de la profundidad de 90 cm, los nitratos tienden a disminuir con una concentración máxima de 19.9 mg kg^{-1} para el mismo tratamiento testigo. Para el tratamiento de 40 Mg ha^{-1} de estiércol aplicado al suelo la máxima concentración está en la profundidad de 15 cm con 239 mg kg^{-1}, a más profundidad la tendencia es a la baja, con una mínima concentración a los 180 cm con 36.5 mg kg^{-1}, (Figura 3). El tratamiento de 80 Mg ha^{-1} de estiércol, muestra su máxima concentración a la profundidad de 15 cm con 320.9 mg kg^{-1}, la máxima profundidad exhibe en 210 cm con 37.2 mg kg^{-1}; mientras que la mínima concentración está en 150 cm de profundidad con 17 mg kg^{-1} (Figura 3). En el tratamiento de 120 Mg ha^{-1} de estiércol la máxima concentración se encontró a los 7.5 cm de profundidad con 325.8 mg kg^{-1}, la mínima está en 120 cm con 19.9 mg kg^{-1}. Para el tratamiento de 160 Mg ha^{-1} estiércol la máxima concentración esta en 15 cm de profundidad con 261.8 mg kg^{-1}, mientras que la mínima esta en 150 cm con 4.2 mg kg^{-1}; para el estrato de 7.5-15 cm las concentraciones son de 111.8 y 158 mg kg^{-1} respectivamente. El tratamiento de Fertilizante Químico (100-150-00) en maíz mostró su máxima concentración en 15 cm de profundidad con 87.1 mg kg^{-1} y la mínima en 180 cm con 2.6 mg kg^{-1}. Resultados parecidos reportan Figueroa *et al*., (2001) los cuales encontraron concentraciones de hasta 60 kg ha^{-1} a 180 cm de profundidad en un suelo arcilloso limoso. Por otra parte, Figueroa (2002) en un experimento de alfalfa encontró concentraciones de hasta 140 kg ha^{-1}.

Las concentraciones más altas de nitratos se encuentran en los estratos menos profundos, debido a que en los estratos superiores se encuentra un mayor número de microorganismos, esto debido a las condiciones favorables de aireación, humedad y temperatura necesarias en su actividad enzimática para una alta mineralización; además es en estos estratos donde se encuentra presente el estiércol. Salazar *et al.* (2001) encontraron resultados similares en un trabajo de tomate.

Teasdale y Abdul Baki (1995) y Salazar *et al.* (2003b) coinciden en que la temperatura óptima para la actividad enzimática de los microorganismos se encuentra en los estratos superiores 0-15 cm de profundidad. En el tratamiento de 80 Mg ha^{-1} de estiércol se manifiesta un pico de más de 150 mg kg^{-1} de nitrato a una profundidad de 180 cm; en el tratamiento de 160 Mg ha^{-1} de estiércol a una profundidad de 90 cm, se observa un pico de 250 mg kg^{-1} de nitrato, estos picos se deben posiblemente a la lixiviación del ion nitrato con las lluvias, debido a que a esta profundidad no existen las condiciones mínimas necesarias para la degradación, pero lo mas probable es que dada la heterogeneidad de los perfiles de suelo, es que solo en este tratamiento se observó este efecto porque si el suelo fuera homogéneo seria igual en todos los tratamientos. En cuanto al testigo (cero aplicaciones) se observa que presenta las más bajas concentraciones prácticamente en todas las profundidades lo que explica los bajos rendimientos del maíz en este tratamiento.

Concentración de amonio en el suelo a diferentes profundidades

Para el tratamiento control la máxima concentración se localizó a de 7.5 cm con 16.95 mg kg^{-1} y la mínima se presentó a 90 cm con 3.69 mg kg^{-1}. Para el tratamiento de 40 Mg ha^{-1} de estiércol la máxima concentración se presentó a 7.5 cm con 19.63 mg kg^{-1} y la mínima a 90 cm de profundidad con 3.35 mg kg^{-1}; En el tratamiento de 80 Mg ha^{-1} de estiércol la concentración más alta está a 7.5 cm con 18.91 mg kg^{-1} y la mínima concentración se encontró a 150 cm de profundidad con 2.87 mg

kg^{-1}. En el tratamiento de 120 Mg ha^{-1} de estiércol la más alta concentración apareció a 60 cm con 21.31 mg kg^{-1} y la mínima está en 90 cm con 4.45 mg kg^{-1}. El tratamiento de 160 Mg ha^{-1} de estiércol mostró la máxima concentración a los 7.5 cm con 17.72 mg kg^{-1} y la mínima a 120 cm de profundidad con 2.87 mg kg^{-1}. Para la fertilización recomendada (100-150-00) en maíz la máxima concentración se registró a 7.5 cm de profundidad con 14.46 mg kg^{-1} y la mínima a 180 cm con 3.83 mg kg^{-1} (Figura 4). En general, la concentración del amonio tiende a bajar después de los 30 cm de profundidad. Esto debido a que la mayor actividad microbiológica se presenta precisamente en ese estrato, ya que la mineralización decrece conforme aumenta la profundidad en el suelo, principalmente porque las condiciones de desarrollo bacteriológico son más limitadas**.**

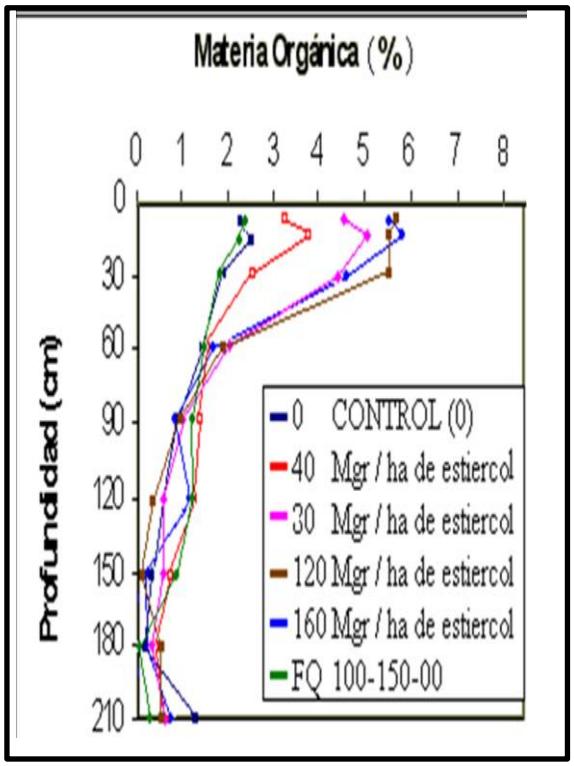
Concentración de Materia Orgánica en el Suelo

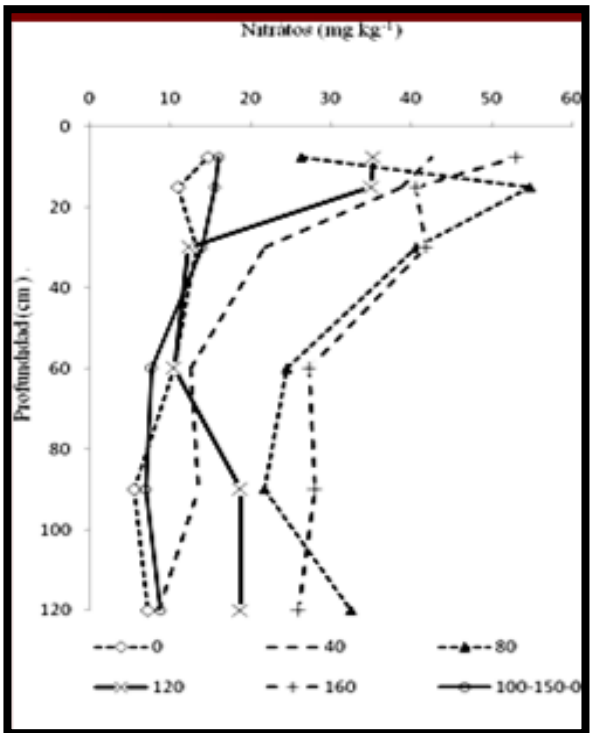
En todos los tratamientos de estiércol los porcentajes más altos se observaron en el estrato de 0 a 30 cm de profundidad (Figura 5). Teniendo los más altos valores en los tratamientos de 120 y 160 Mg ha^{-1} de estiércol a la profundidad de 7.5 cm con 5.65 y 5.52% respectivamente, mientras que el testigo (sin estiércol) apenas contiene el 2.07% a 7.5 cm y 2.21% a 15 cm de profundidad respectivamente. Esto refleja el efecto del estiércol sobre el incremento de materia orgánica en el suelo, debido principalmente a su alta concentración. Esto aplica por qué en los tratamientos de estiércol se observa un incremento de la materia orgánica después de 4 años de estar aplicando las mismas dosis en el mismo sitio, debido a la biodegradación del estiércol, ya que este contiene más del 5% de MO. La aplicación apropiada de abonos orgánicos en suelos agrícolas aumenta el reciclaje de nutrientes y conservación del agua (Walker, 1999). La descomposición de MO depende de los microorganismos presentes y es un concepto general de una secuencia completa de procesos muy detallados en los cuales los organismos utilizan los compuestos orgánicos como fuente de alimento (Ross 1998).

Los beneficios de la MO en suelos agrícolas son físicos, químicos y biológicos, ya que mejoran la estructura, evitan la compactación y la erosión, aumentan la retención de humedad, y mejora la capacidad de intercambio catiónico, como lo mencionan Castellanos *et al*. (1996). Fitzpatrick (1996) dice que la mayoría de los suelos contienen 1.6% de MO; o menos, pero en suelos muy áridos, el porcentaje baja a menos de 1 y en suelos donde se ha aplicado estiércol consecutivamente en dosis de más de 100 Mg ha^{-1} la concentración puede alcanzar niveles de 5% o más (Salazar *et al*.2002 y 2003).

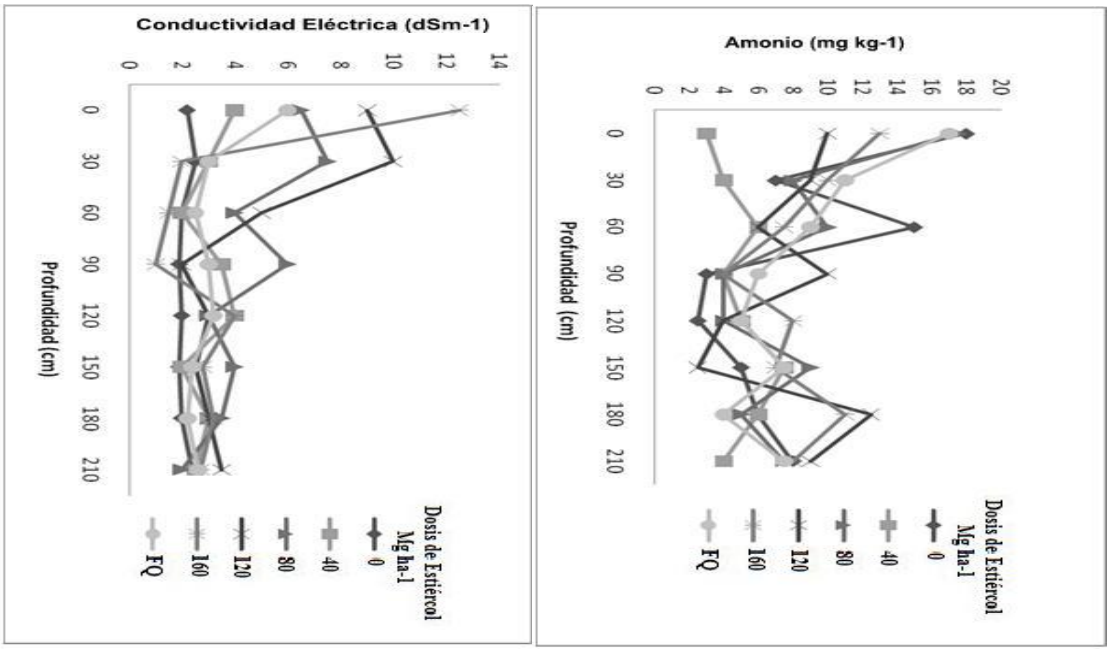
Conductividad Eléctrica

En los tratamientos de 0 y 40 Mg ha^{-1} de estiércol aplicado, así como en el de fertilizante químico, se presentan las más bajas CE con valores de entre 3.65 dS m^{-1} en el testigo y 7.16 dS m^{-1} máximo en el tratamiento donde se aplicó estiércol con 80 Mg ha^{-1} (Figura 5). Los tratamientos 80, 120 y 160 Mg ha^{-1} de estiércol (Figura 6) presentan valores de CE en el estrato de 0-15 cm mayores a los límites permisibles que son de 4 dS m^{-1} (Figura5) . Castellanos et. al., (1996) encontró que el estiércol a medida que se incrementaba la cantidad aplicada al suelo la conductividad eléctrica se incrementaba debido a que una tonelada de estiércol contiene alrededor de 50 kilogramos de sales. Los valores para el tratamiento de 80 Mg ha^{-1} de estiércol aplicado en el mismo estrato ya mencionado van de 12.8 a 13.1 dS m^{-1}. Para el tratamiento de 120 Mg ha^{-1}de estiércol los valores son de 9.62 a 13.5 dS m^{-1}. En el tratamiento de 160 Mg ha^{-1} de estiércol los valores van del 12.22 a 12.85 dS m^{-1}. Estos valores sugieren que el uso y manejo del estiércol se realice con extremo cuidado para no contaminar el suelo con sales comerciales e inclusive después de dos años de aplicar el estiércol monitorear el suelo al menos 3 meses antes de la siembra y bajar la dosis de estiércol a aplicar e inclusive no aplicar sino hasta el siguiente año.





Figuras x y x.. Distribución de la materia orgánica y nitratos en el suelo después de ser abonado con estiércol por cinco años consecutivos



Figuras x y x.. Distribución de la conductividad eléctrica y amonio en el suelo después de ser abonado con estiércol por cinco años consecutivos

Conclusiones y recomendaciones

A través de los años la MO se incrementó en todos los tratamientos de estiércol y en promedio de los diez años los tratamientos de 160 y 120 Mg ha^{-1} de estiércol aplicado incrementaron 189 y 180% la MO en el suelo, terminaron con 4 y 3.8% de MO. Similar a la concentración de MO en el suelo, los nitratos también se incrementaron en todos los tratamientos donde se aplicó estiércol, siendo los mejores tratamientos los de 120 y 160 Mg ha^{-1} de estiércol, con valores finales de 22.25 y 21.33 mg kg^{-1}.

La conductividad eléctrica después del segundo año de aplicación (1999) se incrementó considerablemente (arriba de 4 dS m^{-1}) debido a la alta concentración de sales en el estiércol, siendo los tratamientos de 80, 120 y 160 Mg ha^{-1} de estiércol los más altos con valores de 8 dS m^{-1} o más en el sexto año de estudio (2003), y a través de descanso, es decir, suspensión de la aplicación en el 2004 se logró disminuir estos, a niveles inferiores a 4 ds m^{-1}, lo cual indica que el monitoreo del suelo es necesario cuando se aplica estiércol, para mantener un nivel de sales que no afecte al cultivo.

El pH del suelo presentó bajas y altas alternadas en los valores terminando con los valores que inició, de 8.0 a 8.3, siendo más altos los valores de los tratamientos de 120 y 160 Mg ha^{-1} de estiércol aplicado respectivamente.

Es importante resaltar que con 80 Mg ha^{-1} o más, desde el año 2000 hasta el 2007, los tratamientos de estiércol fueron superiores en rendimiento al testigo e iguales o superiores al tratamiento químico

(años 2003, 2004, 2005 y 20079); esto demuestra la bondad del estiércol convirtiéndose en una excelente alternativa para satisfacer la demanda nutrimental del cultivo.

Literatura Citada

Álvarez-Sánchez, E.; Vázquez-Alarcón, A.; Castellanos, J. Z. y Cueto-Wong, J. 2006. Efectividad biológica de abonos orgánicos en el crecimiento de trigo. Terra Latinoamericana (México). 24: 261-268.

Castellanos, J. Z. 1986. Evaluación del estiércol de bovino y gallinaza como fuente de fósforo en el cultivo de alfalfa. Agric. Tecn. Méx. (México). 12:247-258.

Castellanos, J. Z. 1982 (a). La importancia de las condiciones físicas del suelo y su mejoramiento mediante la aplicación de estiércoles. Seminarios Técnicos Vol. 7 (México).

Castellanos, J. Z. 1982 (b). La utilización de los estiércoles en la Comarca Lagunera. Ingenieros Agrónomos del Tecnológico de Monterrey (IATEM). pp. 11-19. Torreón, Coahuila, México.

Castellanos, J. Z.; Marquez-Ortiz, J. J.; Etchevers-Barra, J. D.; Aguilar-Santelises, A. y Salinas, J. R. 1996. Long-term effect of dairy manure on forage yields and soil properties in an arid irrigated region of Northern Mexico. Terra (México) 14: 151-158.

Comisión Nacional del Agua (CNA). 2007. Base de datos de temperaturas de la Comarca Lagunera. Gerencia Regional Cuencas Centrales del Norte.

Frank, J. M V; Hendrik, D. y Hendrikus, J. L. 1992. Competition for ammonium between nitrifying and heterotrophic bacteria in continuously percolated soil columns. Applied and Environmental Microbiology (USA) 58(10): 3303-3311.

Fuentes, J.L. 2000. El suelo y los fertilizantes. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 352 p.

Gallegos-Vázquez, C.; Olivares Sáenz, E.; Vázquez-Alvarado, R.; Zavala-García, F. 2000. Absorción de nitratos y amonio por plantas de nopal en hidroponía. Terra Latinoamericana (México) 18(2) 133-139.

García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Editorial Offset Larios, S. A. México, D.F.

García-Cruz, A.; Flores-Román, D.; García-Calderón, R. E. y Ferrera-Cerrato, R. 2008. Efecto de enmiendas orgánicas, higuera y micorriza sobre las características de un tepetate. Terra Latinoamericana (México) 26: 309-315.

Guerrero, A. 2000. El suelo, los abonos y la fertilización. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 206 p.

Hernández-Mendoza, T. M.; Salcedo-Pérez, E.; Arévalo-Galarza, G.; y Galvis Spinola, 2007. Evaluación de la lignina como indicador de la capacidad de aporte de nitrógeno de residuos orgánicos. Revista Chapingo, Serie Ciencias forestales y del ambiente (México) 13(1): 5-13.

Henry, D.F.; & Boyd, G. E. 1988. Soil and fertilizer nitrogen. In: Wiley, J. & Sons (eds) Soil fertility. New York, USA. p. 62-75.

Hirzel J.; Rodríguez N. y Zagal E. 2004. Efecto de diferentes dosis de fertilización inorgánica con N, P, K y fuente orgánica (estiércol de broiler) sobre la producción de maíz y la fertilidad del suelo. Agric. Téc. (Chile) 64(4): 365-374. doi: 10.4067/S0365-28072004000400005. (Disponible en línea desde marzo 10 de 2010).

Jiménez L. Larreal M. y Noguera N. 2004. Efectos del estiércol bovino sobre algunas propiedades químicas de un Ultisol degradado en el área de la Machiques Colón, estado Zulia. *Rev. Fac. Agron.*(LUZ) (Venezuela) 21:311-321.

Martínez, G. A. 1996. Diseños experimentales: métodos y elementos de teoría. Ed. Trillas. México, D. F.

Martínez, H. E.; Fuentes, E. J. P. y Acevedo, H. E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. J. Soil Sc. Plant Nutr. (Chile) 8(1): 68-96

Matus, F. J. y Maire C. R. 2000, Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno. *Agric. Téc.* (Chile) 60:112-126.

Medina-Morales M. C. y Cano-Ríos P. 2001. Contaminación por nitratos en agua, suelo y cultivos en la Comarca Lagunera. Revista Chapingo Serie Zonas Aridas (México) 2(1):9-14, 2001

Ochoa, E. S.; Ortíz S. C. A.; Gutiérrez C. M C.; Quintero L. y Silva G. J. T. 2008. Aplicación directa de residuos sólidos orgánicos municipales a suelos volcánicos. Terra Latinoamericana (México). 27: 53-62.

Ojeda, O.D. 1994. Promedios generales en contenidos de nutrientes aprovechables y otros datos calculados para los suelos analizados en la república mexicana durante 1988-1993. Guano y Fertilizantes de México, S.A. Subgerencia técnica Agronómica. Sección 3, Edafología p. 2.

Ortega, B. R. y Mardonez O. R. 2005. Variabilidad Espacial de la Mineralización de Nitrógeno en un Suelo Volcánico de la Provincia de Ñuble, VIII Región, Chile. *Agric. Téc.* (Chile). 65:221-231.

Page, A. L.; Miller R. H. & Keeney D. R. 1982. Methods of soil analysis. Chemical and microbiological properties.2nd edition. Agronomy No. 9, Part 2. American Society of Agronomy. Inc. and Soil Science Society of America Inc.Madison, WI, USA.

Probert, M. E.; Delver, R. J.; Kimani, S. K. & Dimes, J. P. 2005. Modeling nitrogen mineralization from manure: representing quality aspects by varying C/N ration of sub-pools. Soil Biology & Biochemistry (USA). 37:279-287.

SAGARPA, 2011. Delegación en la región lagunera, subdelegación de ganadería. Suplemento de Economía, Comarca Lagunera. Publicación anual. (México). 1 de enero de 2012.

Salazar, S.E.; Beltrán M. A.; Fortis H. M.; Leos R. J. A.; Cueto W. J. A.; Vázquez V. V. y Peña C. J. J. 2003. Mineralización de Nitrógeno y Producción de Maíz Forrajero con tres Sistemas de Labranza. TERRA (México). 21:569 – 575.

Salazar-Sosa, E.; Vázquez-Vázquez, C.; Leos-Rodríguez, J. A.; Fortis-Hernández, M.; Montemayor-Trejo, J. A.; Fgueroa-Viramontes, R. y López-Martínez J. D. 2004. Mineralización del estiércol bovino y su impacto en la calidad del suelo y la producción de tomate (*Lycopersicum sculentum* Mill) bajo riego sub-superficial. Rev. Int. Bot. Exp. (Argentina). 73:259-273

Salazar, S. E.; Trejo, E. H. I.; Vázquez, V. C. y López, M. J. D. 2007. Producción de maíz bajo riego por cintilla, con aplicación de estiércol bovino. Rev. Int. Bot. Exp. (Argentina). 76: 169-185.

SAS Institute Inc., 1996. SAS for Windows, Release 6-12 version 4.0.1111. SAS Compus Drive, North Carolina. U.S.A.

Saleh-Lakha, S.; Shannon, K. E.; Henderson, S. L.; Zebarth, B. J.; Burton, D. L.; Goyer, C. & Trevors, J. T. 2009. Effect of Nitrate and Acetylene on *nirS*, *cnorB*, and *nosZ* Expression and Denitrification Activity in *Pseudomonas mandelii*. Applied and Environmental Microbiology, (USA). 75:5082-5087.

Salisbury, F. B. y Ross, C. W. 1994. Fisiología vegetal. Grupo editorial Iberoamérica. México, D.F. 759 p.

Tisdale, S. L. y Nelson, W. L. 1991. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Editorial Limusa. México. D.F. 760 p.

Tisdale, S. L.; Beaton, J. D.; Havlin, J. L.; & Nelson W. L. 1999. Nitrogen transformations in soil. In: Tisdale, S. L.; Beaton, J. D.; Havlin, J. L. & Nelson, W. L. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. 6th edition. Prentice-Hall, New Jersey, USA. p. 108-135.

Uratani, A.; Daimon, H.; Ohe, M.; Harada, J. & Nakayama, Y. 2004. Ecophysiological traits of field-grownd *Crotalaria incana* and *pallida* as green manure. Plant Production Science (Japon). 7:449-455.

Uri, V.; Lõhmus, K. y Tullus, H. 2003, Annual net nitrogen mineralization in a grey alder (Alnus incana (L.) moench) plantation on abandoned agricultural land. Forest Ecology and Management. 184:167-176.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EXPERIENCIAS EN EL MANEJO ORGÁNICO DEL SUELO Y CULTIVOS

Mercado-Mancera, G.[1*]; Granados-Mayorga, A.K.[1]; Alvarez-Orozco, R.[2]; Valencia-Islas, C.E.[1]; Navejas-Jiménez, J.[3]: González-Valladares, A.I.[4]

[1]**Departamento de Ciencias Agrícolas, FES-C, UNAM. Cuautitlán Izcalli, México.**
[2]**Licenciatura de Ingeniería Agrícola. FES-C, UNAM. Cuautitlán Izcalli, México.**
[3]**Investigador Titular INIFAP-CETODS-BCS. La Paz, B.C.S.**
[4]**LombriMX. Zumpango, Estado de México.**

*Autor responsable gmercado@unam.mx; Carretera Cuautitlán-Teoloyucan Km 2.5, Col. San Sebastián Xhala, Cuautitlán Izcalli, México. CP 54714.

Resumen
La agricultura orgánica es una opción para resarcir la disminución de la fertilidad de los suelos por el uso excesivo de fertilizantes químicos y mantener en niveles óptimos los rendimientos de cultivos, por lo que, el presente estudio tuvo como objetivo evidenciar el efecto del manejo orgánico de los cultivos y del suelo. Para ello se muestran datos en cultivos de frijol, amaranto, girasol, avena forrajera, los cuales se han fertilizado con fuentes orgánicas, en una parcela que tiene 20 años con este manejo. Se ha observado que la fertilidad del suelo se mejora a través del tiempo aplicando compostas al suelo, y los rendimientos de cultivos se mantienen con la aplicación de humus y lixiviados de lombricomposta, y biofertilizantes. Los rendimientos en algunos casos superaron a la fertilización química, por ejemplo, en girasol y avena forrajera. Con este manejo, el % de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico del suelo se ven favorecidos con respecto a suelos con manejo convencional. Se concluye que el manejo del suelo con fines agrícolas debe considerar la rotación de cultivos, la incorporación de residuos de cosecha y de abonos orgánicos, lo cual repercutirá en la economía de los productores y el medio ambiente.

Palabras clave: Lixiviados; Composta; Suelo; Biofertilizantes

Introducción
Las técnicas de la agricultura actual están basadas en el Modelo de la Revolución Verde, por lo que se tiene un enfoque de producción intensivo (Pérez, 2006). Se sabe que con este modelo de producción se generó un cambio en las regulaciones energéticas. Estos cambios son provocados por el desgaste paulatino que ocurre con una producción sucesiva que, con el paso del tiempo provoca que el agroecosistema dependa en gran medida de la aplicación de energía externa. La energía externa se presenta en forma química y se le conoce como fertilizantes, los cuales además de contaminar el ambiente también aumentan los costos de producción (Ferrera y Alarcón, 2001).

Además del uso excesivo de fertilizantes sintéticos y agroquímicos, otros factores que provocan la disminución de los niveles de fertilidad y la erosión de los suelos son: la implementación del monocultivo, la eliminación de nichos naturales en el paisaje rural, la ampliación de lotes agrícolas para la técnica moderna, el entubado de arroyos, el descuido de los abonos orgánicos, la tala inmoderada de bosques y la falta de la cobertura vegetal (Pérez, 2006). El Codex Alimentarius define agricultura orgánica como un sistema holístico de producción que promueve y mejora la

salud del agroecosistema, de la biodiversidad, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo (Codex alimentarius, 1999).

El empleo de microrganismos que viven en intercambio con las plantas es una de las áreas de estudio que ha impactado la agricultura en las últimas décadas, son una alternativa emergente a los productos químicos, para incrementar la fertilidad y producción de cultivos en agroecosistemas sustentables (Castañeda *et al.*, 2013); ya que las nuevas variedades de alto rendimiento exigen mejores condiciones de cultivo y altos niveles de fertilización (Rueda *et al.*, 2009).

Los abonos orgánicos son otra opción para reducir significativamente el uso de fertilizantes químicos, los cuales, permiten satisfacer la demanda de nutrimentos de los cultivos (Rodríguez *et al.*, 2009) además mejoran las características del suelo (Nieto *et al.*, 2002). Salazar *et al.* (2010), determinaron el efecto residual de seis años de aplicación continua de estiércol bovino, en el rendimiento de maíz forrajero y en las características de fertilidad del suelo. Encontraron que después de estos años de aplicación continua de estiércol, los tratamientos con la aplicación de 40 y 80 Mg ha^{-1} permitieron los mayores rendimientos de forraje verde

Aguilar *et al.* (2012), identificaron el efecto de la vermicompost y el déficit de humedad en el rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), encontraron que se modificaron algunas características físicas y químicas del suelo, como el aumento de la porosidad, disminución de la lámina de agua, disminución del pH y aumento de la conductividad eléctrica, modifica el sistema suelo-planta y disminuye los efectos del estrés por déficit de humedad. Por su parte Cairo y Álvarez (2017), evaluaron el efecto del estiércol en el suelo y en el cultivo de la soya [*Glycine max* (L.) Merr.], donde indicaron que con la aplicación de estiércol descompuesto se originó un incremento significativo en la agregación, y se logró en el suelo un cambio de categoría de regular (52,96 %) a buena (66,95 %).

Diversos estudios han mostrado los beneficios consistentes de los ácidos húmicos (AH) sobre el crecimiento de las plantas, en condiciones de suplementación del requerimiento total de minerales, lo que sugiere que los efectos sobre el crecimiento son independientes de la nutrición. Además, forman parte de la materia orgánica y corresponden a la fracción de sustancias húmicas solubles en un medio alcalino (Guerra *et al.*, 2008). Borges y Altoé (2015) aplicaron ácidos húmicos extraídos de lombricomposta, en girasol ornamental, y determinaron un incremento del 22 % en la altura de los tallos de las flores; además el aumento en el diámetro del tallo, acumulación de materia fresca en flores y tallos, y materia seca en hojas. Por su parte, Reyes *et al.* (2014), evaluaron la aplicación de humatos de vermicompost como atenuantes del efecto de la salinidad en la emergencia y crecimiento de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). Con la aplicación de humatos de vermicompost se estimuló la tasa, porcentaje de emergencia y variables morfométricas de variedades de albahaca en condiciones de salinidad. El objetivo de este trabajo es evidenciar el efecto del manejo orgánico de los cultivos y del suelo, a lo largo del tiempo.

Materiales y Métodos

Las investigaciones de campo se han realizado en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, en Cuautitlán Izcalli, México. La zona se caracteriza por tener un clima Templado subhúmedo con lluvias de verano, el más seco de los subhúmedos, con verano fresco, sin sequía intraestival, el mes más caliente es junio, con poca oscilación térmica; con una temperatura media anual de 15.2 ºC; 612.1 mm de precipitación anual; con un periodo de bajo riesgo de helada de 208 días; el total de días con helada al año es de 28 días (Rodríguez, 2014). Los suelos en general se clasifican como vertisol, el suelo es de color gris, pH de 7.0. El contenido de materia orgánica varía entre 2 y 4 % en función del manejo que se ha realizado en la parcela. Dos mil metros cuadrados de la parcela han sido manejados sin la utilización de agroquímicos en los últimos 20 años aproximadamente, sólo se ha incorporado los residuos de cosecha y aplicado a los cultivos diversas fuentes nutrimentales de origen orgánico (Mercado *et al.*, 2013).

Se han establecido diversos cultivos como: frijol, calabacita, calabaza, girasol, maíz, amaranto, avena forrajera, entre otros. Todos ellos se han sometido a diversas fuentes nutrimentales, tales como: humus (8.69 t ha^{-1}) y lixiviados de lombricomposta (260 l ha^{-1}), composta (14.3 t ha^{-1}), biofertilizantes (3.0 kg ha^{-1} de Micorrizafer (*Glomus intraradice*) y 0.4 kg ha^{-1} de Azofer (*Azospirillum brasilense*). En general se aplicaron al momento de la escarda y para el caso de los lixiviados fue en forma foliar, en una o dos aplicaciones. Asimismo, las variables evaluadas van encaminadas a analizar los componentes de rendimiento de cada cultivo.

Resultados y Discusión

Se han obtenido respuestas positivas a la aplicación de fuentes nutrimentales orgánicas. Sobresale la respuesta de la aplicación de lixiviados *vs* químico, en el cultivo de avena forrajera, con 91.0 y 73.9 t ha^{-1} de materia en base húmeda, respectivamente (López, 2016). Con la aplicación de estos lixiviados y además con biofertilizante, cultivos como frijol y amaranto han presentado rendimientos mayores a parcelas donde no se han aplicado fertilizantes, e incluso han sobrepasado los rendimientos donde se aplicó urea; por ejemplo, Granados y Vizcarra (2018), en el cultivo de girasol el rendimiento de grano fue de 3.75 t ha^{-1} con biofertilizante, en comparación con la fertilización química donde se cosecharon 3.66 t ha^{-1}.

En el caso de frijol, las experiencias en campo han mostrado que la aplicación de lixiviados de lombricomposta superaron 1.5 t ha^{-1}, rendimiento que esta superior al 0.8 t ha^{-1} promedio nacional, en condiciones de temporal.

En la Figura 1 se presentan los resultados de la respuesta de los cultivos a la fertilización orgánica, durante varios ciclos de cultivo.

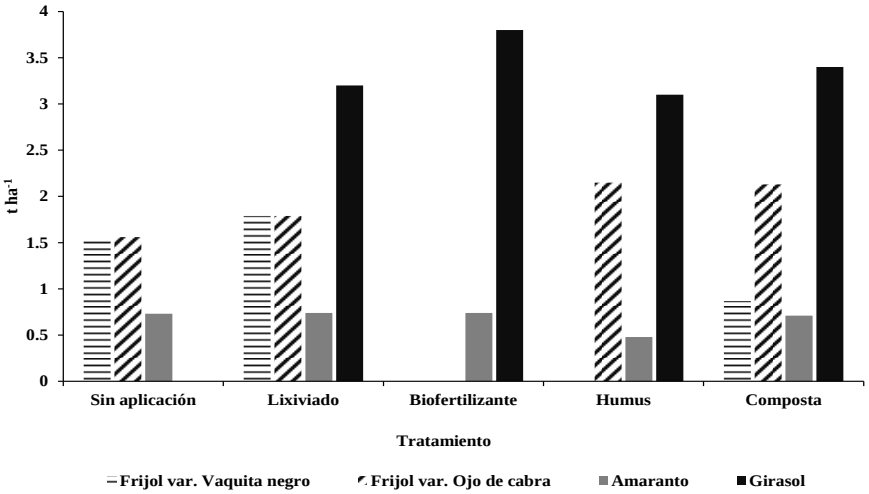


Figura 1. Rendimiento de grano de varios cultivos bajo fertilización orgánica, Cuautitlán Izcalli, México.

Cabe mencionar que la fertilización orgánica ha mantenido los rendimientos y en ocasiones superado a los tratamientos donde no se aplica fertilización alguna. Esto muestra las ventajas que representa este sistema de fertilización, que además representa una disminución de costos de producción, puesto que los costos de los insumos orgánicos son mucho más bajos que los costos de los fertilizantes químicos (Granados y Vizcarra, 2018).

Bajo un manejo orgánico, el suelo también presenta ventajas de fertilidad comparado con un suelo donde se aplican fertilizantes inorgánicos. Mercado *et al.* (2014), mencionaron que el manejo del suelo con fines agrícolas debe considerar la rotación de cultivos, la incorporación de residuos de cosecha y de abonos orgánicos, como en la Figura 2 se muestra el contraste de un suelo con manejo orgánico y otro con manejo convencional (Mercado *et al.*, 2015).

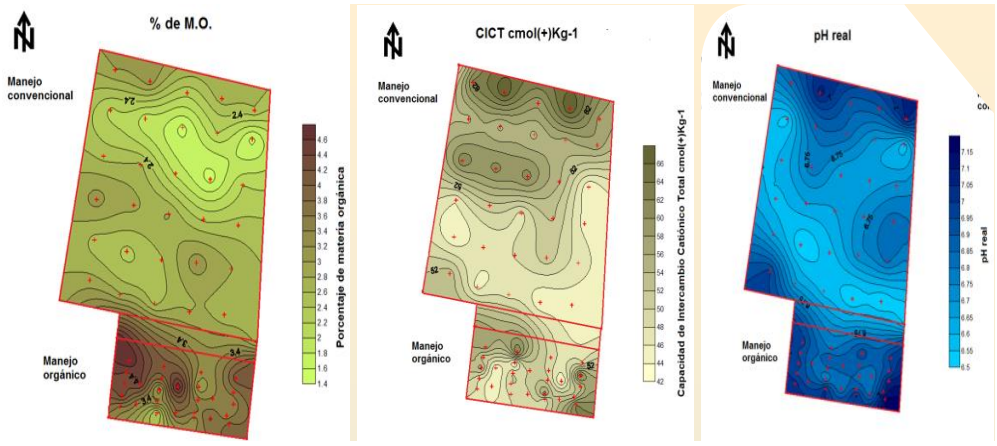


Figura 2. Contraste de propiedades químicas de suelo con manejo orgánico *vs* manejo convencional

(Mercado *et al.*, 2015).

Conclusiones

Se obtuvieron respuestas positivas en los rendimientos de los cultivos evaluados hasta hoy, donde destacan la aplicación de biofertilizante y lixiviados de lombricomposta, como fuentes de fertilización. El manejo orgánico de la fertilización de cultivos ha generado beneficios en las características físicas y químicas del suelo, que han repercutido en mejorar la fertilidad de él.

Agradecimientos

Se agradece al Departamento de Ciencias Agrícolas y a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, por el apoyo brindado para la realización de los trabajos de campo.

Referencias

Borges, B.L.E., Altoé, B.M. 2015. Growth and production of ornamental sunflower grown in the field in response to application of humic acids. Ciência Rural, Santa Maria. 45(5): 1000-1005.

Castañeda, S.M.C., Gómez, G.G., Tapia, C.E., Núñez, M.O., Barajaz, P.J.S., Rujano, S.M.L. 2013. Efecto de *Azospirillum brasilense* y fertilización química sobre el crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad de fruto de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) Interciencia. 38(10): 737-744.

Codex alimentarius. 1999. Guidelines for the production, processing, labeling and marketing of organic produced products. GL-32 - 1999. Rev. 2001.

Ferrea, C.R., Alarcon, A. 2001. La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. Ciencia Ergo Sum. 8 (2): 175-183.

Guerra, J.G.M., Santos, G.A., Silva, L.S. Camargo, F.A.O. 2008. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: Santos, G.A. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, p.19-26.

López, A.H. 2016. Respuesta del cultivo de avena forrajera a la aplicación de lixiviados de lombricomposta. Tesis de Licenciatura Ingeniería Agrícola. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. 62 pp.

Nieto, G.A., Murillo, A.B., Troyo, D.E., Larrinaga, M.J., García, H.J.L. 2002. El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annum* L.) en zonas áridas. Interciencia 27(8): 417-421.

Mercado, M.G., Echeverría, V.Y.U., Chávez, P.S., Adrián, S.P., Herrera, R.H., Valencia, I.C.E. 2013. Contraste de parámetros físicos y químicos de un suelo con manejo orgánico vs manejo convencional. Memorias del XXXVIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. La Paz, B.C.S. México.

Mercado, M.G., Granados, M.A.K., Piedre, S.G., Ramírez, C.Y., Valencia, I.C.E. 2014. Variabilidad de algunas características físicas y químicas de un suelo vertisol de uso agrícola. Memorias del XXXIX Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Ciudad Juárez, Chihuahua. México.

Mercado, M.G., Granados, M.A.K., Reyes, L.D., López, A.H., Canales, T.L., Severiano, L.J.H., Valencia, I.C.E. 2015. Variabilidad espacial de parámetros químicos de un suelo vertisol, con manejo convencional y orgánico. Memorias del XXXX Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. San Luis Potosí, S.L.P. México.

Pérez, C.J. 2006. La política de fomento a la agricultura orgánica. El cotidiano. 21(139): 101-106

Reyes, P.J.J., Murillo, A.B., Nieto, G.A., Troyo, D.E., Reynaldo, E.I.M., Rueda, P.E.O., Hernández, M.L.G., Preciado, R.P., Beltrán, M.A., Rodríguez, F.F., López, B.R.J. 2016. Uso de humatos de vermicompost para disminuir el efecto de la salinidad en el crecimiento y desarrollo de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). Revista Mexicana de Ciencias Agrarias. 7(6): 1375-1387.

Rodríguez, D.N., Cano, R.P., Figueroa, V.U., Favela, C.E., Moreno, R.A., Márquez, H.C., Ochoa, M.E., Preciado, R. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. Terra Latinoamericana 27: 319-327.

Rodríguez, R.M. 2014. Normal climática de la Estación Meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, México (1987-2013). Tesis de Licenciatura Ingeniería Agrícola. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.

Rueda, P.E.O., Barrón, H.J., Hallman, J. 2009. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal. 1a ed. Plaza y Valdés. México. 141 pp.

Salazar, S.E., Trejo, E.H.I., López, M.J.D., Vázquez, V.C., Serrato, C.S.J., Orona, C.I., Flores, M.J.P. 2010. Efecto residual de estiércol bovino sobre el rendimiento de maíz forrajero y propiedades del suelo. Terra Latinoamericana. 28(4): 381-390.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

PRODUCCIÓN DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*) BAJO CONDICIONES DE MALLA SOMBRA CON DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN LA COMARCA LAGUNERA

TOMATO PRODUCTION (*Solanum lycopersicum*) UNDER CONDITIONS OF MESH SHADOW WITH DIFFERENT DOSE OF ORGANIC FERTILIZATION IN LAGUNERA REGION

Cirilo Vázquez Vázquez[1]*, Alejandro Espinoza Barajas, Miguel Ángel Gallegos Robles[1], Ignacio Orona Castillo[1], Apolinar González Mancilla y Manuel Fortis Hernández

[1]Facultad de Agricultura y Zootecnia. Universidad Juárez del Estado de Durango. Ejido Venecia, Durango.

*Autor responsable: (cirvaz60@hotmail.com)

RESUMEN

El objetivo del siguiente estudio consistió en evaluar los efectos que tuvieron fuentes de fertilización química y orgánica sobre parámetros de producción en tomate, además de aquellos que tuvieron sobre el suelo con tecnología de malla sombra en la Comarca Lagunera. Esto con la idea de fomentar y generar una visión más clara acerca del efecto que tiene el uso de abonos orgánicos a base de estiércol de bovino solarizado.

El experimento tuvo lugar en el campo experimental de la FAZ-UJED, México. Se utilizaron diferentes sistemas de manejo; con tallo doble y sencillo además de una fertilización química de 250 – 80 – 00 de NPK ($N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$) respectivamente que fue compensado con fertilizantes químicos: Urea (46 – 00 - 00) como fuente de nitrógeno y MAP (11 – 52 - 00) como fuente de fósforo, por otra parte las fertilizaciones orgánicas fueron de 30 t ha^{-1} y 60 t ha^{-1} de estiércol bovino solarizado y un testigo absoluto que no tuvo fertilización alguna. La densidad de plantación fue de 33´333 plantas ha^{-1}, establecidas en un sistema de riego por goteo. El control de plagas y enfermedades fue preventivo aplicando extractos naturales de neem y productos orgánicos como INSECTAPLUS® y sulfato cúprico calendarizadamente con una mochila de microasperción (2 L ha^{-1}).

Palabras clave: Estiercol, Fertilización

SUMARY

The objective of the following study was to evaluate the effects that sources of chemical and organic fertilization had on quality and production parameters in tomato as well as those that had on the ground with shade mesh technology in the Comarca Lagunera. This with the idea of promoting and generating a clearer vision about the effect of the use of organic fertilizers based on solarized cattle manure.

The experiment took place in the experimental field of the FAZ-UJED, Mexico. Different management systems were used; with double and simple stem in addition to a chemical fertilization of 250 - 80 - 00 of NPK ($N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$) respectively that was compensated with chemical fertilizers:

Urea (46 - 00 - 00) as source of nitrogen and MAP (11 - 52 - 00) as source of phosphorus, on the other hand organic fertilizations were 30 tons ha-1 and 60 t ha^{-1} of solarized bovine manure and an absolute witness that did not have any fertilization. Planting density was 33,333 plants ha^{-1}, established in a drip irrigation system. The control of pests and diseases was preventive by applying natural neem extracts and organic products such as INSECTAPLUS® and cupric sulfate on a calendar basis with a micro-irrigation backpack (2 L ha^{-1}).

INTRODUCCIÓN

México ocupó el décimo lugar en la producción de tomate a nivel mundial con 2´875´174 toneladas en 2017, mientras que China tiene el primero con 52, 586,860 toneladas, que significa una producción diecisiete veces mayor a la de México. La mayor parte del tomate producido en México se exporta a los Estados Unidos, el cual adquiere el 99.7% de las exportaciones. La producción nacional es encabezada por el estado de Sinaloa con 924,153 toneladas, de las cuales el 81% se practica en condiciones de malla sombra mientras que el resto se realiza con invernadero. La producción nacional crece 8.1% gracias a un incremento de 3 kg en el rendimiento por unidad de superficie, comparado con lo registrado en 2015 (SIAP, 2017). Sin embargo (Chew *et al*, 2016, p.15-19), nos dice en una de sus investigaciones que la superficie destinada al cultivo de tomate en México es de aproximadamente 52,000 hectáreas anuales. Esta hortaliza es de importancia, ya que el país es el principal exportador de tomate en el mundo. En la comarca Lagunera el tomate es la tercera hortaliza en cuanto a superficie que se cultiva.

Datos presentados en el Resumen Económico y de Noticias del Siglo de Torreón arrojaron que en la Comarca Lagunera se sembraron para el año 2017 una superficie total de 960 hectáreas de cultivo de tomate. De la cual se obtuvieron un total de 119,623 toneladas de tomate fresco con un valor de producción de 1´070´214 miles de pesos representando el 20.4% del valor total producido por los cultivos del ciclo agrícola primavera verano. Dejando ver claramente su importancia económica.

La producción y comercialización de hortalizas se ha convertido en el subsector más dinámico de la agricultura mexicana. La superficie cosechada de este tipo de productos se ha incrementado 2.13% como promedio anual entre 1980 y 2009. Los cultivos hortofrutícolas han pasado de representar el 6.35% de la superficie agrícola total en México en 1980 a 12.1% en 2009. (Salazar Moreno, Rojano Aguilar, & López, 2016, pág. 135)

El tomate como ya se dijo anteriormente por diferentes investigadores, es dentro de los cultivos hortícolas de suma importancia, sin embargo, la mayor parte es convencional, lo que acarrea a su vez una serie de problemáticas coincidiendo con Cano *et al* (2004). La agricultura convencional está basada en el uso de agroquímicos como insecticidas, fungicidas, fertilizantes, herbicidas y otros productos sintéticos. Lo cual, acarrea un alto nivel de contaminación ambiental y del producto, afectando la salud de los consumidores, la principal alternativa de solución a la actual problemática es la agricultura sustentable, la cual es una combinación de métodos genéticos, agronómicos, biotecnológicos y químicos en un sistema de producción económico, el cual optimiza la calidad del producto y protege el medio ambiente y la salud humana.

Los fertilizantes son una de las más importantes herramientas para el desarrollo de la agricultura tendiente a fomentar la seguridad alimentaria y mantener la productividad del suelo (FAO, 2002). Pero según información e investigaciones que se han realizado concluyeron con lo que a continuación se presenta:

A nivel mundial, el uso de fertilizantes se está haciendo cada vez más habitual debido al impacto de las prácticas de cultivo más intensivas y a los períodos de barbecho más cortos en la fertilidad del

suelo. En América Latina y el Caribe el uso de fertilizantes creció en forma sostenida entre 2002 y 2012. Mientras que el promedio de la aplicación de fertilizantes nitrogenados y fosfatados por hectárea de tierra arable en México para el 2011 fue desde 57 a 77 kg/ha. (FAO, 2014)

Son varios los efectos negativos del uso de fertilizantes químicos. Uno de ellos es precisamente la llamada eutrofización, que es el arrastre de estos nutrientes a cuerpos de agua e incluso al sistema marítimo. Hay 250 000 km2 de mar que están muertos por el arrastre de fertilizantes químicos en todo el mundo. (Morales Ibarra, 2013, pág. 35)

El desarrollo integral de las hortalizas y frutales está condicionado a que las plantas tengan las condiciones ambientales adecuadas y a que puedan nutrirse con oportunidad y suficiencia con los elementos que son esenciales para iniciar y concluir su ciclo de vida. Los nutrientes constituyen la materia prima básica para cualquier actividad en el interior de las plantas. (Yañes Reyes, 2008, pág. 70)

Dicho por investigadores, el uso intensivo de agroquímicos en la producción de hortalizas acarrea problemáticas de salud, contaminación ambiental, un excesivo gasto de dinero, pero el problema no termina allí, sino que también se han hecho análisis y propuestas de nuevos métodos de cultivo que sean más amigables con el ambiente, así como experimentos que permitan generar una metodología enfocada a tener un mayor rendimiento o igualarlo al que se genera con insumos agroquímicos esto; sin contaminar o generar tantos deshechos.

En la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango se estableció en mes de abril del 2017 el cultivo de tomate en condiciones de malla sombra en la Comarca Lagunera con abonos orgánicos y un testigo químico, donde se evaluaron parámetros de calidad y producción, así como también el efecto que tuvieron dichos abonos en el suelo después del ciclo de producción. De dicho estudio se obtuvieron diversos resultados que ayudarán a comprender de mejor forma la importancia de usar abonos orgánicos como el estiércol bovino solarizado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño experimental y tratamientos utilizados

La investigación se realizó con un diseño de bloques al azar con dos factores y tres repeticiones.

Los tratamientos emplearon dosis de fertilización orgánica a base de estiércol de bovino solarizado en dosis de 30 y 60 t ha^{-1}, así como fertilización química en una dosificación de 250 – 80 – 00 de N – P – K (N-P_2O_5-K_2O) respectivamente y un testigo absoluto al cual no se le aplicó ninguna de las dosificaciones antes mencionadas. Sobre esos tratamientos se introdujo el factor del modelo de producción, es decir, producción con tallo sencillo (S) y tallo doble (D).

Para evaluar la producción, se cosecharon tomates de las distintas repeticiones que fueron representadas por dos plantas cada una. Los cortes fueron a los 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100 ddt (días después del trasplante),

Para el análisis, los datos se sometieron a un Análisis de Varianza y a una prueba de medias con la prueba de Tukey en el paquete estadístico SAS®.

Variables evaluadas

Los grados Brix (°B), fueron tomados a través de un refractómetro digital, los °B determinan la cantidad de azúcar en los frutos de tomate, que es a su vez un componente importante en la calidad de los mismos.

El diámetro polar y ecuatorial es una variable que fue tomada con el fin de dar una clasificación a los frutos de tomate. Dicha variable se realizó con ayuda de un vernier midiendo todos los tomates que fueron cosechados.

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos consistió en un ANOVA realizado a través del paquete Statistical Analysis System (SAS).

Al momento de encontrarse diferencias significativas entre los tratamientos ($p<0.05$) se realizaron las pruebas de comparación de medias correspondientes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuadro1. Análisis de varianza para grados Brix (°Bx) en el cultivo de tomate con diferentes fertilizaciones. Venecia Dgo 2017.

Fuente	G.L	S.C	C.M	Valor F	
Rep.	2	2.738358	1.399117	23.79	<.0001 NS
Tratam.	3	0.356918	0.118972	2.07	0.1507 NS
Factor	1	0.875391	0.875391	15.21	**0.0016**
Tratam*Factor	3	0.130131	0.043377	0.75	0.5383 NS
Error	14	0.805798	0.055755		
Total	23				

C.V= 5.4430 NS = No significativo (0.05)

En el cuadro anterior se puede observar que, como resultado de los análisis de varianza, no hubo diferencias significativas en la medición de grados Brix entre tratamientos ni repeticiones. Por lo tanto, se tiene razón al momento de decir que los diferentes tratamientos no tuvieron un efecto importante sobre la variable de grados Brix. En cuanto al tipo de espalderas (tallo doble o sencillo), los análisis de varianza reflejaron que, si existió una diferencia significativa, aunque ligeramente notable lo que dictamina que el tipo de acomodo de la plantación sea doble o sencillo si influyó ligeramente en el contenido de azúcar de los frutos de tomate.

Cuadro 2. Comparación de medias para grados Solidos Solubles (°Brix) entre espalderas.

Tratam.	Valor medio
1Doble	4.5986 (a)
2 Sencillo	4.2167 (b)

DMS=0.2101

Según el análisis cuantitativo de los grados Brix, la cantidad de azúcar en los frutos de tomate fue mayor en el tipo de manejo de línea doble. Por ende, se concluye con que el dar un manejo dejando

dos tallos por planta en cultivos de tomate tiene un efecto al aumentar ligeramente la cantidad de azucares en el fruto en condiciones de malla sombra en la región de la Comarca Lagunera.

Cuadro 3. Análisis de varianza para rendimiento de tomate con diferentes fertilizaciones. FAZ-UJED. Venecia Dgo 2017.

Fuente	G.L	S.C	C.M	Valor F	
Rep.	2	228,594.146	114,297.073	0.62	0.5527
Tratam.	3	1,301,395.531	433,798.510	2.35	**0.1167**
Factor	1	21,152.34	21,152.334	0.11	0.7401
Tratam*Factor	3	693,446.115	231,148.705	1.25	0.3288
Error	14	2,586,361.854	184,740.132		
Total	23				

C.V = 23.15471 NS = No significativo (0.05)

Por su parte, en el rendimiento, según reflejaron los ANOVA´s realizados a esta variable, no existió una diferencia significativa entre los diferentes tratamientos, teniendo el mayor rendimiento en el tratamiento químico (T4 = 250-80-00), sin haber diferencia significativa entre los demás tratamientos, con lo cual se puede afirmar los tratamientos: T1= testigo, T2 40 T ha^{-1}= y T3 = 60 Tha^{-1}, no tuvieron un efecto importante en el rendimiento de tomate al no haber superado o igualado al tratamiento químico 250-80-00.

Cuadro 4. Comparación de medias para Rendimiento entre tratamientos de tomate con diferentes fertilizaciones. FAZ-UJED. Venecia Dgo. 2017

Trat.	Valor medio	Valor obtenido en t ha^{-1}
4	2155.1 (a)	89.79
3	2002.2 (b)	83.41
2	1694.9 (b)	70.58
1	1572.9 (b)	65.53

DMS= 532.24

El cuadro nos representa el rendimiento del tomate que fue obtenido con las diferentes fertilizaciones, siendo que el tratamiento 4 de dosis química (250 – 80 – 00) fue ligeramente mejor aunque con una diferencia significativa. Cabe decir que el rendimiento es superior teniendo en cuenta el que el uso de fertilizantes químicos tiene un alto costo tanto económico como ambiental. Se puede decir que se obtienen rendimientos aceptables con la dosis de 60 t ha^{-1} de estiércol solarizado de bovino en la Comarca Lagunera respecto a la dosis química estándar usada.

Sugerencias:
Como conclusión es posible realizar una afirmación que recaiga en que el contenido de solidos solubles (° Brix) es aumentado cuando se tiene un modelo de producción a doble tallo en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum*).

El efecto del rendimiento también se vio afectado en los tratamientos que tienen una dosificación de 60 t ha $^{-1}$ con un rendimiento neto de 83.41 t ha $^{-1}$ en un periodo de 8 cortes, en comparación con la dosificación química de 250 – 80 – 00 con la que se obtuvo un rendimiento neto de 89.79 t ha $^{-1}$. Si comparamos dichos rendimientos existió una diferencia de 5 toneladas de producto más respecto al tratamiento al que se le suministró la dosis química.

Referencias

Anónimo. (Mayo de 2013). Informaciones agronomicas. Recuperado el 16 de Mayo de 2018, de http://agronoticias2012.blogspot.mx/2017/05/fenologia-del-cultivo-de-tomate.html

Caballero García, M. A. (2013). Eficacia en el uso de fertilizantes. Insumos para la producción agrícola, semillas, agua y energía, fertilizantes y agroquimicos, Seminario Nacional, 38-42.

Cano, P., Moreno, A., Maruquez, C., & Rodriguez, N. y. (13 de Octubre de 2004). Producción Orgánica de Tomate bajo Invernadero en la Comarca Lagunera. (F. A. Sánchez R., Ed.) Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción, VI(6), 109-121.

CEDRSSA. (3 de Noviembre de 2014). Los retos de la ruralidad en México. Modernizacion Agricola y desarrollo rural sustentable. México.

Cepeda Siller, M. (2009). El tomate rojo, Cultivo y control parasitológico. Mexico: Trillas.

Cheww Madinavertia, Y. L., Gaytan Mascorro, A., & Velazques Valle, R. (2016). Virus y fitoplasmas en el cultivo de tomate en la Comarca Lagunera. SECTOR agricola y ganader, 15-19.

Esquinas ALcazar, J., & Nuez Viñals, F. (2001). Capitulo 1. Situación taxonómica, domesticación y difusion del tomate. En F. Nuez, & F. Nuez (Ed.), El cultivo del tomate (págs. 32-33). Madrid, Barcelona, México, España: Grupo Mundi Prensa.

FAO. (2002). Los fertilizantes y su uso.

FAO. (2014). Anuario Estadistico de la FAO, La alimentacion y la agricultura en America latina y el caribe. Santiago de Chile.

Fortis Hernandez, M., Preciado Rangel, P., Trejo Valencia, R., Orona Castillo, I., & Vazquez Vazquez, C. (2015). Capitulo II: Uso y aprovechamiento de los abonos organicos. En I. Orona Castillo, H. I. Trejo Escareño, M. Á. Gallegos Robles, M. Fortis Hernandez, & E. Salazar Sosa, Agricultura Orgánica en México (págs. 31-52). México D.F: Plaza y Valdez editores.

Gualazzi, R. J. (2002). Lycopersicum esculentum, una breve historia del tomate. Horticultura y Sociedad, 1-7.

HORTO. (Mayo de 2017). HORTO diario digital de actualidad hortifruticola. Recuperado el 12 de Mayo de 2018, de http://www.hortoinfo.es/index.php/plagas/568-minador-hojas-trifolii-09-02-14

INEGI. (2015). Anuario estadistico y geográfico de Durango. Mexico: ISBN 978-607-739-673-4.

Jaramillo N., J., Rodriguez, V. P., Guzman A., M., Zapata, M., & Rengifo M., T. (2007). Manual tecnico Buenas practicas -BPA- en la Produccion de tomate bajo condiciones protegidas. Medellin: CTP Print.

Lacasa Plasencia, A., & Contreras Gallego, J. (2001). Las plagas. En F. Nuez, El cultivo del tomate (págs. 385 - 467). Madrid - Barcelona - Mexico: Ediciones Mundiprensa.

Morales Ibarra, M. (2013). Los biofertilizantes, una alternativa viable y deseable. Insumos para la producción agrícola, semillas, agua y energia fertilizantes y agroquimicos. Seminario Nacional, 35-37.

Moreno. (2002). Efecto de la vermicomposta en el chile chilaca (Capsicum annuum L.) bajo condiciones de invernadero. Tesis de licenciatura. Obtenido de www.uaan.mx/academic/Horticultura7Memhort03/cartel.01.pdf

Nieto Garibay, A., Murillo Amador, B., Troyo Dieguez, E., Beltrán Morales, A., Ruiz Espinoza, F., & Garcia Hernandez, J. L. (2010). Aprovechamiento de residuos orgánicos de origen animal, vegetal y doméstico para la elaboración y uso de composta en la agricultura orgánica. En J. L. Garcia Hernandez, E. Salazar Sosa, I. Orona Castillo, M. Fortis Hernández, & H. Trejo Escareño, Agricultura Organica, Tercera parte (págs. 70-71). Durango, Dgo: editorial UJED.

Resumen Economico y de Noticias 2017. (1 de Enero de 2018). El siglo de Torreón, págs. 24-25.

SAGARPA. (2004). Anuario estadístico de la produccion agropecuaria, Region Lagunera Durango-Coahuila. Lerdo, Dgo. Recuperado el 16 de Mayo de 2018, de http://www.comarcalagunera.com/portal/laguna/comarca.php

SAGARPA; SIAP. (2017). Atlas Agroalimentario 2017. Ciudad de México.

Salazar Moreno, R., Rojano Aguilar, A., & López, I. (2016). Productividad, competitividad e inovación en el campo mexicano. En CEDRSSA, Coleccion: Situacion, retos y tendencias para el desarrollo rural sostenible (págs. 135-155). México: Kinética- Milenio 3.

Torres Torres, F., & Trápaga Delfin, Y. (2002). La agricultura orgánica. Una alternativa para la economía campesina de la

globalizacion. México: UNAM y Plaza y Valdez.

Vazquez Vazques, C., Salazar Sosa, E., Figueroa Viramontes, R., Valenzuela Rey, S., & Fortis Hernandez, M. (Septiembre de 2001). Efecto del acolchado y estiercol de bovino en la modificacion de algunas caracteristicas del suelo de la Comarca Lagunera. Memoria de la XIII Semana internacional de Agronomia FAZ-UJED, 178 - 181. (M. Vazques Navarro , M. C. Silos Clazada , & A. Martinez Rios, Edits.)

Yáñez Reyes, J. N. (2008). Efectos de nutrientes sobre la fisiología y desarrollo de hortalizas y frutales. De Riego, 70-75.

PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE MAÍZ FORRAJERO EN TIERRAS ALTAMENTE DESERTIFICADAS DE LA COMARCA LAGUNERA DE COAHUILA

Hermosillo Salazar Luis Javier[1], Vega Sotelo Federico[1], J. Isabel Márquez Mendoza[1], Leos Lucio Escobedo[1], Monarrez Armendáriz Karina Isabel[2].

Profesor Investigador de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad laguna, Torreón, Coahuila, México. Tel. 01(871)7297677.

Resumen

El crecimiento continuo de la población humana mundial influye en el aumento de la producción de alimentos, induciendo a sistemas de produjo intensivos caracterizadas por un uso excesivo de maquinaria, agroquímicos sintéticos, establecimiento de monocultivos, y un manejo deficiente del recurso agua, incrementando la desertificación de tierras. La degradación de tierras tiene impactos no solo ambientales, sino también económicos y sociales, por lo que es necesario atender este tema desde la perspectiva que atienda los efectos que preocupan a los productores del sector agropecuario. Entre tales efectos destacan los económicos (caída de rendimientos o aumentos en los costos de producción, devaluación de tierras), los sociales (pérdida de seguridad alimentaria, migración y pobreza). El sistema convencional con fertilización inorgánica obtuvo un rendimiento superior de .98 Mg por hectárea en comparación con el sistema de agricultura de conservación y fertilización orgánica. Es importante continuar con este proyecto al menos dos años más. Se deben hacer mediciones periódicas de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Palabras clave: desertificación, fertilizante, producción, alimentos.

Summary

The continuous growth of the world's human population influences the increase in food production, inducing intensive production systems characterized by excessive use of machinery, synthetic agrochemicals, establishment of monocultures, and poor management of water resources, increasing desertification of lands. Land degradation has impacts not only environmental, but also economic and social, so it is necessary to address this issue from the perspective that addresses the effects that concern producers in the agricultural sector. Among such effects are economic ones (falling yields or increases in production costs, devaluation of land), social effects (loss of food security, migration and poverty). The conventional system with inorganic fertilization obtained a superior yield of .98 Mg per hectare in comparison with the system of conservation agriculture and organic fertilization. It is important to continue with this project at least two more years. Periodic measurements of the physical, chemical and biological properties of the soil should be made.

Key words: desertification, fertilizer, production, food.

Introducción

La Comarca lagunera hoy en día sea convertida en un clúster agroalimentario en la producción de leche y sus derivados y en la producción de bovino de carne, demandando una alta producción de forrajes (alfalfa, sorgo y maíz) así como la producción de maíz grano. Lo que ha ocasionado que en la parte baja de la cuenca del Nazas se presente un alto grado de desertificación de sus tierras provocado por la explotación, contaminación y agotamiento de las fuentes de agua, además del deterioro de la productividad de sus suelos por el uso excesivo de maquinaria, o por el establecimiento de monocultivos por tener un bajo contenido de materia orgánica así como por el mal manejo de los insumos químicos en la fertilización y en el control de plagas, malezas y enfermedades.

Lo anterior ha ocasionado una caída en los rendimientos y un aumento en los costos de producción con una reducción en la relación beneficio/costo.

En el proyecto se evaluó el impacto de la agricultura de conservación y la fertilización orgánica en la producción sostenible de maíz forrajero para mitigar o revertir la desertificación de tierras.

La labranza de conservación es una de las opciones más viables para lograr la sostenibilidad de los recursos naturales suelo y agua, así como en la producción de los cultivos. Además se reducen las pérdidas de nutrientes, se incrementa la materia orgánica, la velocidad de infiltración, la flora y fauna del suelo y se retiene mayor cantidad de agua aprovechable al cultivo por más tiempo (Figueroa 1982; Ángeles y Rendón, 1994).

(Hernández, 2000)Las propiedades físicas del suelo son factores que influyen en la retención y disponibilidad de agua en el suelo así como la disponibilidad de oxigeno sin embargo estas propiedades se ven modificadas por los sistemas de labranza, teniendo repercusiones en la productividad del suelo.

Una de las ventajas de la labranza de conservación es el mantener en buenas condiciones la estructura del suelo y por lo tanto la porosidad favoreciendo así propiedades hidráulicas del mismo especialmente la velocidad de infiltración, ayudando a tener un mejor desarrollo del sistema radicular de los cultivos y la edafo-fauna (Figueroa 1982 y 1999).

(CIMMYT-MASAGRO)La agricultura de conservación se basa en tres principios básicos: Mínimo movimiento de suelo, colocación de rastrojo en la superficie del suelo y rotación de cultivos. En este sistema es muy importante controlar las malezas lo cual debe hacerse antes de que produzcan semillas, usando herbicidas de contacto y sistémicos, el control adecuado de las malezas también tiene efectos en el control de enfermedades e insectos dañinos.

La rotación de cultivos es una de las prácticas más importantes en un programa de control de malezas.

La rotación de cultivos es necesaria en la AC con el fin de evitar el aumento de plagas, malezas o enfermedades y para asegurar un sistema de raíces que penetren en el suelo a diferentes profundidades, esto también conduce a una extracción más equilibrada de los nutrientes del suelo (Alfonso y Monederos, 2004).

En la fertilidad de un suelo se toma en cuenta principalmente la cantidad de macro y micronutrientes que el suelo puede proveer a los cultivos, y en segundo término el contenido de materia orgánica presente en el sin embargo es un componente del suelo que influye fuertemente en las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo. La adición de residuos orgánicos al suelo, provenientes de plantas y animales y su posterior descomposición por los microorganismos son de suma importancia para incrementar el contenido de materia orgánica al suelo (Bures, 2004)

El suelo puede ser seriamente afectado por el estiércol si contiene concentraciones altas de nutrientes (Nitrógeno, fosforo), microorganismos patógenos (*E. coli*), antibióticos, y compuestos que interactúen con el sistema endocrino (Powers, 2009).

La expansión de la agricultura y ganadería intensiva se han establecido mayoritariamente en áreas con escases de agua. El agua es contaminada por excretas ganaderas directamente a través de escurrimientos, infiltraciones y percolación profunda en las granjas, e indirectamente por escorrentías y flujos superficiales desde zonas de pastoreo y tierras de cultivo (EPA, 2006).

El nitrógeno es abundante en el estiércol, y está relacionado con la contaminación de aguas subterráneas por la lixiviación de nitrato a través del suelo, mientras que el fosforo del estiércol está relacionado con la contaminación de aguas superficiales (Miller, 2001y Reddy *et al*., 1999).

Thomassen *et al*. (2008) sugieren que los sistemas de producción de leche tipo orgánico impactan menos al agua y al suelo, pero emiten más gases de efecto invernadero, comparados con los sistemas de producción de leche convencionales

La aplicación de estiércol en tierras de cultivo proporciona un beneficio ecológico al depositar nutrientes como nitrógeno y fosforo en el suelo; él nitrógeno del estiércol se encuentra principalmente en forma de amoniaco las plantas lo usan como nutriente (Miner *et al*., 2000). A pesar de ello, la valoración del estiércol como fertilizante orgánico, comparada con la de fertilizantes químicos es mínima. Por sus características orgánicas, el estiércol aumenta la capacidad de retención de agua, el intercambio catiónico y la filtración de agua al subsuelo, y reduce la erosión. Además, la fracción liquida del estiércol ayuda a disminuir las pérdidas de nitrógeno, carbono y azufre en sus formas gaseosas, en el suelo (Capulin *et al*., 2001)

El uso del estiércol como fertilizante orgánico puede reducir el uso de fertilizantes químicos y, por tanto, el impacto ambiental (Bouwman y Booij, 1998).

Los agroecosistemas modernos a pesar de que han demostrado estar capacitados para mantener una población creciente, diversos estudios demuestran que el equilibrio ecológico en esos sistemas artificiales es más frágil creando preocupación para algunos investigadores, agricultores y políticos en todo el mundo, en la búsqueda de sistemas agrícolas autosuficientes, diversificados y de baja utilización de insumos los abonos orgánicos (humus de lombriz, compost, biofertilizante, fermentados y otros) se han recomendado en aquellas tierras sometidas a cultivo intenso para mejorar propiedades estructurales del suelo (estructura, porosidad, aireación y capacidad de intercambio catiónico) así como para el incremento de microorganismos en el suelo facilitando la disponibilidad de nutrimentos para la planta (Altieri 1999; Moraga, 2005).

Los biofertilizantes son abonos líquidos elaborados con materiales de bajo costo y de abundancia relativa en los sistemas de producción. Tales como: estiércol de vaca, leche y melaza, puestos a fermentar por varios días en recipientes plásticos, cerrados herméticamente bajo sistema anaeróbico y muchas veces enriquecidos con sales minerales. Su importancia radica en nutrir, recuperar y reactivar la vida del suelo, fortalecer la fertilidad de las plantas y estimula la protección de los cultivos contra el ataque de insectos y enfermedades. Los abonos líquidos son sustitutos de los fertilizantes foliares químicos industriales y permiten a los productores independizarse de los insumos importados, los cuales son de alto costo. (Rostran, 2009).

Materiales y Métodos

El presente estudio se realizó durante el año 2017 en la unidad experimental de la plataforma MASAGRO-CIMMYT-UAAAN localizada en el rancho el buitre dela UAAAN en el municipio de San Pedro de las colonias Coahuila que forma parte de la región conocida como Comarca Lagunera de Coahuila la cual se ubica entre los 24 grados y 30 minutos de latitud norte y los 105 grados de longitud oeste con 1120 msnm

Diagnóstico de parcela.

Se realizó un muestreo de suelos para diagnosticar las propiedades físicas, químicas y la fertilidad del suelo. Para determinar el grado de compactación se utilizó un penetrometro y medidor de humedad de suelo Field Scout TDR300 Spectrum technologies Inc. Con el cual se detectó que la resistencia a la penetración se encontraba entre los 13 cm. y 17 cm. con un espesor 3 cm de, dando un total de 20 cm. de profundidad total a la cual se encontraba la capa compacta con un 20 % de humedad.

En lo referente a otras propiedades físicas químicas y a la fertilidad del suelo se muestran los resultados obtenidos del análisis del laboratorio, como se muestra en el cuadro 1 y 2 respectivamente.

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del suelo.

PROPIEDADES DEL SUELO				
FISICAS		**QUIMICAS**		
CLASE TEXTURAL	FRANCO	PH	7.96	MOD. ALCALINO
Punto de Saturación	32.2 % mediano	Carbonatos totales	2.41 %	Bajo
Capacidad de Campo	17.0 % mediano	Salinidad (C.E.)	1.45 ds/m	Mod. Bajo
Punto de March. Perm.	10.1 % mediano			
Conductividad hidráulica	5.1 cm/hr Mod Alto			
Densidad Aparente	1.03 g/cm3			

Nota: Se tiene un 7.25% saturación de sodio (Na+) por lo que se aplican 1.57 ton/Ha de yeso agrícola a la parcela para su acondicionamiento.

Tabla 2. Determinación de la fertilidad del suelo.

FERTILIDAD DEL SUELO

Determinación	MO	P-Bray	K	Ca	Mg	Na+	Fe	Zn	Mn	Cu	B	S	N-No_3
Resultado	1.10	30.8	551	4445	79.6	437	5.22	0.81	11.9	1.01	2.03	45.1	6.95
Unidad	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm

Preparación del suelo año cero

Para establecer el sistema de agricultura de conservación es necesario iniciar con el año cero en el cual se acondiciona el suelo en lo inherente a compactación presencia de sodio nivelación entre otros. Para lo cual se realizó una ***rehabilitación mecánica*** con la finalidad de romper la capa compacta del suelo cuando éste está seco utilizando un subsoleo el cual se enterró a 30 cm de profundidad (Es decir 1.5 veces la profundidad de la capa dura incluyendo su espesor)

Así mismo se realizó la nivelación con rayo láser.

Posteriormente se realizaron las siguientes prácticas; barbecho, rastreo aplicación de 1.5 ton/ha de yeso agrícola y bordeo para posteriormente aplicar un riego.

Siembra

Se realizó el 25 de Agosto con la variedad ABT 1285, utilizándose una sembradora de precisión marca Jhon Deere, con una densidad de población de 105,000 plantas por hectárea.

Se utilizó el manejo agroecológico de plaga para el control del gusano cogollero, para lo cual se instalaron cuatro trampas con feromona por hectárea realizándose un conteo de palomillas y reposición de agua 2 veces por semana, teniéndose un buen control.

Para el control de las malas hierbas se realizó dos escardas en el sistema convencional y dos aplicaciones de yerba mina en el sistema de agricultura de conservación.

Tabla 3. Riegos

RIEGO	***LAMINA CM***	***FECHA***
Establecimiento	20	15 Agosto
1° auxilio	15	21 Septiembre
2° auxilio	15	12 Octubre
3° auxilio	12	01 Noviembre

4° auxilio	10	16 Noviembre

Programa de fertilización

Fertilización orgánica

Composta es un ***BIOFERTILIZANTE ORGÁNICO Y MEJORADOR*** **DEL SUELO** elaborado a base de estiércoles mediante un proceso de fermentación aeróbica (con presencia de oxígeno) por medio de la inoculación de grandes poblaciones de microorganismos, mesófilos, termófilos y quimio

Organotróficos (bacterias, actinomicetos, hongos y levaduras) entre otros, en condiciones estrictamente controlados dando como resultado un producto HUMIFICADO, estable de excelente calidad, libre de semillas de maleza, plagas y organismos patógenos.

De Los **Bacillus** el más versátil ya que por su rápida colonización inhibe el desarrollo de bacterias y hongos patógenos del suelo. Es un eficaz liberador de nutrientes principalmente el fósforo, es un promotor de microbiología benéfica, además de ser un auxiliar en el desarrollo radicular

Biomil Diazotropic Ingredientes activos: bacterias diazotropicas 1 x (8) ufc, penicillium 5 x (8) ufc, lactobacter, actinomicetos, aspergillius, bacillus subtilis, bacillus megaterium, rhizobium, bradyrhizobium. Thiobacillus y gluconacetobacter. Libre de organismos genéticamente modificados.

LIXIVIADO DE HUMUS DE LOMBRIZ PLUS Producto derivado del exudado de la lombriz, rico en microorganismos, hormonas, enzimas y coenzimas naturales con un alto contenido de microorganismos benéficos y una gran cantidad de nutrientes. Enriquecido con aminoácidos, elementos menores, algas marinas, ácidos fúlvicos y saponinas esteroidales

Trichoderma Hongo depredador y rey del mundo Fungí que promueve la sanidad de la raíz de las plantas, eficaz en el control de enfermedades provocadas por especies de los géneros Phytoptora, Armillaria, Phymatotrichum, Fusarium entre otros coadyuva en el combate de nematodos

Aplicación de los productos orgánicos durante el periodo del cultivo

En la siembra

2 ton Biofertilizante bionatural

Primer auxilio

1 dosis de trichoderma reproducida
1 dosis de biomil Diazotropic reproducida
1 dosis de bacillus subtilis reproducida
20 lts de lixiviado de humus de lombriz

Segundo auxilio
1 dosis de trichoderma reproducida
1 dosis de biomil Diazotropic reproducida
1 dosis de bacillus subtilis reproducida
20 lts de lixiviado de humus de lombriz

Tercero auxilio
1 dosis de trichoderma reproducida
1 dosis de biomil Diazotropic reproducida
1 dosis de bacillus subtilis reproducida
20 lts de lixiviado de humus de lombriz

Cuarto auxilio
1 dosis de trichoderma reproducida
1 dosis de biomil Diazotropic reproducida
1 dosis de bacillus subtilis reproducida
20 lts de lixiviado de humus de lombriz

Fertilización inorgánica
Se aplicaron:
Nitrógeno; 350 kg/ha
Potasio; 70 kg/ha
Fertilizantes utilizados como fuente del nitrógeno, sulfato de amonio y urea.
Aplicándose el 25% de la dosis al momento de la siembra con sulfato de amonio.
Otro 25% en el primer riego de auxilio, con sulfato de amonio y el resto en por partes iguales en el tercer y cuarto riego de auxilio, utilizando como fuente urea.
En el caso del fosforo se utilizó como el MAP aplicándolo todo en la siembra.

Conducción de los Tratamientos
La primera siembra:
Se llevara a cabo con maíz amarillo en el mes de Marzo del 2017 el cultivo se establecerá en parcelas de 6 x12 metros. Con una distancia entre surcos de 0.75 metros, con una población de 80,000 y 110,000 plantas por hectárea. El hibrido a utilizar será el An 447, el cultivo tiene un ciclo de 120 días y es de porte homogéneo, la parcela experimental total será de 2,304 m2.
Los tratamientos a estudiar serán dos sistemas de producción; convencional y agricultura de conservación, y dos densidades de población.
Todo el Fosforo y la mitad de Nitrógeno se aplicaran al momento de la siembra, la otra mitad de nitrógeno se aplicara antes del primer riego de auxilio, la fuente de nitrógeno será Sulfato de Amonio (20.5 00 00) y la de fosforo MAP (11 52 00).

Variables a evaluar y análisis estadístico

Las propiedades físicas a evaluar serán; Textura, Densidad aparente (g/cm^3) en campo, compactación del suelo (lb/in2) (g/cm2): método del Penetometro; resistencia al corte en newton, velocidad de infiltración (cm/h): método de los cilindros, Punto de saturación se obtiene en el laboratorio, Conductividad hidráulica se realiza en laboratorio. Propiedades químicas a evaluar serán; materia orgánica (%) método Walkley y Black, Ph y CIC en el laboratorio. Se cuantificara el rendimiento de forraje verde (t/ha) y se realizara análisis bromatológico. La distribución de los tratamientos en el campo se llevara a cabo con un diseño en bloques al azar en un arreglo en parcelas divididas con tres repeticiones. Los espacios de exploración se establecen de la siguiente forma: factor 1 (sistema de producción): labranza tradicional a1; Agricultura de conservación a2; factor 2 (densidades de población p/ha; b1=80,000; b2= 110000 p/ha. Se realizara a cada variable a evaluar un análisis de varianza y una prueba de medias por Duncan al 5% de probabilidad.

Resultados y Discusiones

El tratamiento 2 que se refiere al sistema convencional con fuente de fertilización inorgánica presento el mayor rendimiento con 17.95 Mg/ha^{-1} seguido del tratamiento y se refiere de igual manera a una fuente de fertilización inorgánica con un valor medio de 17.70 Mg/ha^{-1}. Sin embargo el tratamiento 5 y 7 que refieren al sistema de agricultura de conservación con fuente de fertilización orgánica, tuvieron valores medios de 17.20 y 16.49 Mg/ha^{-1} .

(Vivanco 2005) reporta que la materia orgánica forma parte del ciclo del nitrógeno, del azufre y del fosforo contribuyendo así a la aportación de nutrientes, para desarrollo del cultivo.

Cruz (2002). Relaciona la aplicación de abonos orgánicos, como una fuente que suministra los nutrientes necesarios para el crecimiento de los cultivos en tiempo y armonía en función de las necesidades de los cultivos.

Por lo anterior el uso de fuentes orgánicas para la aportación de nutrientes a los cultivos puede ser más eficientes en su liberación para el aprovechamiento por el cultivo, en comparación con el manejo y aportación de los fertilizantes inorgánicos los cuales pueden presentar mayores pérdidas por lixiviación y volatilización.

El coeficiente de variación encontrada fue 2.35% lo que refiere una confiabilidad de la información del 97.65% bajo, una prueba de medias TUKEY (≤ 0.05).

Conclusiones

El sistema convencional con fertilización inorgánica obtuvo un rendimiento superior de .98 Mg por hectárea en comparación con el sistema de agricultura de conservación y fertilización orgánica.

Es importante continuar con este proyecto al menos dos años más.

Se deben hacer mediciones periódicas de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Referencias

Alfonso C.A. y Monederos M 2004. Uso, Manejo y Conservación de suelos, ED. Asociación Cubana de Técnicos Agrícola y Forestal. 42pp

Altieri, M. 1999. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. 4a edición. Editorial Nordan. Comunidad. Montevideo. 73 p.

Bouwman, A. F., and H. Booij. 1998. Global use and trade of feedstuffs and consequences for the nitrogen cycle. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 52: 261-267.

Bures, S. (2004). La Descomposición de la Materia Orgánica. [Documento en línea].Disponible:http://www.inforganic.com/node/484[Consulta:2011,Junio 24]

Capulin, G. J., E. R. Nuñez, B. J. Etchevers, y C. G. Baca. 2001. Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como insumo de nutrición vegetal en hidroponía. Agrociencia 35: 287-299.

CIMMYT Masagro: Pagina web: http://conservacion.cimmyt.0rg/es/boletin-ac; http://conservacion.cimmyt.org

EPA (Environmental Protection Agency). 2006. Global Anthopogenic Non-CO_2 greenhouse gas emissions: 1990-2020. United States Environment Protection Agency, USA. pp: 274.

Figueroa, S. B. 1982. La investigación en labranza en México. Memorias del XV Congreso Nacional de la ciencia del suelo. México. 273 p.

Figueroa, S. B. 1999. Manual de producción de cultivos con labranza de conservación. Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 273 p.

Hernández, r.m. (2000). Efectos de la siembra directa y la labranza convencional en la estabilidad estructural y otras propiedades físicas de ultisoles en el Estado de Guarico-Venezuela. Agronomía tropical 5 v 19-24.

Miller, J. J. 2001. Impact of intensive livestock operations on water quality. Proc. Western Canadian. Dairy Seminar 13: 405-416.

Miner, J. R., F. J. Humenik, and M. R. Overchash. 2000. Managing Livestock Wastes to Preserve Environmental Quality. Environmental Quality. Iowa State Univertisy Press. Ames, IA, USA. pp: 318

Moraga Q., N.; Meza R., I. 2005. Evaluación de dos dosis de fertilizantes orgánicos (gallinaza, estiércol vacuno) y un mineral sobre la dinámica del crecimiento y rendimiento del maíz (*Zeamays* L.) Variedad NB-6. Tesis. UNA. Managua, Nicaragua. 43 p.

Powers, W. 2009. Environmental challenges ahead for the U.S. dairy industry. *In*: Proc. 46th Florida Dairy Production Conference, Gainsville, FL, USA. pp: 13-24.

Reddy, K. R., R. H. Kadlec, E. Flaig, and P. M. Gale. 1999. Phosphorus retention in streams and wetlands: a review. Crit. Rev. Environ. Sci. Thechnol. 29: 83-146.

Rostran, Jorge.et.al.2009. Manual para la Producción de Abonos Orgánica Bokashi. Universidad Nacional autónoma de Nicaragua (UNAN-León). León, Nicaragua (Mayo del 2009).19 p.

Thomassen, M. A., K. J. van Calker, M. C. J. Smits, G. L. Iepema, and I. J. M. de Boer. 2008. Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. Agric. Systems 96(1-3): 95-107.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

PRODUCCIÓN DE *Stevia rebaudiana* Bertoni CON SUSTRATOS ORGÁNICOS DE VERMICOMPOST:ARENA

Production of *Stevia Rebaudiana* Bertoni With Organic Substrates of Vermicompost:sand

María Teresa Salazar-Ramirez[1], Manuel Fortis-Hernández[1*], Pablo Preciado-Rangel[1] y Jorge Sáenz-Mata[2].

[1] **Instituto Tecnológico de Torreón (ITT)-DEPI. Carretera Torreón-San Pedro, km 7.5. Ejido Anna, Torreón, Coahuila, México. C. P. 27190. Tel: 01 871 7507198, (teresalazaramirez@mail.com, fortismanuel@hotmail.com, ppreciador@yahoo.com.mx).** [2] **Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Universidad s/n Fracc. Filadelfia. 35010 Gómez Palacio, Durango, México.**

*Autor para correspondencia: fortismanuel@hotmail.com.

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo de caracterizar física, química y microbiológicamente diferentes proporciones de vermicompost:arena para la producción de *Stevia rebaudiana* Bertoni. Se evaluaron diferentes proporciones de vermicompost y arena, dichas proporciones fueron: 15:85, 30:70, 45:55, 60:40, 75:25 y un sustrato de vermicompost con suelo agrícola (15:85). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar. El material genético fue la *Stevia rebaudiana* Bertoni variedad Morita 2. Las variables evaluadas en los sustratos fueron pH, conductividad eléctrica, contenido de fosforo y de nitratos. Porosidad total, Densidad aparente, Densidad de partícula, Capacidad de retención de agua y Porcentaje de Aireación, así como el número de bacterias y los grupos microbianos presentes en la rizosfera de la Stevia *rebaudiana* Bertoni. En esta última variable se determinaron grupos microbianos como: Pseudomonas, Bacterias fijadoras de Nitrógeno, Bacilos, Hongos, Actinomicetos. En planta, las variables fisiológicas evaluadas fueron Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC), Tasa de Asimilación Neta (TAN), Área Foliar Especifica (AFE) y el Índice de Área Foliar (IAF). Los resultados sugieren, que de acuerdo al aumento o disminución de las proporciones de vermicompost:arena utilizadas, las propiedades físicas y químicas, el número de bacterias, los grupos microbianos que resulten de ellas, se verán modificados, cambiando así, las variables fisiologicas del cultivo de Stevia *rebaudiana* Bertoni.

Palabras clave: vermicompost, *Stevia rebaudiana* Bertoni, grupos microbianos.

ABSTRACT

This research was conducted to characterize physical, chemical and microbiological different proportions of vermicompost: sand for the production of Stevia rebaudiana Bertoni. Vermicompost and different ratios of sand were evaluated, these proportions were 15:85, 30:70, 45:55, 60:40,

75:25 and vermicompost substrate with agricultural soil (15:85). A completely randomized experimental design was used. The genetic material was Stevia rebaudiana Bertoni variety Morita 2. Variables evaluated in the substrates were pH, electrical conductivity, and phosphorus content of nitrates, total porosity, bulk density, particle density, water holding capacity and aeration rate, and the number of bacteria and microbial groups present in the rhizosphere of Stevia rebaudiana Bertoni. In the latter variable microbial groups determined as: Pseudomonas, nitrogen fixing bacteria, bacilli, fungi, Actinomycetes. As for the physiological variables as Growth Rate Crop, Assimilation Rate Net, Specific Leaf Area and the Leaf Area Index. The results suggest that, according to the increase or decrease in the proportions of vermicompost:sand used, the physical and chemical properties, the number of bacteria, microbial groups resulting therefrom, will be modified, thus changing the variables physiological of Stevia rebaudiana Bertoni.

Key words: vermicompost, *Stevia rebaudiana* Bertoni, microbial groups.

INTRODUCCION

En los últimos años, y debido a la creciente demanda de productos ecológicos en el mercado, se ha producido un incremento considerable en la producción y la aplicación de abonos orgánicos. Al mismo tiempo también ha aumentado la investigación acerca de los posibles efectos beneficiosos de estos sobre el crecimiento vegetal y los mecanismos responsables (Domínguez *et al*., 2010).

Desde el punto de vista microbiológico, se ha puntualizado que el vermicompost posee una gran riqueza de microorganismos, así como, un efecto supresor sobre algunos patógenos del suelo. Estudios microbiológicos realizados en vermicompost muestran la ausencia de patógenos humanos como Salmonella y *E. coli* (Duran y Henríquez, 2007).

Entre los microorganismos benéficos están aquellos que fijan nitrógeno atmosférico, descomponen desechos y residuos orgánicos, desintoxican el suelo de pesticidas, suprimen enfermedades de plantas y patógenos del suelo, incrementan el reciclaje de nutrientes y producen componentes bioactivos como vitaminas, hormonas y enzimas que estimulan el crecimiento de las plantas (Martínez, 2002).

Si bien existen trabajos que estudian el efecto del agregado de vermicompost en diferentes proporciones, como se señaló anteriormente, no existen trabajos en los que se relacione la actividad microbiana del vermicompost y el desarrollo de un cultivo. Esta relación es fundamental para entender el efecto de las enmiendas en la producción agrícola.

El uso de plantas medicinales es una práctica tradicional en la población mundial, el cual se ha fomentado de generación en generación. Entre las especies con uso medicinal destaca el caso de la *Stevia rebaudiana* Bertoni por su alto poder edulcorante sin aportar calorías (Salgado, 2013).

Stevia rebaudiana es una planta selvática subtropical del alto Paraná, nativa del noroeste de la provincia de Misiones, en Paraguay, donde era utilizada por los nativos del lugar como edulcorante y curativa. En 1899, por primera vez el sabio Moisés Santiago Bertoni tuvo posesión de algunas

plantas provistas por los indígenas del lugar, la cultivó y le dio su clasificación botánica en 1905 (Jarma; Rengifo; Aramendiz, 2006).

La *Stevia* es una planta considerada medicinal, pues varios estudios demuestran que puede tener efectos beneficiosos sobre la diabetes tipo II, ya que posee glucósidos con propiedades edulcorantes sin calorías. El esteviósido y el rebaudiosido A, son los principales compuestos responsables de la edulcorancia y normalmente están acompañados por pequeñas cantidades de otros steviol glucósidos (Landazuri y Tigrero, 2009).

En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue llevar a cabo la caracterización física, química y microbiológica de diferentes proporciones de vermicompost y arena sobre la comunidad microbiana, el tipo de microorganismos y el desarrollo del cultivo de *Stevia rebaudiana* Bertoni bajo condiciones de malla sombra.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se llevó a cabo durante el ciclo agrícola primavera verano 2016, en malla sombra en el Instituto Tecnológico de Torreón (ITT) ubicado en el km 7.5 de la antigua carretera Torreón-San Pedro, Coahuila, México. Las coordenadas fueron 25°36'47.65" latitud norte y 103°22'23.66" longitud oeste, a 1200 m de altura sobre el nivel del mar.

Las mezclas fueron realizadas en base a volumen (v:v), utilizando como material inerte arena, la cual fue cribada y esterilizada con una solución de ácido sulfúrico al 1%. Se evaluaron cinco mezclas de vermicompost:arena y una de vermicompost:suelo, que genero los siguientes tratamientos: T1 = 15:85, T2 = 30:70, T3 = 45:55, T4 = 60:40, T5 = 75:35 y T6 = 15:85. La vermicompost fue obtenida en el lombricario del Instituto Tecnológico de Torreón (ITT).

El diseño experimental fue completamente al azar con seis tratamientos y seis repeticiones cada uno, dando como resultado treinta y seis unidades experimentales. Los análisis estadísticos de la identificación microbiológica, se realizaron mediante un diseño factorial AxB, donde A es el tratamiento evaluado y B es el medio de cultivo utilizado, los análisis estadísticos restantes, análisis de varianza y prueba de separación de medias, se ejecutaron utilizando el índice de TUKEY ($P \leq 0.05$). Los datos se analizaron con el paquete estadístico SAS (SAS Inst., 1999).

El material evaluado fue la planta de *Stevia Rebaudiana* Bertoni variedad Morita 2, procedente de la ciudad de Cuernavaca, Morelos, México y propagadas mediante esqueje en charola y trasplantada el 29 de junio de 2016. Los riegos se aplicaron diariamente en un rango de 100 a 300 mL de agua, a partir del índice de la Capacidad de Retención de Agua (CRA) de cada maceta.

Las variables evaluadas fueron para a) sustrato: Porosidad total, Densidad aparente, Densidad de partícula, Capacidad de retención de agua y Porcentaje de Aireación, pH, conductividad eléctrica, contenido de fosforo y de nitratos, así como el número de bacterias y los grupos microbianos presentes en la rizosfera de la Stevia *rebaudiana* Bertoni. En esta última variable se determinaron grupos microbianos como: Pseudomonas, Bacterias fijadoras de Nitrógeno, Bacilos, Actinomicetos. b) planta: tasa de crecimiento del cultivo, tasa de asimilación neta, área foliar específica, índice de área foliar.

RESULTADOS Y DISCUSION

Características químicas de los sustratos

De acuerdo a la norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 Humus de lombriz (lombricomposta) especificaciones y métodos de prueba, donde se establece un pH de 5.5 a 8.5, en el cuadro 1, podemos observar que todos los tratamientos están dentro de lo determinado. En cuanto al parámetro de conductividad eléctrica que se establece en ≤ 4 dS m^{-1}, solo los tratamientos 1 (15:85) y tratamiento 6 (15:85) cumple con los valores de CE establecidos. Los tratamientos restantes no cumplen con los valores señalados por la norma mexicana, al menos, en uno de sus parámetros.

Pino *et al*. (2005) y Cruz-Lázaro *et al.* (2009), encontraron valores de 1.68 dSm^{-1} en sustratos de compost y vermicompost para producción de tomate. Rippy (2004), señala que la CE óptima para un sustrato se encuentra en un rango de 2 a 3.5 dS m^{-1} y un pH óptimo para la absorción de nutrientes de 5 - 7.

Por lo tanto, los resultados muestran que el tratamiento 1 (15:85) y tratamiento 6 (15:85) son los que más se asemejan a los resultados óptimos de CE y pH esperados.

Cuadro 1. Características químicas de las diferentes proporciones de vermicompost:arena utilizadas en la producción de Stevia en malla sombra.

Sustratos	pH	CE (dS m_{-1})	Fosforo (mg kg^{-1})	MO (%)	Nitratos (mg kg^{-1})
T_1 = 15v:85a	7.30	2.88	2.15	7.20	8.71
T_2 = 30v:70a	7.38	4.18	3.30	14.40	17.42
T_3 = 45v:55a	7.48	5.03	4.10	21.60	26.12
T_4 = 60v:40a	7.52	8.03	5.20	28.80	34.83
T_5 = 75v:25a	7.62	9.36	6.20	36.10	45.52
T_6 = 15v:85s	7.24	2.23	5.37	15.90	35.43

Fuente: Análisis elaborados en la Cooperativa Agropecuaria de la Comarca Lagunera S.C.L., Gómez Palacio, Durango (Julio, 2016) y en el laboratorio de Suelos del Instituto Tecnológico de Torreón (Octubre, 2016)
Dónde: a = arena, v= Vermicompost, s = suelo.

Para la variable de materia orgánica, la NMX-FF-109-SCFI-2007 Humus de lombriz (lombricomposta) especificaciones y métodos de prueba, señala un contenido de 20% a un 50% (base seca) por lo cual los tratamientos 3 (45:55), 4 (60:40) y 5 (75:25), cumplen con lo establecido en la norma mexicana. En cuanto a la fertilización de la Stevia, Salgado (2013) recomienda el suministro de 94.6 kg ha^{-1} de nitrógeno (N) para una densidad de 55 mil plantas de Stevia ha^{-1}, esto resulta en 0.00172 kg $planta^{-1}$ de nitrógeno. Los 6 tratamientos evaluados, cumplen con estos

requisitos de fertilización ya que sus niveles de Nitrógeno son considerados suficientes para satisfacer la demanda energética por planta.

Propiedades físicas de los sustratos

Las propiedades físicas de los sustratos evaluados, mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos. Para las propiedades de porosidad total y capacidad de retención de agua el tratamiento 5 (75:25) y el tratamiento 6 (15:85) mostraron los valores más altos estadísticamente, en porosidad de aireación el tratamiento 1 (15:85) y tratamiento 2 (30:70) resultaron los más altos, para densidad aparente se presentaron los valores más altos en el tratamiento 1 (15:85) y el tratamiento 6 (15:85) y para densidad de partícula, destaco el tratamiento 6 (15:85), cabe señalar que este tratamiento fungió como testigo.

Con respecto a la porosidad total Raviv *et al*. (1993) señalan que el espacio poroso que facilita el drenaje requiere de un volumen alto de aireación; característica que favorece el libre drenaje, disminuye al mismo tiempo la capacidad de retención de agua lo cual podría acarrear problemas de manejo de cultivo ya que éste requeriría riegos excesivamente frecuentes. Pire y Pereira (2003), reportan valores de porosidad total en sustratos de arena de 37.3%. En base al resultado obtenido, el tratamiento 3 (45:55) con un valor de 31% es el más cercano al valor adquirido por Pire y Pereira (2003)

Pire y Pereira (2003), mencionan que el suelo posee sólo 2.2% de porosidad de aireación y la arena fina con 3.8%. Hernández *et al.* (2008) reporto que la vermicompost según su granulometría fina y sin cernir, posee una porosidad de aireación de 1.24% y de 2.07% respectivamente. Por lo tanto, el tratamiento 1 (15:85) y el 2 (30:70), cumplen con estas especificaciones.

Cuadro 2. Comparación de medias por la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) del análisis de las propiedades físicas de las diferentes proporciones de vermicompost:arena utilizadas en la producción de Stevia en malla sombra.

Tratamientos	PT	Pa	CRA	Da	Dp
	---------- % ----------			------ mg m^{-3} ------	
T_1 = 15v:85a	18.333 c	2.620 a	15.553 c	0.841 a	1.028 cd
T_2 = 30v:70a	21.667 c	2.650 a	18.993 c	0.801 b	1.022 cd
T_3 = 45v:55a	31.000 b	2.156 b	28.547 b	0.770 c	1.113 c
T_4 = 60v:40a	28.333 b	1.936 bc	26.200 b	0.703 d	0.978 d
T_5 = 75v:25a	49.667 a	1.693 cd	47.977 a	0.696 d	1.385 b
T_6 = 15v:85s	51.333 a	1.283 d	50.160 a	0.846 a	1.745 a

Propiedades físicas evaluadas en el Laboratorio de Suelos del Instituto Tecnológico de Torreón. Dónde: PT= Porosidad total %, Pa= Porosidad de aireación %, CRA= Capacidad de retención de agua%, Da= Densidad aparente g/cm^3, Dp= Densidad de partículas g/cm^3. a

= arena, v= Vermicompost, s = suelo. *Letras distintas dentro de cada columna indican diferencia estadística significativa (Tukey; $P \leq 0.05$)

Respecto a la capacidad de retención de humedad Pire y Pereira (2003) reportan para arena fina una retención de humedad de 32.6 %, Hernández *et al.* (2008) reporto para vermicompost fina 52.46% y sin cernir 50.99%. En el cuadro 10, podemos observar, que tanto los tratamientos 5 (75:25) y 6 (15:85), son los más cercanos a estos valores. De acuerdo con la NMX-FF-109-SCFI-2007 Humus de lombriz (lombricomposta) especificaciones y métodos de prueba, que determina las características físicas y químicas recomendables para el vermicompost o humus de lombriz, la densidad aparente con la que se debe cumplir es de 0.40 a 0.90 g mL^{-1}.

La densidad aparente de materiales orgánicos evaluados por Pire y Pereira (2003), con arena fina presentó un valor medio de 1.458 mg m^{-3}; y la mayor densidad de partículas o densidad real en la arena tuvieron un valor medio de 2.327 mg m^{-3}. Hernández *et al.* (2008) reportaron para densidad aparente en vermicompost fina 0.57 mg m^{-3} y sin cernir 0.54 mg m^{-3} y para densidad de partícula reporto 1.23 mg m^{-3} en fina y 1.16 mg m^{-3} sin cernir. En base a lo anterior, el tratamiento 6 (15:85) con un valor obtenido de 0.846 mg m^{-3} es el más cercano a los valores obtenidos por Pire y Pereira (2003) y Hernández *et al.* (2008). En base a lo mencionado, el tratamiento 6 (15:85) es el que presenta mejores resultados estadísticamente, destacando en 4 de 5 propiedades físicas medidas.

Número de bacterias y los grupos microbianos presentes en la rizosfera de la Stevia *rebaudiana* Bertoni de acuerdo a las diferentes proporciones de sustrato.

Las diferentes proporciones de vermicompost:arena no mostraron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos; no obstante, se puede observar que la tendencia fue que el tratamiento tres desarrollo el mayor número de bacterias. Esto puede deberse a que la proporción que se manejó en este tratamiento, 55 arena + 45 vermicompost, generó las condiciones para el desarrollo bacteriano (pH, temperatura, humedad, etc).
En un estudio realizado por Duran y Henríquez (2012), donde se realizó una caracterización microbiológica de la vermicompost, el análisis estadístico de los datos microbiológicos tampoco mostró diferencias significativas entre los tratamientos para la cantidad de bacterias, sin embargo, si se encontró diferencias significativas en las poblaciones.

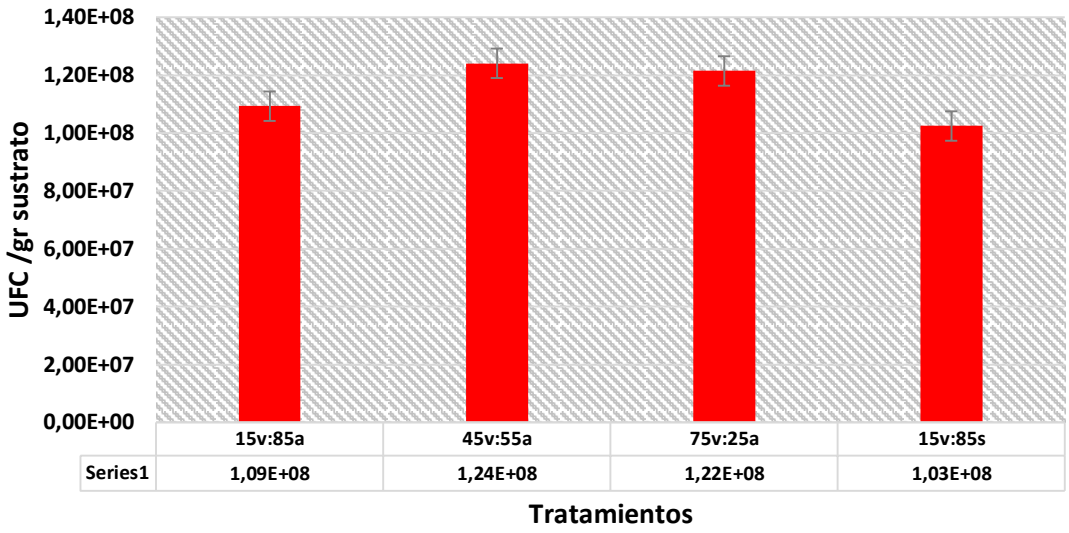


Figura 1. Número de bacterias (UFC g^{-1} sustrato) presentes en la rizosfera de la Stevia de acuerdo a las diferentes proporciones de vermicompost:arena.

En base a los medios de cultivo utilizados, Lb para bacterias en general, Kb para Pseudomonas, Czapek para actinomicetos, NFb para fijadoras de nitrógeno, se presentaron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos; donde el medio Czapek para desarrollo de Actinomicetos, obtuvo la mayor respuesta con 20 x 10^7 UFC g^{-1} de sustrato; mientras que el medio Lb hervido para el desarrollo de Bacilos, tuvo la menor con 1 x 10^6 UFC g^{-1} de sustrato (Figura 6).
De acuerdo con Arteaga *et al.* (2007), en el análisis microbiológico de la vermicompost de estiércol bovino, se reportaron para Bacterias 3.44x10^9 UFC g^{-1} y para Actinomicetos 2.4x10^5 UFC g^{-1}, en este último grupo microbiano, las proporciones de vermicompost:arena que se analizaron, tiene un mayor desarrollo de los mismos.

En un estudio similar realizado por Duran y Henríquez (2012), en vermicompost derivado de estiércol bovino, los grupos microbianos que se analizaron fueron, Bacterias y Actinomicetos, reportando 1.8 x10^7 UFC, 2.2x10^6 UFC respectivamente. Por lo tanto, las UFC en Bacterias y Actinomicetos reportadas en esta investigación, son mayores. Esto puede estar relacionado a los porcentajes de materia orgánica que se manejaron en las diferentes proporciones de vermicompost:arena, ya que oscilan entre el 20% y 40%.

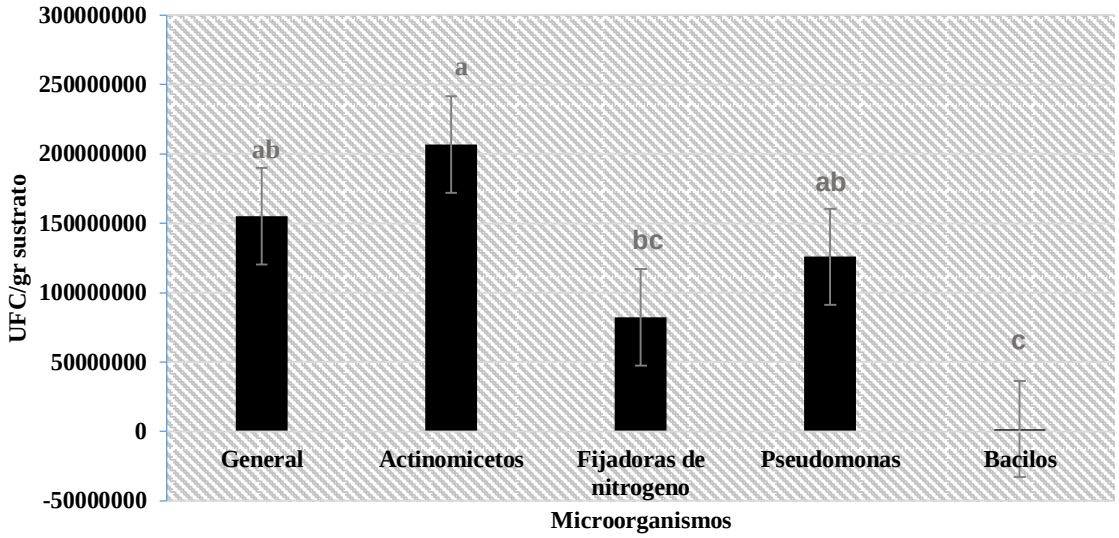


Figura 2. Comparación de medias por la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) del análisis de grupos microbianos presentes en la rizosfera (UFC g^{-1} sustrato) de la Stevia de acuerdo a los diferentes medios de cultivo.

La gran abundancia microbial de la vermicompost viene dada, principalmente, por el mismo proceso de elaboración, en donde los sustratos pasan a través del tracto digestivo de la lombriz, la cual posee una flora microbial que alcanza unos 500 mil millones de microorganismos (Duran y Henríquez, 2012). La función de los Actinomicetos, está dirigida a la descomposición de residuos orgánicos, además de que intervienen activamente en la síntesis húmica y favorece la nutrición de las plantas (Ferrera-Cerrato *et al*., 2007). Por lo tanto, los resultados obtenidos en esta investigación sugieren un mayor aprovechamiento de los nutrientes a una mayor concentración de actinomicetos.

En la figura 3, podemos observar el comportamiento que se presentó en el desarrollo de UFC g^{-1} de sustrato de acuerdo a las diferentes proporciones de vermicompost:arena y vermicompost:suelo utilizadas en esta investigación. Lo primero que cabe destacar es que, los tratamientos 1 y 6, manejan las mismas proporciones de vermicompost (15%), sin embargo, un sustrato se mezcla con arena y otro con suelo agrícola, por lo que podemos observar que los grupos de bacterias predominantes son diferentes, en el tramiento1 se desarrollaron más Actinomicetos y en el tratamiento 6 Pseudomonas y Fijadoras de Nitrógeno, esto podría atribuirse a la carga de materia orgánica con la que ya contaba este suelo y las condiciones de pH y CE que se desarrollaron en el para el desarrollo de las mismas.

Por otra parte, los tratamientos 1 (15:85), 3 (45:55) y 5 (75:25), con mezclas de vermicompost:arena solamente, el desarrollo de UFC que se presentó en ascenso con relación a los porcentajes de

vermicompost, fue en los grupos microbianos de Bacterias en general y Fijadoras de Nitrógeno, por el contrario de los Actinomicetos, que conforme aumentaba el porcentaje de vermicompost, estos disminuían. También podemos observar que las bacterias del grupo de las *Pseudomona*s empiezan con una concentración baja en el tratamiento 1 (15v: 85a), y conforme se incrementan las proporciones de vermicompost:arena, aumenta su número, alcanzan su máximo en el tratamiento 3 (45v:55a) pero al seguir aumentando el porcentaje de vermicompost, estas disminuyen.
De igual forma, se puede observar que en el tratamiento 3 (45:55) existe un desarrollo equitativo de bacterias, esto puede atribuirse a que en el tratamiento 3 se generó el ambiente ideal, tanto físico como químico. En el cuadro 8, podemos observar que los resultados obtenidos de pH y CE, obtenidos en este tratamiento propician el crecimiento adecuado de los microorganismos, así como en datos reportados en campo, este sustrato reporto temperaturas que oscilaban entre los 24 y 30 °C.

Por lo tanto, el tratamiento 3, es el idóneo para el desarrollo de los microorganismos analizados en esta investigación.

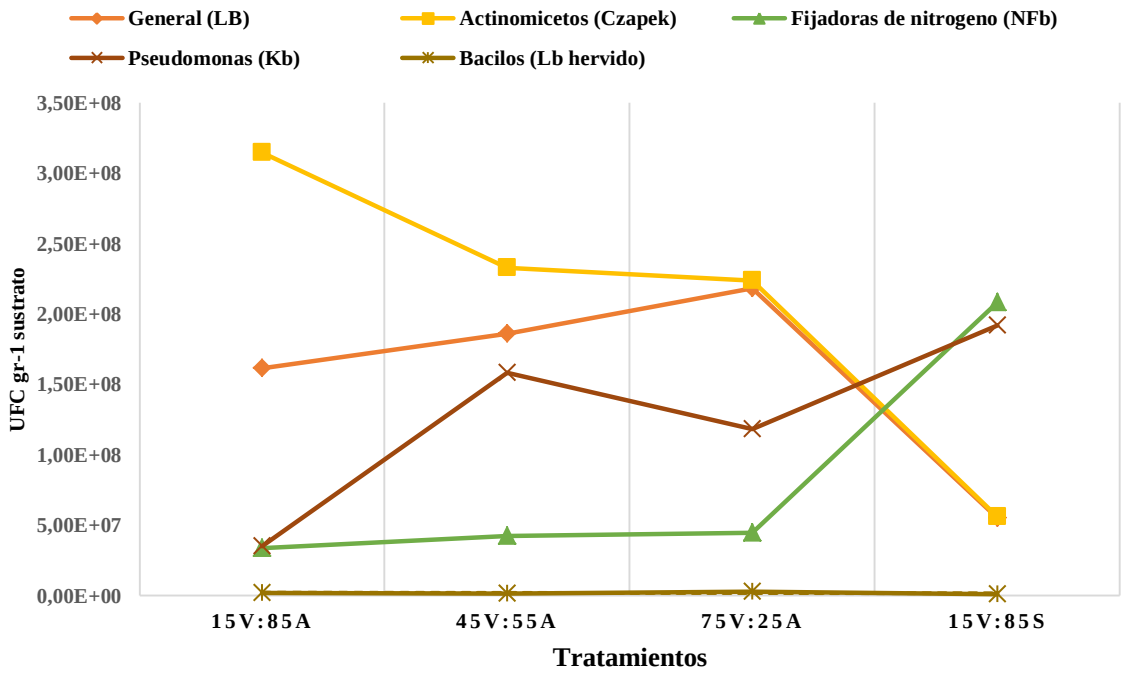


Figura 3. Relación entre el número de bacterias y los grupos microbianos presentes en la rizosfera de la Stevia de acuerdo a las diferentes proporciones de vermicompost:arena y vermicompost:suelo.

Evaluación fisiológica

El análisis estadístico para las variables de evaluación fisiológica de la Stevia, mostraron diferencia significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos, comportándose de la siguiente

manera: Para la Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC) el tratamiento 3 (45:55) destaca con 0.217 g m^{-2} $día^{-1}$, para la Tasa de Asimilación Neta (TAN) sobresale el tratamiento 6 (15:85) con 1.037 g m^{-2} $día^{-1}$, para el Área Foliar Especifica (AFE) el tratamiento 5 (75:25) muestra mayores resultados con 346.647 cm^2 g^{-1}. Solo en la variable de Índice de Área Foliar (IAF), no se presentaron diferencias significativas en el análisis estadístico, sin embargo, resalta un mayor IAF en el tratamiento 3 (45:35) con 0.088 m^2 m^{-2}.

Atiyeh *et al*. (2002) señalan que la mayor respuesta de crecimiento y de rendimiento de las plantas se ha presentado cuando la vermicompost constituye una proporción relativamente pequeña (10 - 40%) del volumen total del medio de crecimiento de la planta dentro de los cuales estos materiales son incorporados.

Cuadro 3. Variables fisiológicas en base a las diferentes proporciones de vermicompost:arena utilizadas en la producción de Stevia en malla sombra

Tratamientos	TCC	TAN	AFE	IAF
	------ g m^{-2} $día^{-1}$ ------		cm^2 g^{-1}	m^2 m^{-2}
T1 = 15v:85a	0.073 b	0.035 c	317.243 a	0.040 a
T2 = 30v:70a	0.063 b	0.031 c	328.387 a	0.052 a
T3 = 45v:55a	**0.217 a**	0.061 b	272.960 ab	**0.088 a**
T4 = 60v:40a	0.198 a	0.074 b	242.947 ab	0.056 a
T5 = 75v:25a	0.030 b	0.029 c	**346.647 a**	0.038 a
T6 = 15v:85s	0.054 b	**1.037 a**	165.287 b	0.040 a

Donde, a = arena, v= vermicompost, s = suelo
TCC = Tasa de crecimiento del Cultivo, TAN = Tasa de Asimilación Neta, AFE = Área Foliar Especifica, IAF = Índice de Área Foliar

En un estudio similar, realizado por Romero-Figueroa *et al.* (2017) analizaron la dinámica de crecimiento de Stevia cultivada en sustratos orgánicos, obtuvieron resultados donde a mayor proporción de vermicompost se observó un mayor efecto benéfico sobre el crecimiento y desarrollo de *Stevia*. Las plantas de *Stevia* crecieron mejor con las mayores concentraciones de vermicompost (75 y 100 %), debido a la considerable disponibilidad nutrimental.

Por lo tanto, parece muy probable que la vermicompost estimulan el crecimiento de la planta más allá del generado por los elementos nutritivos minerales, debido a los efectos de las sustancias húmicas presentes en las vermicompost o debido a los reguladores de crecimiento de la planta asociados con los ácidos húmicos (Atiyeh *et al*., 2002).

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos de la caracterización física, química y microbiológica de las diferentes proporciones de vermicompost:arena, se observó que conforme dichas proporciones aumentan, las propiedades físicas y químicas de los mismos, los grupos microbianos y las UFC que resulten de ellas, se verán modificados, afectando las variables agronómicas del cultivo de Stevia *rebaudiana* Bertoni.

La proporción 45% vermicompost + 55% arena (tratamiento 3) destacó por tener un desarrollo equitativo de bacterias benéficas presentes en la rizosfera de la Stevia *rebaudiana* Bertoni, debido a sus propiedades físicas y químicas, hubo mayor supervivencia de grupos microbianos tales como Pseudomonas, Bacterias fijadoras de Nitrógeno, Bacilos, Hongos, Actinomicetos, aunque estos últimos, se presentaron en mayor cantidad en los seis tratamientos.

Así mismo, esta proporción (45:55), mostro los mejores resultados para las variables de Materia Seca, altura de planta, diámetro de tallo, longitud de raíz, TCC, e IAF, en la producción de Stevia *rebaudiana* Bertoni.

Referencias

Acuña, Oscar.2003. El uso de Biofertilizantes en agricultura. Laboratorio de Bioquímica de Procesos Orgánicos. Centro Investigaciones Agronómicas. Universidad Costa Rica. Pp. 155.

Aíra, Manuel. Domínguez, Jorge. 2010. Las lombrices de tierra y los microorganismos: desentrañando la caja negra del vermicompostaje. Acta Zoológica Mexicana. Número especial 2: 385-395. ISSN 0065-1737. Pp. 11.

Alarcón, Alejandro. Ferrera-Cerrato, Ronald. 2000. Biofertilizantes: importancia y utilización en la agricultura. Agricultura Técnica en México. Vol 26. Núm. 2. Julio-Diciembre. Pp. 191-203.

Arancon, N.Q., Lee, S., Edwards, C.A., Atiyeh, R.M., in press. Effects of humic acids and aqueous extracts derived from cattle, food and paper-waste vermicomposts on growth of greenhouse plants. Pedobiologia.

Arteaga, Mayra. Garcés, N. Novo, R. Guridi, F. Pino, P.A. Acosta, Melba. Pasos, Mabel. Besù, Darling. 2007. Influencia de la aplicación foliar del bioestimulante liplant sobre algunos indicadores biológicos del suelo. Rev. Protección Veg. Vol. 22. No. 2. Pp. 110-117.

Atiyeh, R.M., Arancon, N., Edwards, C.A., Metzger, J.D., 2000a. Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of green house tomatoes. Bioresource Technology 75, 175–180.

Atiyeh, R.M., Subler, S., Edwards, C.A., Bachman, G., Metzger, J.D., Shuster, W., 2000b. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticulture container media and soil. Pedobiologia 44, 579–590.

Atiyeh, R.M., Edwards, C.A., Subler, S., Metzger, J.D., 2000c. Earthworm processed organic wastes as components of horticultural potting media for growing marigolds and vegetable seedlings. Compost Science and Utilization 8 (3), 215–223.

Atiyeh, R.M., Dominguez, J., Subler, S., Edwards, C.A., 2000d. Changes in biochemical properties of cow manure processed by earthworms (Eisenia andreii) and their effects on plant-growth. Pedobiologia 44, 709–724.

Atiyeh, R.M., Lee, S., Edwards, C.A., Arancon, N.Q., Metzger, J.D., 2002. The influence of humic acids derived from earthwormsprocessed organic wastes on plant growth. Bioresource Technology 84, 7–14.

Atiyeh, R.M., Subler, S., Edwards, C.A., Metzger, J., 1999. Growth of tomato plants in horticultural potting media amended with vermicompost. Pedobiologia 43, 1–5.

Bastida-Tapia, A. 2013; Los factores ambientales y su influencia en el desarrollo de los cultivos bajo cubiertas. Pp. 82-120.

Benintende, S. Sánchez, C. 2003. Microorganismos del suelo. Universidad Nacional de entre ríos. Facultad de ciencias Agropecuarias. Pp.4.

Carrascal, R. 2010. Manual del cultivo de la Stevia para agricultores. Asociación Española de Stevia Rebaudiana. Pp.15.

Carrillo-Castañeda, G., Juárez-Muñoz, J., & Tijerina-Castro, G. D., 2011. Aislamiento de microorganismos inocuos productores de sideróforos para sistemas de fitorremediación. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 13(3).

Cervantes Flores, Miguel Ángel. Profesor Titular del Centro de F. P. Campomar http://www.infoagro.com/hortalizas/microorganismos_beneficiosos_cultivos.htm. Fecha de consulta 23 de mayo 2017.

Clementelli, A. y Zevallos, R. Fertilización nitrogenada mineral y orgánica en el cultivo de Stevia (Stevia rebaudiana Bertoni). Univ. Cienc. Soc. [online]. 2009, vol.1, n.1, pp. 47-50. ISSN 8888-8888.

Coyne, Mark. 2000. Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. Editorial Paraninfo. ITP An International Thomson Publishing company Magallanes, 25; 28015. Madrid. España. ISBN: 84-283-2648-7. Pp. 416.

Daza, Martha. Díaz, Jefferson. Aguirre. Esteban. Urrutia, Norberto. 2015. Efecto de abonos de liberación lenta en la lixiviación de nitratos y nutrición nitrogenada en Stevia. Revista colombiana de ciencias hortícolas - Vol. 9 - No. 1 - pp. 112-123.

De la Cruz-Lázaro, E. Estrada-Botello, Ma. Robledo-Torres, V. Osorio-Osorio, R. Márquez-Hernández, C. Sánchez-Hernández, R. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. Universidad y Ciencia; 25 (1). Pp. 59-67.

Domínguez, J. Lazcano, C. y Gómez-Brandón, M. 2010. Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo; Acta Zoológica Mexicana (n.s.). Número Especial 2. ISSN 0065-1737. Pp.359-371. Departamento de Ecología y Biología Animal. Universidad de Vigo. Vigo E-36310. España.

Duran, L. Henríquez, C. 2012. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. Agronomía Costarricense 31(1). ISSN: 0377-9424. Pp.41-51. Sede del Atlántico. Universidad de Costa Rica. Sede del Atlántico y Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica.

Duran, S. Rodríguez, M. Cordon, K. Record, J. 2012. Estevia (Stevia rebaudiana) edulcorante natural y no calórico. Rev Chil Nutr Vol. 39, Nº4. Pp. 203-206. Universidad Autónoma de Chile.

Eulloque Guerrero, Jesús. 2013. Caracterización física, química, biológica y valoración agronómica del vermicompost de eisenia foetida obtenido del contenido ruminal de bovino. Tesis. Instituto Politécnico Nacional. Centro interdisciplinario de investigación para el desarrollo integral regional Michoacán. México. Pp.93.

Ferrera-Cerrato, Ronald. Alarcón, Alejandro. 2007. Microbiologías agrícola: hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico y planta-microorganismo. México. Trillas. ISBN 978-968-24-7810-9. Pp. 568.

Grama. Grupo de Acción para el Medio Ambiente2006. Manual de vermicompostaje. C/Ángel. 31ª. Dcha. Madrid. 28005. Pp.16.

Hernández, Jaqueline. Guerrero, Francisco. Mármol, Luis. Bárcenas, Juan. Salas, Ender. 2008. Caracterización física según granulometría de dos vermicompost derivados de estiércol bovino puro y mezclado con residuos de fruto de la palma aceitera. INTERCIENCIA. Vol. 33. No. 9. Pp 668-671.

Higa, Teruo. Parr, James F. 2013. Microorganismos benéficos y efectivos para una agricultura y medio ambiente sostenible. Universidad de Ryukyus, Okinawa Japón.

Huerta-Hernández, A. 2016. Agricultura Protegida. Agroentorno. Pp. 31-34.

INIFAP. 2011. Programa estratégico para el desarrollo rural sustentable de la región sur-sureste de México: Trópico húmedo. Paquete tecnológico Estevia (Stevia rebaudiana). Establecimiento y mantenimiento

Jarma, A. Rengifo, T. Araméndiz-Tatis, H. 2006. Fisiología de Estevia (Stevia rebaudiana) en función de la radiación en el Caribe colombiano. II. Análisis de crecimiento. Agronomía Colombiana; 24(1). Pp. 38-47.

Landazuri, P. Tigrero, J. 2009. Boletín técnico. Edición especial. Stevia rebaudiana Bertoni, una planta medicinal. Escuela Politécnica del Ejército. Departamento de ciencias de la vida. Carrera de ingeniería en ciencias agropecuarias. ISBN-978-9978-301-05-0. Pp. 34.

Maathuis, F. J., 2009. Physiological functions of mineral macronutrients. Current opinion in plant biology, 12(3), 250-258.

Moreno-Reséndez, A. Aguilar Durán, J. Luévano González, A. 2011. Características de la agricultura protegida y su entorno en México. Revista Mexicana de Agronegocios. Vol. XV. Núm. 29. Julio-diciembre. Pp. 763-774.

Sociedad Mexicana de Administración Agropecuaria A.C. Universidad Autónoma de la Laguna. UAAAN Torreón. México.

NMX-FF-109SCFI-2008. Humus de lombriz (Lombricomposta) – Especificaciones y métodos de prueba.

Pire R, Pereira A. 2003. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. Propuesta Metodológica. Bioagro 15: 55-63.

Ramírez-Gama Rosa María, et al. 2015. Técnicas básicas de microbiología y su fundamento. Trillas. México. UNAM DGAPA. ISBN 978-607-17-2200-3. Pp. 375.

Raviv, M. O., J. Katan, Y. Hadar, A. Yogev, S. Medina, A. Krasnovsky, and H. Ziadna. 2005. High- nitrogen compost as a medium for organic container grow crops. BioresourTechnol.96: 419-427.

Rippy J. f. M., Peet., M. M., Louis, F., L. and Nelson, P. V. 2004. Plant development and Harvest yield of greenhouse tomatoes in six organic growing systems. Hort science 39(2):223-229.

Romero-Figueroa, José C. Rodríguez-Mendoza, Ma. De las Nieves. Escalante-Estrada, J. Alberto S. Gutiérrez-Castorena, Ma. Del Carmen. Peña-Valdivia, Cecilia. Cueto-Wong, José A. Burguete-Hernández, Esteban. Dinámica de crecimiento de Stevia cultivada en sustratos orgánicos en invernadero. 2017. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 40 (3) 2017. Pp. 341-350.

Salazar Loaiza, Aura María. Ordoñez Guerrero, Corina Anabel. 2013. Aislamiento e identificación de actinomicetos fijadores de nitrógeno en suelo del jardín botánico de la universidad tecnológica de Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnología. Escuela de tecnología química. Tesis. Pp. 115.

Salgado-Cordero, L. 2013. Requerimientos de nitrógeno en la producción de Stevia rebaudiana Bertoni en hidroponía e invernadero. T e s i s presentada como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Postgrado de Edafología. Campus Montecillo. Pp. 50.

Santos, B. Obregón-Olivas, H. Salamé-Donoso, T. 2010. Producción de Hortalizas en Ambientes Protegidos: Estructuras para la Agricultura Protegida. Departamento de Horticultural Sciences. UF/IFAS Extensión. (UF/IFAS). Pp. 1-4.

Soberon, Gloria. Microbios. Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México http://www.biblioweb.tic.unam.mx/libros/microbios/index.html Editores: Dra. Esperanza Martínez Romero y Julio César Martínez Romero ISBN 968-36-8879-9.

Terry Alfonso, Elein. Leyva, ángel. Hernández, Annia. 2005. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (Lycopersicon esculentum, Mill). Rev. Colomb. Biotecnol. Vol. VII. No. 2. Diciembre 2005. Pp. 47-54.

Vázquez, L. L. Murguido, C. Elizondo, A. I. Elosegui, O. Morales, J. F. 2007. Control biológico de la mosca blanca (Bemissia tabaco). Instituto de Investigacion de sanidad Vegetal (INISAV). (En línea). http://webapp.ciat.org/ipm/pdfs/control_biologico_mosca_blanca.pdf.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

CONTAMINACIÓN POTENCIAL DE METALES PESADOS EN SUELOS DE LA COMARCA LAGUNERA, MEXICO.

Urbina-Martínez MA. [1]*; Luna-Anguiano J.[1]; Buendía García A.[1]; Covarrubias- Castro R.[1] Rivera-González MJ.[1]; Becerra-Delgado NG.[1]

[1]**Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL).** Periférico y carretera a Santa Fe s/n. Col. Valle verde, Torreón Coahuila. CP. 27000.

*Autor por correspondencia: drlunajesusluna@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el año 2017, en tres localidades, donde fueron tomadas las muestras del suelo: San Miguel Municipio de Matamoros Coahuila, Cd. Juárez Municipio de Lerdo Durango, y en Venecia Durango, Municipio de Gómez Palacio Dgo. Las muestras de suelo fueron analizadas en el laboratorio de suelos, ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, en el Municipio de Torreón, Coahuila, México. Durante los meses de enero a marzo del mismo año. El objetivo principal consistió, en caracterizar el estado actual de los suelos agrícolas con cultivos hortícolas de la comarca lagunera, al determinar el contenido de cinco metales pesados. En arsénico la localidad de Matamoros resulto con el mayor valor 0.18 ppm, para cadmio, Cd. Juárez resulto con el valor más alto 0.49 ppm, en concentraciones de cobre el mayor valor resulto la localidad de Matamoros con 8.2 ppm, para el plomo, el mayor valor fue para la localidad de Cd. Juárez con 27.83 ppm y para el Zinc, la mayor concentración se encontró en Venecia con 22.11 ppm. Lo anterior muestra que estos suelos presentan altas concentraciones de metales pesados.

Palabras clave: Biodisponibilidad; fitotoxicos; degradación química; suelo.

INTRODUCCIÓN

Los metales pesados se han convertido en un tema actual tanto en el campo ambiental como en el de salud pública. Los daños que causan son tan severos y en ocasiones tan ausentes de síntomas, que las autoridades ambientales y de salud de todo el mundo ponen mucha atención en minimizar la exposición de la población, en particular de la población infantil, a estos elementos tóxicos (Valdés Perezgasga y Cabrera Morelos, 1999). La concentración de metal total en el suelo no se corresponde necesariamente con la biodisponibilidad del metal. La biodisponibilidad de los metales pesados depende de un número de factores físicos y químicos en el suelo. Estos incluyen las propiedades del suelo como; PH, contenido de materia orgánica, concentraciones de sulfatos, carbonatos, hidróxidos, textura del suelo y contenido de arcilla. La contaminación del suelo por metales pesados, consiste en la degradación química que provoca la pérdida parcial o total de la productividad del suelo, como consecuencia de la acumulación de sustancias tóxicas, hasta alcanzar la concentración que supera el poder de amortiguación natural del suelo y que modifica negativamente sus propiedades. Esta acumulación se realiza generalmente como consecuencia de

actividades humanas exógenas, aunque también se puede producir de forma natural o endógena cuando los procesos de edificación liberan elementos químicos contenidos en las rocas y los concentran en el suelo alcanzando niveles tóxicos. El problema en la comarca lagunera, es provocado por elementos pesados tales como el plomo, cadmio y arsénico, entre otros, elementos altamente dañinos para los humanos. Sin embargo, de acuerdo a estudios realizados con anterioridad, a denuncias y a las acciones que se han realizado en torno a este problema, se tiene como actor principal al plomo. Esto no significa, que el plomo sea el elemento más tóxico de estos elementos, sino por el contrario, es de los más utilizados por la humanidad, y más ampliamente, por ende es el que causa más problemas y más preocupación en todo el mundo. Por lo que es importante estar conscientes de esto y no tener la impresión de que el plomo, es el único contaminante que nos preocupa, principalmente dentro de los elementos pesados (Valdés Perezgasga y Cabrera Morelos ,1999).

Las concentraciones de algunos elementos metálicos [As (V), Cd (II), Co (II), Cu (II), Hg (II), Mn (II), Ni (II), Pb (II) y Zn (II)], ejercen efectos fitotóxicos en cultivos en solución. A pesar de que el aluminio (Al) es un metal traza importante, no fue incluido en el estudio actual, por sus resultados en los efectos tóxicos de la acidificación del suelo, ni de traza metales raros (como el Ga, Di-s, y Sc) que si fueron incluidos. Además, la toxicidad de Fe se limita a suelos saturados de agua, y si bien, puede ser de particular interés en las condiciones de arroz, por lo que fue excluido del presente estudio. Para el arsénico, sólo arseniato, As (V), se consideró; esta especie domina en condiciones aerobias. Dado el amplio rango de concentraciones que se han divulgado para ser tóxicos, los criterios se establecieron por primera vez, para minimizar la influencia de las condiciones experimentales en la aparente "toxicidad" de los nueve metales traza. Esta revisión de la literatura incluye únicamente los resultados de estudios que cumplen con dichos criterios. La importancia de la hiperacumulación, se da por que los metales pesados están presentes de forma natural en los suelos, pero en los últimos años las actividades industriales y la deposición de residuos tóxicos de todo tipo, han contribuido a la acumulación de estos elementos en los suelos. A menudo, la contaminación por metales pesados está directamente causada por la actividad industrial y minera, pero los casos más graves se han dado de forma accidental. La presencia en el ambiente de metales como Pb, Hg, Cd, As, Se y Cr, es muy dañina para la salud humana y para la mayoría de los organismos vivos. El objetivo principal del presente trabajo, consistió, en caracterizar el estado actual de los suelos agrícolas con cultivos hortícolas de la comarca lagunera, al determinar el contenido de cinco metales pesados.

Los metales pesados son parte fundamental de las fuentes antropogénicas provenientes de desechos domésticos, agrícolas e industriales, los cuales son peligrosos para la biota marina, el hombre y el deterioro ambiental en general (Acosta *et al.*, 2002; Amat-Infante *et al*., 2002; González-Lozano *et al*., 2006). Constituyen un grupo cercano a los 40 elementos de la tabla periódica que tienen una densidad mayor o igual a 5 g/cm^3. El hombre los ha extraído de los depósitos subterráneos, los ha fundido, refinado y convertido en bienes de consumo que, después de usados, desecha. Durante cada una de estas operaciones se liberan metales al ambiente (Wong *et al*., 2006). El rasgo distintivo de la fisiología de los metales pesados, es que aún cuando muchos de ellos son esenciales para el crecimiento de los seres vivos como; Na, K, Mg, Ca, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, y Mo, se ha reportado que también tienen efectos tóxicos sobre las células, principalmente como resultado de su capacidad para alterar o desnaturalizar las proteínas (Cañizares-Villanueva, 2000). El desarrollo tecnológico, el consumo masivo e indiscriminado y la producción de desechos principalmente urbanos, ha provocado la presencia de muchos metales en cantidades importantes en el ambiente,

provocando efectos nocivos sobre la salud y el equilibrio de los ecosistemas (Cobelo-García *et al.*, 2005). La acumulación de éstos, sobre todo en áreas urbanas, genera la dispersión de gran diversidad de compuestos en suelos, aguas superficiales y aire, con la consecuente filtración de los mismos hacia las aguas subterráneas: Los acuíferos que constituyen la reserva de agua potable (Suarez y Reyes, 2002).

Los metales pesados cada vez amenazan más nuestra salud, el envenenamiento por estos, es la acumulación tóxica de los mismos en los tejidos blandos del cuerpo (Awofolu *et al.*, 2005; Hu *et al.*, 2007), ocurre cuando las cantidades tóxicas de los metales pesados, son Inhaladas como polvo, gases o vapores, ingeridas a través de la comida o bebida en sobredosis (accidental o intencional) o suplementos alimenticios/vitaminas (Cervantes *et al.*, 2006). Puede tener lugar a lo largo de los años o en cuestión de minutos (Meneses-González *et al.*, 2001; Galván-Bobadilla *et al.*, 2005). El sistema suelo-planta se considera un sistema abierto, que se encuentra sujeto a aportes, tales como contaminantes, fertilizantes y pesticidas, y también a pérdidas, mediante lixiviación, erosión o volatilización. La incorporación de los metales pesados por las plantas se produce fundamentalmente desde el suelo, a través de las raíces, y está influenciada por varios factores entre los que destacan el tipo de suelo, la temperatura, pH, aireación, condiciones redox y fertilización, la especie vegetal, el momento del desarrollo y el sistema radicular, entre otros. Aparte de la absorción que tiene lugar por medio de las raíces, las plantas también pueden incorporar cantidades significativas de algunos elementos a través de la absorción foliar. La actividad industrial puede contaminar el suelo vía aérea, a través de la depositación de material particulado y emisiones gaseosas, como ocurre con las fundiciones y el transporte. También puede contaminar a través de aguas residuales como ocurre con la minería del cobre, industria automotriz, curtiembre, industria de la celulosa, galvanoplastia y otras (Carrasco, 2005).

La agricultura intensiva es una de las actividades humanas que tienen mayor repercusión en la contaminación del suelo por metales pesados, debido al empleo de fertilizantes y plaguicidas de forma prolongada. Los fertilizantes fosforados pueden contener Zn, As, Cd y Pb debido a su presencia en la roca fosfórica. El uso de ciertos plaguicidas ha contribuido a aumentar los niveles de As, Pb, Hg, Cu, algunos poseen concentraciones de Zn que pueden superar el 25%. También pueden estar presentes en estiércoles de animales debido al uso de ciertos compuestos a base de dichos elementos en la dieta del animal para evitar ciertas enfermedades.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de suelos ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, en el municipio de Torreón, Coahuila, México. Se eligieron tres localidades de la Comarca Lagunera, la primera localidad se ubica en un área de siembra de hortalizas bajo un régimen de riego con agua residual, la cual se encuentra en el ejido San Miguel Municipio de matamoros Coahuila. La segunda localidad está ubicada en un área de siembra de hortalizas bajo agricultura orgánica, específicamente donde se realicen aplicaciones de estiércol solarizado, las muestras se tomaron en el ejido Venecia Durango, en el municipio de Gómez Palacio. La tercera localidad se encuentra en un área de cultivo hortícola convencional donde se emplean prácticas agrícolas de fertilización química y los riegos son aplicados con agua proveniente del rio Nazas, Ubicada en Cd. Juárez En el municipio de Cd. Lerdo Durango. Los puntos de muestreo y su localización geográfica son los siguientes: San Miguel W: 103° 13′ 41″, N: 25° 31′ 40″ a 1120 msnm, Cd. Juárez W: 103° 44′ 033”, N: 25° 31′ 40″ a 1150

msnm y Venecia W: 103° 22´ 60´´, N: 25° 46´ 23´´ a 1139 msnm.
El muestreo se realizó utilizando la técnica al azar tomando muestras de 0-15, 15-30, 30-60, en cada uno de los tres puntos, las muestras se obtuvieron en el mes de Julio del 2017. Se tomaron 3 muestras al azar al inicio del experimento para determinar las características en las que se encontraba el suelo, se tomaron las muestras en bolsas de plástico de 2 kg de capacidad y se transportaron en hieleras para después ponerlas a secar y una vez que perdieron la humedad se tamizaron para posteriormente realizar los análisis respectivos.
Para llevar a cabo los análisis de los metales pesados en el suelo de las tres localidades estudiadas se utilizaron 5 g de la muestra de cada sitio y éstas se leyeron directamente en el espectrofotómetro de absorción atómica modelo Perkin Elmer 2380. Para obtener la concentración de Arsénico en el sedimento se utilizó el test marca Merk. El análisis estadístico para la interpretación de los resultados se realizó mediante el paquete computacional (SAS), Statistical Analysis System Ver. 6.18 (1998). Se utilizó un diseño estadístico en parcelas divididas en localidades o bloques al azar en localidades y 10 repeticiones con 3 profundidades. Las variables a evaluar fueron: cantidades en ppm de Arsenico (As), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Plomo (Pb) y Zinc (Zn).

RESULTADOS Y DISCUSIÓNES

El Cuadro 1, representa el análisis de varianza para la determinación de arsénico, donde se reportó diferencia estadística, altamente significativa entre localidades al ($P \leq 0.01$), la prueba de medias mostro una diferencia mínima significativa (DMS) de 0.0131 donde las concentraciones más altas de arsénico los reporta la localidad de Matamoros con un valor de 0.18 partes por millón (ppm), seguido de la localidad de Cd. Juárez con valores de 0.15, y la localidad de Venecia reporto la concentración mínima con 0.13 ppm. (Figura 1). La exposición a largo plazo, a cantidades bajas de arsénico en el agua de bebida, se asocia a la incidencia de cánceres de piel, pulmón, vejiga urinaria, riñón, e hígado. Esto ocasionó que en los Estados Unidos de América por ejemplo, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) revisara por recomendación de la Academia Nacional de Ciencias de este país, la norma para arsénico en el agua de consumo y fue en el año 2001, cuando definitivamente se consideró reducir de 50 microgramos por litro a 10 microgramos por litro, la concentración de arsénico en agua para beber, el motivo explícito de dicho ajuste fue, que permitiría disminuir el número de varios tipos de cáncer y de otras enfermedades entre ellas diabetes e hipertensión. Otro factor importante sobre el arsenicismo en la Laguna, que se ha convertido en ejemplo clásico de la literatura médica de todo el mundo, es el envenenamiento con metales y metaloides en el agua, la leche y otros productos de consumo humano.

Cuadro 1.- Cuadrados medios del análisis de varianza para la concentración de elementos pesados en tres localidades. DICAF-UJED. 2017.

Localidades	Profundidad	As	Cd	Cu	Pb	Zn
San Miguel	0-15	0.20	0.29	12.37	27.06	23.76
San Miguel	15-30	0.20	0.25	8.37	24.28	19.05
San Miguel	30-60	0.15	0.15	4.51	24.28	16.38
Cd. Juárez	0-15	0.15	0.50	7.58	29.20	23.73
Cd. Juárez	15-30	0.15	0.50	7.03	27.33	22.24
Cd. Juárez	30-60	0.15	0.50	6.18	26.75	18.57
Venecia	0-15	0.13	0.35	7.35	24.25	25.26
Venecia	15-30	0.13	0.30	11.15	25.24	18.24

Venecia	30-60	0.15	0.58	5.22	17.58	22.58

Cuadro 2.- Promedios generales de los análisis químicos del sedimento a tres profundidades. DICAF-UJED. 2017.

F. V.	GL	As	Cd	Cu	Pb	Zn
Loc	2	0.01**	0.55**	14.44**	228.39**	45.23**
P	9	4.93	0.00	2.60	0.04	0.13
Pr	9	0.00	0.01	123.27**	131.94**	2228.09**
Loc*Par	18	0.00	0.00	1.61	0.07	0.09
Par*Pr	18	0.00	0.00	0.81	0.08	0.09
Error	40	0.00	0.01	0.81	4.60	5.78
C.V.		13.28	30.05	30.63	8.53	11.37

*Los valores son promedios de 3 muestras y están expresados en partes por millón (ppm).

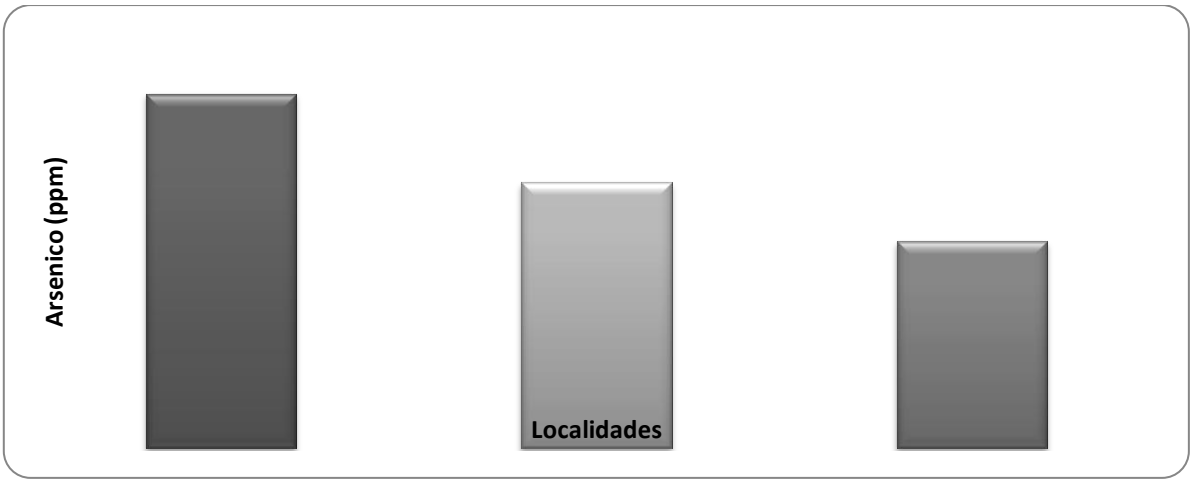


Figura 1.- Concentración promedio de arsénico en tres localidades de la Comarca Lagunera. DICAFUJED.2017.

Para el cadmio (Cd), el análisis de varianza (Cuadro 1), no reporto diferencia estadística entre parcelas ni entre profundidades, solo se encontró diferencia estadística altamente significativa entre localidades con (P≤0.01), en la prueba de medias se encontró una dms=0.0717, encontrándose la mayor concentración en la localidad de Cd. Juárez con un valor de 0.49 ppm, las localidades de Matamoros y Venecia reportan valores de 0.40 ppm y 0.23 ppm respectivamente (Figura 2). En Toyama, Japón, la ingesta de arroz que fue regado con agua contaminada con cadmio, produjo una entrada al cuerpo de unos 300 microgramos diarios de ese metal. El cadmio provenía de una explotación minera de las cercanías. La enfermedad se la conoce como (ay ay) por lo dolorosos síntomas de las fracturas múltiples producidas por osteomalicia (reblandamiento de los huesos). En

la década de 1940, durante la fabricación de baterías alcalinas de níquel-cadmio, varias personas murieron en Suecia por la acción del óxido de cadmio, cuya concentración en el aire era de algunos miligramos por metro cúbico. En Shipham, una población cercana a una mina de zinc en Inglaterra, se observó que los habitantes tenían signos de toxicidad por cadmio, presentando en el hígado unos niveles de metal cinco veces superior a los encontrados en habitantes de áreas no contaminadas. Las verduras cultivadas en el área cultivada contenían más de 7 mg/kg de peso seco, concentración muy superior al contenido de cadmio encontrado en la intoxicación de Japón.

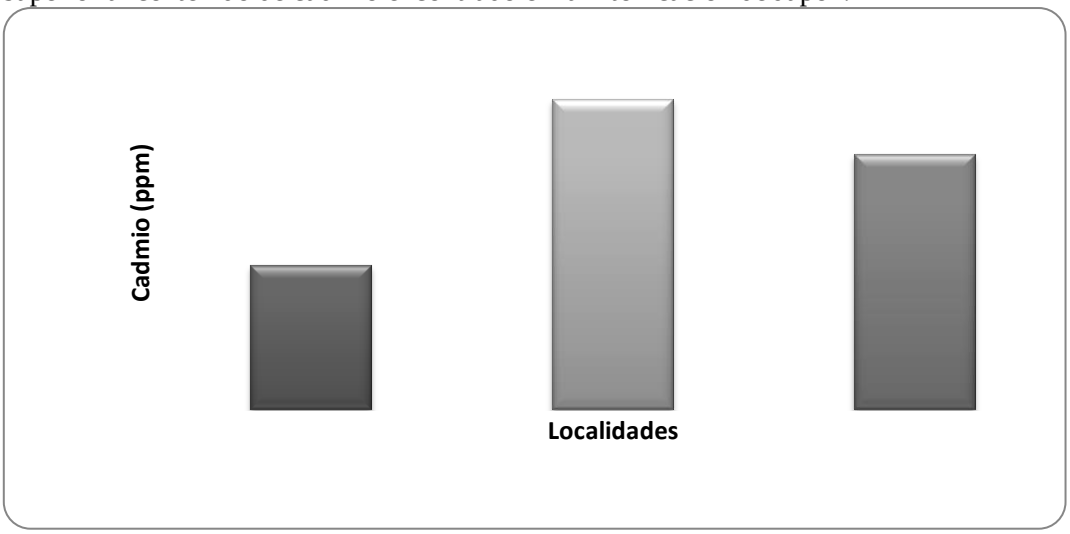


Figura 2.- Concentración promedio de cadmio en tres localidades de la Comarca Lagunera. DICAF-UJED.2017.

Para el cobre (Cu), el análisis de varianza, reporto diferencia estadística altamente significativa ($P \leq 0.01$) entre localidades y profundidades (Cuadro 1), sin embargo, al realizar la prueba de medias entre localidades, esta nos muestra que estadísticamente son iguales, reportando una dms=1.48, los valores que se reportaron fueron 8.2, 7.9 y 6.9 ppm correspondientes a Matamoros, Venecia y Cd. Juárez respectivamente (Figura 3a). Para las profundidades (Cuadro 2) se encontró una dms= 1.48, encontrándose estadísticamente las profundidades de 0-15 y 15-30 cm con valor de 8.8 ppm, la profundidad de 30-60 cm mostro un valor de 5.3 ppm, figura 3b. El Cobre puede seriamente influir en el proceso de ciertas tierras agrícolas, dependiendo de la acidez del suelo y la presencia de materia orgánica. A pesar de esto, el estiércol que contiene Cobre es todavía usado. El Cobre puede interrumpir la actividad en el suelo, su influencia negativa en la actividad de microorganismos y lombrices de tierra. La descomposición de la materia orgánica puede disminuir debido a esto. Cuando los suelos de las granjas están contaminados con Cobre, los animales pueden absorber concentraciones de Cobre que dañan su salud. Cuando el Cobre termina o se deposita en el suelo, este es fuertemente atado a la materia orgánica y minerales, este no viaja muy lejos antes de ser liberado y es difícil que entre en el agua subterránea. Sin embargo, en el agua superficial, el cobre puede viajar largas distancias, tanto suspendido sobre las partículas de lodos como iones libres, no se rompe en el ambiente y por eso se puede acumular en plantas y animales, cuando este es encontrado en los suelos.

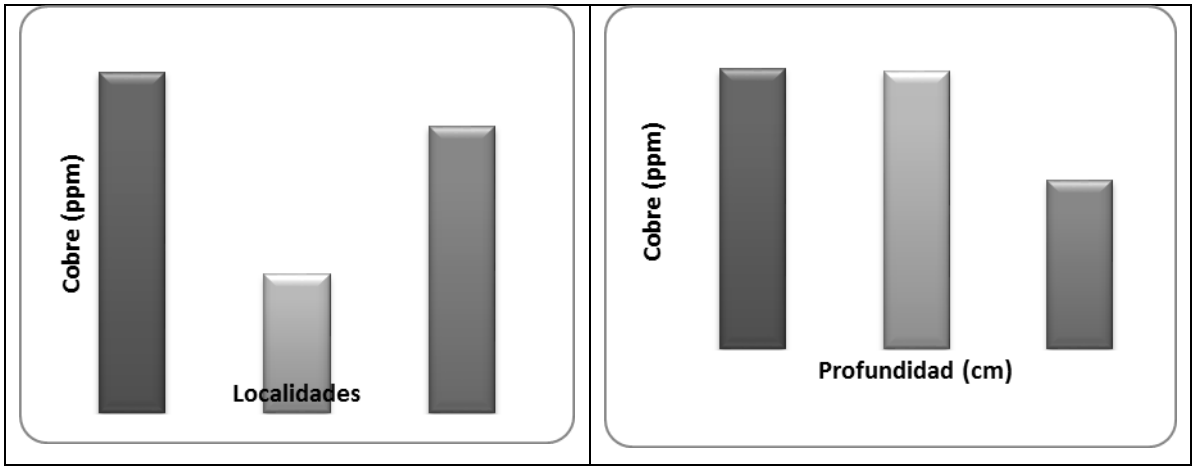


Figura 3.- Concentración promedio de cobre en Localidades (a) y Concentración de cobre en profundidades de suelo (b). DICAF-UJED.2017.

El análisis de varianza (Cuadro 1), muestra diferencia estadística altamente significativa (P≤0.01), para el Plomo, entre localidades y entre profundidades, con una dms igual para ambos casos correspondiente a un valor de 1.34. La figura 4, muestra el comportamiento de las localidades, encontrándose el valor mayor de concentraciones de plomo en la localidad de Cd. Juárez, con un valor de 27.83 ppm, el segundo valor, más alto fue Matamoros con un valor de 25.27 ppm, el valor menor lo reporta Venecia con 22.32 ppm. Para el caso de las profundidades. Cuadro 2, la mayor concentración de plomo se encuentra en la primer y segunda profundidad siendo estadísticamente iguales con valores promedio de 26.93 y 25.67 ppm respectivamente la profundidad 3 (30-60 cm) alcanzaron un valor de 22.83 ppm, la dms reportada es de 1.34, figura 7. En la Escuela de Medicina de Dartmouth, concluyeron que, en Torreón, existe plomo en niveles similares a los de otros sitios contaminados del mundo y superiores a lo que establece la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) para considerarlos seguros. Otras investigaciones realizadas desde 1962, por investigadores de la Secretaría de Salud, documentaron un caso de arsenicismo agudo en Torreón. Este episodio, que causó la muerte de un adulto, fue documentado en la Revista Salud Pública de México en 1964. El mismo año, el doctor Gonzalo García Vargas, toxicólogo de la Universidad Juárez del estado de Durango, en el ejido Venecia municipio de Gómez Palacio, publicó un estudio que reportaba niveles de plomo en sangre de tres grupos de niños. Estos niveles subían a medida que la escuela donde acudían estaba más cercana a la planta de Peñoles. Los niveles de plomo en aire también aumentaron en el mismo sentido. El plomo en el agua resultó bajo en los tres casos.

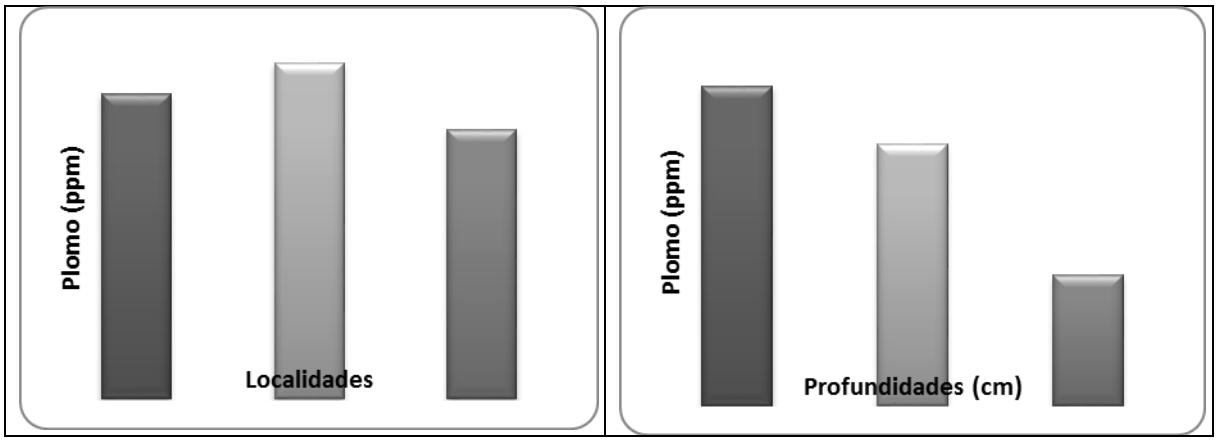


Figura 4.- Concentración promedio de plomo en Localidades (a) y Concentración de plomo en profundidades de suelo (b). DICAF-UJED.2017.

El Zinc es un elemento traza que es esencial para la salud humana. Cuando las personas absorben muy poco Zinc, estos pueden experimentar una pérdida del apetito, disminución de la sensibilidad, el sabor y el olor, pequeñas llagas y erupciones cutáneas. La acumulación del Zinc puede incluso producir defectos de nacimiento. Incluso los humanos pueden manejar proporcionalmente largas cantidades de Zinc, demasiada cantidad de Zinc puede también causar problemas de salud eminentes, como es úlcera de estómago, irritación de la piel, vómitos, náuseas y anemia. Niveles alto de Zinc pueden dañar el páncreas y disturbar el metabolismo de las proteínas, y causar arterioesclerosis. Exposiciones al clorato de Zinc intensivas pueden causar desordenes respiratorios. El análisis de varianza para el Zinc, muestra diferencia estadística altamente significativa ($P \leq 0.01$) entre localidades y entre profundidades, (Cuadro 1), la comparación de medias, reporto una dms de 1.51 en las localidades, donde se obtuvo el mayor valor para la localidad de Venecia y Cd. Juárez, siendo estas, estadísticamente iguales con valores de 22.11 y 21.55 ppm, respectivamente. La localidad de Matamoros, mostro un valor de 19.76 ppm, Cuadro 2. Las profundidades estadísticamente iguales en esta variable fueron 15-30 y 30-60 cm (segunda y tercera) con valores de 19.84 y 19.28 ppm, siendo estas menores a la primera profundidad que alcanzó un valor de 24.31 ppm, Figura 8, la dms encontrada fue de 1.51. El Zinc es una substancia muy común que ocurre naturalmente. Muchos alimentos contienen ciertas concentraciones de Zinc, el agua potable, también contiene cierta cantidad de Zinc, la cual puede ser mayor cuando es almacenada en tanques de metal. Las fuentes industriales o los emplazamientos para residuos tóxicos pueden ser la causa del Zinc en el agua potable llegando a niveles que causan problemas. En el ambiente de trabajo, el contacto con Zinc, puede causar la gripe conocida como la fiebre del metal, esta pasará después de dos días y es causada por una sobresensibilidad. El Zinc puede dañar a los niños que no han nacido y a los recién nacidos. Cuando sus madres han absorbido grandes concentraciones de Zinc, los niños pueden ser expuestos a éste a través de la sangre o la leche de sus madres.

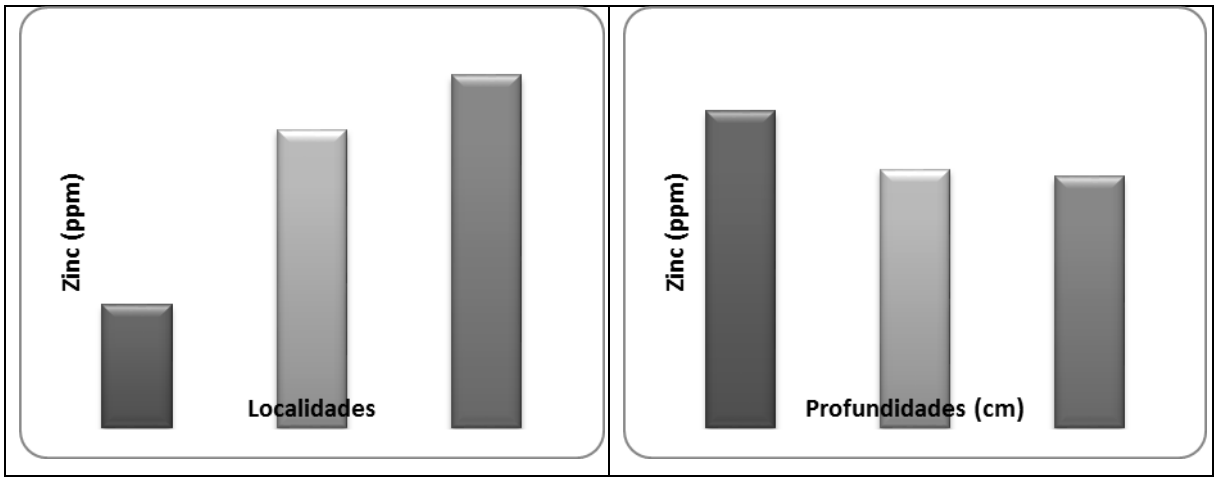


Figura 5.- Concentración promedio de zinc en Localidades (a) y Concentración de zinc en profundidades de suelo (b). DICAF-UJED.2017.

CONCLUSIONES

Se caracterizó el estado actual de los suelos agrícolas, con cultivos hortícolas de la comarca lagunera, al determinar el contenido de cinco metales pesados. En las tres localidades muestreadas se encontraron altas concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc. Lo que deja de manifiesto el alto grado de contaminación industrial de estos suelos.

BIBLIOGRAFIA

Acosta, V., C. Lodeiros, W. Senior y G. Martínez. 2002. Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. Interciencia. Vol. 27. N° 012. p.p. 686-690.

Amat-Infante, P. D., A. Pierra-Conde, I. Casals-Blet y D. Vázquez-Avella. 2002. Estudio de la concentración de metales pesados en sedimentos y ostiones en la bahía de Manzanillo, Cuba. Journal of the Mexican Chemical Society. Vol. 46. N°004. p.p. 359-361.

Awofolu, O. R., Z. Mbolekwa, V. Mtshemla, y O. S. Fatoki. 2005. Levels of trace metals in water and sediment from Tyume river and its effects on an irrigated farmland. Water S. A. Vol. 31. N° 1. p.p. 87-94.

Cañizarez-Villanueva, R.O. 2000. Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. Revista Latinoamericana de Microbiologia. Vol. 42. p.p. 131-143.

Carrasco, A. 2005. (En línea) Metales pesados en el suelo. (http://www2.sag.gob.cl/recursos-naturales/criterios-calidad-suelo). (Consultada el 25 de Septiembre del 2007).

Cervantes, C., A. E. Espino-Saldaña, F. Acevedo-Aguilar, I. L. León-Rodriguez, M. E. Rivera-Cano, M. Ávila-Rodriguez, K. Wróbel- Kaczmarczyc, K. Wróbel-Zasada, J. F. Gutierrez-Corona, J. S. Rodriguez-Zavala y R. Moreno

Sanchez. 2006. Interacciones microbianas conmmetales pesados. Revista Latinoamericana de Microbiológia. Vol. 48. N° 2. p.p. 203-210.

Cobelo-García, A., A. Labandeira y R. Prego. 2005. Two opposite cases of metal accumulation in ria sediments: ferrol and corme-laxe (Galicia, Nw Iberian Peninsula). Ciencias Marinas. Vol. 31. N°004. p.p. 653-659.

Galván-Bobadilla, A. I., R. M. García-Escamilla, N. Gutierrez-García, M. L. Mendoza-Magaña y R. Rosiles-Martínez. 2005. Concentraciones de cádmio y zinc en tejido de cáncer prostático. Revista Mexicana de Patología Clínica. Vol. 52. N° 2. p.p. 109-117.

González-Lozano, M. C., L. C. Mendez-Rodriguez, D. G. López-Veneroni y A. Vázquez-Botello. 2006. Evaluación de la contaminación en sedimentos del área portuaría y zona costera de Salina Cruz, Oaxaca, México. Interciencia. Vol. 31. N° 9. p.p. 647-656.

Hu, Z., R. Navarro, N. Nomura, H. Kong, S. Wijesekara y M. Matsumura. 2007. Changes in clorinated organic pollutants and Heavy metal content of sediment during pyrolysis. Env. Sci. Pollut. Res. Vol. 14. N° 1. p.p. 12-18.

Meneses-González, F., M. Lino-González, A. Rivero, J. Simón-Domínguez, E. Palazuelos-Rendón, L. C. Moreno-López y M. Hernández-Ávila. 2001. Niveles de plomo en la sangre: Control de calidad del laboratorio de metales del centro médico ABC. Análisis Médicos Hospital ABC. Vol. 46. N°4. p.p. 165-168.

SAS (1998). Introductory guide for personal computers, Release 6.03 Edition. Cary. NC.SAS.111 p.

Suarez, P. y R. Reyes. 2002. La incorporación de metales pesados en las bacterias y su importancia para el ambiente. Interciencia. Vol. 27. N° 4. p.p. 160-164.

Valdez-Perezgasga, F. y V. M. Cabrera Morales. 1999. La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México. Texas center for policy studies y CILADHAC. Primera edición. p.p. 1-46.

Wong, C. S. C., S. C. Wu, N. S. Duzgoren-Aydin, A. Aydin y M. H. Wong. 2006. Trace metal contaminationof sediments in an e-wasteprocessing village in China. Elsevier Environmental Pollution. Vol. 20. p.p. 1-9.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL DE MOSCAS EN ESTABLOS

Roberto Sánchez Lucio[1] y Ernesto González Gaona[2]

[1]M.C. Investigador del INIFAP- Campo Experimental, Santiago Ixcuintla, Nayarit, [2]M.C. Investigador del INIFAP- Campo Experimental. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes.

Introducción

En los establos se presentan altas infestaciones de moscas debido a la gran cantidad de estiércol producido y al mal manejo que se le da; la problemática ocasionada va desde la disminución en el consumo y conversión del alimento (en EUA se estiman pérdidas en peso de ½ libra de carne por animal por día), reducción de la producción de leche por unidad animal (disminución que va entre un 10 y 20%), diseminación de enfermedades, así como un problema de comodidad y estética en áreas aledañas a zonas urbanas debido a las migraciones de moscas de los establos hacia las casas (CEPAB,1996).

En los establos de Aguascalientes las especies de moscas de mayor importancia son: Mosca casera (***Musca doméstica***), Mosca del cuerno (***Haematobia irritans***) y Mosca del establo (***Stomoxys calcitrans***). Estas dos últimas conocidas por los productores como moscas bravas por su hábito de picar ya que son hematófagas (Cruz, 1997).

Biología de moscas

Las moscas presentan una metamórfosis completa pasando por los estadios siguientes: huevo, larva, pupa y adulto, pertenecen al orden de los dípteros y clasifican dentro de la familia Muscidae, para referenciar el ciclo de vida se pondrá como ejemplo a ***Musca domestica***.

Los huevecillos son de forma alargada y de color blanquizco que son ovipositados en masas o aislados en el estiércol fresco, eclosionando entre 12 y 25 horas después, dependiendo esto de la temperatura, las larvas originadas son pequeñas, blancas y sin cabeza ni patas visibles, de forma cuneiforme (con un extremo más ancho y aguzándose hacia el otro) con las partes bucales negras que la larva mete y saca constantemente, después de seis días la larva busca un lugar con menos humedad en donde se transforma en pupa, que es una pequeña cápsula con los extremos redondeados y con pequeñas líneas transversales, la cual al inicio presenta un color amarillo el cual va cambiando hasta tornarse café oscuro después de cuatro días, emergiendo así un adulto con el cuerpo no endurecido y las alas como pequeños muñones. Debido a que los insectos son poiquilotermos la duración del ciclo biológico se ve condicionada a la temperatura. En el cuadro 1 se observan la duración del ciclo de las principales especies de moscas en los establos (González y Cruz en prensa).

Alternativas de control para moscas en los establos

Control Cultural

Este control consiste en disminuir las poblaciones de mosca, efectuando un buen manejo del estiércol y una limpieza general del establo, así como de sus inmediaciones lo que se traduce en una mayor producción y mejores condiciones de vida para el ganado, en esta estrategia está contemplada la sanidad (Campbell, 1997).

CUADRO 1.- CARACTERISTICAS DE LAS PRINCIPALES ESPECIES DE MOSCAS EN LOS ESTABLOS.

Parámetro	M.casera	M. del cuerno	M. del establo
Ciclo biológico*			
Huevo	1	1	3
Larva	3-7	5	15
Pupa	5-15	4-5	10
Adulto	3-10	21	20
Huevos/hembra	400-1,000	25	25-100
Sitios de ovip.	Estiércol y material en descomposición.	Estiércol fresco.	Paja fermentada y piensos húmedos.
Alim. Del adulto	Líquidos	Sangre	Sangre

*Duración en días

Control químico

Durante mucho tiempo la principal estrategia para el control de plagas, ha sido la aplicación de químicos, el combate de las moscas no es la excepción es por eso, que en el mercado existen numerosos productos disponibles en varias formulaciones: aretes, aditivos alimentarios, bolos, líquidos para aspersión, frotadores de lomo, polvos para espolvorear y sistémicos (Chihu y Chihu, 1996 b).

Los químicos para combate de las moscas se clasifican en adulticidas y larvicidas. dependiendo al estado fisiológico al que se dirija el combate, la primera se dirige a los adultos mediante la aspersión en las superficies donde reposan estos o sobre el ganado y la otra dirigida hacia el combate de inmaduros, el cual se basa en un sistema de liberación lenta del plaguicida, administrado oralmente al ganado para convertir las heces en un medio no apto para el desarrollo; El método larvicida tiene la ventaja de ejercer un control selectivo sin destruir las poblaciones de insectos benéficos y de requerir de cantidades menores de insecticida (Campbell, 1997).

Control biológico

Predatores. Se comen a su presa, que puede ser cualquier estado fisiológico de las moscas, por lo general requieren de varias presas para completar su ciclo biológico. Dentro de este grupo se puede mencionar algunos coleópteros de las familias Estafilinidae e Histeridae, en esta última se encuentran ***Hister coenosus*** e ***H. Incertus*** que depredan huevecillos de moscas del cuerno (Chihu y Chihu, 1996 b).

Parasitoides, estos se alimentan de un solo hospedero y puede ser en forma externa o interna, los adultos buscan a la presa y la parasitan al poner un huevecillo de parasitoide dentro de la pupa de la mosca. Dentro de este tipo se encuentran hymenópteros de la familia Pteromalidae, la liberación masiva de estos parasitoides ejerce un control efectivo de las moscas, casera, del cuerno y del establo (Chihu y Chihu, 1996 a).

En los establos de Aguascalientes se han realizado liberaciones de estos parasitoides de manera experimental y de acuerdo a las evaluaciones se determinó un parasitismo alrededor del 76%. Los insectos liberados pertenecen a los géneros ***Spalangia*** sp. y ***Muscidifurax*** sp. que son parasitoides solitarios de pupas de moscas (Biocontrol, 1997 y Soriano, 1997).
El ciclo biológico de estos parasitoides se describe a continuación presentando ligeras variantes entre un género y otro: la hembra parásita pupas de reciente formación que se encuentran en el estiércol a profundidades hasta de más de 10 cm, ovipositando un huevecillo por pupa, bajo condiciones de laboratorio cada hembra puede parasitar ocho pupas por día, la fecundidad más alta se obtiene a temperaturas que van de 25 a 30°C y su desarrollo y oviposición se inhiben a 35°C; al eclosionar la larva del parasitoide mata al hospedero y se alimenta de el, dentro del pupario pasa sus tres estados inmaduros, hasta que emerge como adulto, el tiempo de desarrollo desde la oviposición hasta la emergencia del adulto es de 20 a 35 días (González y Cruz en prensa).



Figura 1.- Parasitoides de pupas de moscas en los establos.

Spalangia sp es un parásito solitario de pupas jóvenes de 24 a 48 hrs. son capaces de copular y parasitar inmediatamente después de emerger, en estado adulto es una avispita de color negro brillante de 2.5 - 4.0 mm de longitud, con los segmentos tarsales pálidos excepto el último, con la venación del ala incompleta presentando la vena marginal casi diez veces tan larga como la vena estigmal; las antenas se sitúan en el margen frontal de la cabeza, el primer segmento antenal es más largo que los siguientes dos combinados y con menos de 14 antenómeros, el pronoto presenta puntuaciones y espacios lisos que ayudan a determinar las especies, el peciolo abdominal es angosto y muy visible (Legner et al, 1976).

Muscidifurax sp. Estas avispitas son de color negro verdoso brillante y miden de 1.8 a 2.4 mm de longitud, su cuerpo es negro y el escapo y fémures son pardo oscuros con tibias claras; las antenas nacen al nivel de los márgenes ventrales de los ojos, la vejación del ala

es incompleta, la vena marginal está dilatada en la mitad basal y es dos veces más larga que la vena estigmal que está gradualmente dilatada y oval, el margen del ala anterior tiene setas; las hembras son de color negro mientras que los machos presentan manchas translúcidas en el primero, segundo y tercer segmentos del abdomen (Legner et al, 1976).

Utilización de trampas como medida de combate

Con el fin de disminuir las poblaciones de mosca adulta en los establos de Aguascalientes ya se han empezado a utilizar trampas solares que mediante un atrayente (proteína hidrolizada, estiércoles fermentados, tepaches) logran la captura de grandes cantidades de adultos; una vez atraídas las moscas son retenidas y muertas por inanición dentro de un contenedor; otros tipos de trampas son las pegajosas que mediante una sustancia viscosa detiene en forma física al adulto y las trampas de luz negra que atraen con fototropismo positivo y matan a las moscas con electricidad.

Por si solas las trampas no son la solución al problema de la mosca, pero si son una herramienta muy importante para reducir la población de adultos que es la etapa mas perjudicial de las moscas, además de que se pueden usar en lugares donde no se pueden aplicar químicos.

Es necesario mencionar que cualquier medida de control de la mosca resulta insuficiente si no se efectúan las medidas de sanidad en los establos ya que de no ser así tendríamos siempre presentes los focos de infestación por eso es recomendable que los productores emprendan campañas de combate de manera regional, logrando así resultados más efectivos y provechosos.

Referencias

Biocontrol, 1997. Análisis del tratamiento de control biológico inducido para las moscas de los establos en dos ranchos piloto en el estado de Aguascalientes. Reporte manuscrito ante la Fundación Produce Aguascalientes A.C. 3 p.

Campbell, J.B. 1997. Horn Fly control on cattle. Marti LaChance, elctronic publications editor. Agcm042@unlvm.unl.edu. 17p.

CEPAB, 1996. Audiovisual "la Innovación Tecnológica: Pieza clave para el desarrollo rural de Aguascalientes" INIFAP - CAPAB.

Cruz, V.C y I Vitela, M. 1997. ***Haematobia irritans*** y ***Stomoxys calcitrans*** en ganado lechero de Aguascalientes: datos preliminares In Memorias del VIII Congr. Nac. de Inv. y Desarr. Tecn. Agrop. , Morelia Mich, México p 33.

Chihu, A. D. y L. Chihu. 1996a. Biología y comportamiento de las moscas ***Haematobia irritans*** y ***Stomoxys calcitrans***. Tópicos en Parsit. Animal, Vol 3 Univ. Aut. Del Estado de Morelos. p 98-114.

Chihu, A. D. y L. Chihu. 1996b. Diagnóstico y control de las moscas Haematobia irritans (L.) y Stomoxys calcitrans (L.). Depto. Entomol Veterinaria, Univ. Aut. Del Estado de Morelos. CENAPA SARH p 860-878.

González G. E. y C. R. Cruz V. (En prensa). Control de moscas en los establos. Folleto técnico del CREROB de Pabellón de Arteaga, Ags. Financiado por Fundación Produce Ags ITA 20 Ags. 13p.

Legner, E.F., I. Moore, G.S. Olton. 1976. Tabular keys & Biological notes to commmon parasitoids of Synanthropic diptera breeding in accumulated animal wastes. Entomological news. p 113 - 144.

Soriano V. S. 1997. Reporte final del comportamiento de ***Spanagia endius*** para el control de moscas en los establos en el estado de Aguascalientes. Reporte manuscrito ante la Fundación Produce Ags. A.C. 3 p.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

APLICACIÓN DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL

González Muñiz Emma Ernestina

[1] **Coordinadora de Control Ambiental de la Dirección de Medio Ambiente de Saltillo**

* Lic. González Muñiz Emma Ernestina. Calle 16 de septiembre, colonia centenario, Saltillo Coahuila , México, cp.25050

Resumen.

La ponencia de APLICACIÓN DE LA LEGISLACION AMBIENTAL pretende que los asistentes conozcan el marco jurídico ambiental vigente en México e identificar a las autoridades encargadas de su vigilancia y aplicación, de igual forma presentar de manera general el proceso de instauración del Procedimiento Jurídico Administrativo en materia ambiental para sancionar a los infractores de la materia.

De esta forma se reconocerá la importancia del Derecho Ambiental como una disciplina jurídica necesaria para regular y resolver los problemas vinculados con el medio ambiente, además de garantizar que el desarrollo de las distintas actividades y obras se realicen de una manera sustentable y en cumplimiento a la Normatividad Ambiental vigente, es por ello que resulta importante advertir y dar a conocer las posibles sanciones e infracciones que se pueden llegar a aplicar por las Autoridades Ambientales si se realizan acciones que causen daños o deterioro del entorno.

Es así como se busca sensibilizar y comprometer a todas las personas en el respeto, cuidado y protección del medio ambiente y coadyuvar conjuntamente con las Autoridades a garantizar el derecho constitucional que tenemos de gozar de un medio ambiente limpio y sano para nuestro bienestar y desarrollo.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO Y CAMBIOS DE USO DEL SUELO

Canales Gutiérrez Eglantina. *

[1] **Secretaria de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza**

* Centro de Gobierno, Blvd. Centenario de Torreón y Blvd. Fundadores 25294 Saltillo, Coahuila, México. https://twitter.com/@SEMACoahuila.

Resumen.

La gestión ambiental, entendida como el conjunto de instrumentos que permiten atender las necesidades del desarrollo de las actividades humanas en relación al impacto sobre el ambiente y sus consecuencias para la conservación de los sistemas naturales y el bienestar humano en el corto y largo plazo, cuenta con herramientas legales que al traducirse en acciones normativas y después de su implementación poder ser evaluadas, brindan posibilidades reales de mantener esquemas de desarrollo que permitan la integridad de los sistemas naturales y la biodiversidad.

Aunque parece utópica la visión presentada, si ajustamos los cambios a la capacidad del sistema para soportarlos y al respeto suficiente para entender la dependencia absoluta que tenemos de la naturaleza para permanecer como especie, pero al mismo tiempo dar satisfacción a nuestras necesidades, que algunas veces pueden ser de primera, pero en muchos casos resultan superfluas, pero esto última no evita el deterioro.

Dos de los instrumentos legales más importantes para minimizar los daños al ambiente, los cuales cuentan como apoyo con bases técnicas suficientes para traducirse en prácticas de uso cotidiano en la administración pública, que como ente encargado de su aplicación, puede regular la magnitud de los impactos temporales o permanentes sobre el ambiente, son los Programas de Ordenamiento Ecológico del Territorio (POETE) y las autorizaciones de cambio de uso del suelo, ambos ligados a través de la legislación ambiental, en este caso la de nuestro país.

En la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) se incluye como obligatorio que cada entidad federativa cuente con un programa de ordenamiento ecológico de su territorio, la estructura del mismo también está reglamentada y se basa en características del territorio que sumadas a la vocación del suelo, a los planes directores de los municipios y a los esquemas de protección establecidos, dan como resultado una gama de posibilidades que se agrupan en varios temas, que van del uso sustentable a la conservación, en base a lo anterior se planifica el uso del territorio y se permiten cambios que no superen lo que la ley y los reglamentos permiten, para garantizar la integridad del paisaje.

El otro instrumento de gran valor es el cambio de uso del suelo, el cual se permite por excepción, siempre y cuando una parte de la afectación pueda ser remediada o compensada, estos cambios además de modificar el paisaje, a las comunidades que ahí se encuentran y a las poblaciones, determinan si el cambio propuesto además de su utilidad económica y social, no ponen en riesgo recursos únicos o a los recursos abióticos.

La responsabilidad tanto de la autoridad, como de los promoventes de cambios en el uso del suelo y de los técnicos que los llevan a cabo, implican un alto grado de conocimiento que permita además del desarrollo de los proyectos, la seguridad de que el impacto sobre el medio puede ser atendido de

manera efectiva y sin riesgos para la población humana

Para ello se requiere de ajustar cuidadosamente cada propuesta a las leyes existentes, vincularla a las unidades contempladas en el POETE y a los lineamientos establecidos como excepción para los cambios de uso del suelo; lo anterior además del conocimiento del sitio y del apego a las técnicas de evaluación más adecuadas, requiere que los técnicos mantengan principios de ética y responsabilidad para poder aceptar las negativas y evitar la promoción de proyectos inadecuados, para ello su mejor ayuda siempre estará en la correcta interpretación de la ley y en su conocimiento del medio.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EDUCACIÓN AMBIENTAL: PORQUE DEBERÍA IMPORTARME EL SUELO.

Garza – García Yolanda. *

[1] **Universidad Autónoma de Coahuila. Facultad de Ciencias Químicas-Departamento de Biotecnología.**

* Dra. Yolanda Garza García. ygarza@uadec.edu.mx. Blvd. V. Carranza y José Cárdenas Valdés s/n. Col. República Ote. Saltillo, Coahuila, México.

Resumen.

La educación, como fuerza tradicional civilizatoria y transformadora, continúa como una función estratégica en el desarrollo de la economía, en los procesos de cambio político y de modernización cultural. En México, aún no estamos en posición de imaginar formas de la educación superior de manera prospectiva, porque debemos asegurar un lugar para los millones de niños y jóvenes que continúan transitando de manera accidentada por los escalones del sistema educativo nacional. Sin embargo; este doble desafío: ser incluyentes y mejorar la consistencia de su formación: integral, humanista, con responsabilidad social y enfoque sustentable, es la base de lo que tenemos que solucionar. En este encuentro, la frase: "El suelo, soporte esencial de vida" que describe sus objetivos generales, nos lleva también a pensar en los ciclos biogeoquímicos; a estimar que al menos una cuarta parte de las especies del planeta viven dentro del suelo, que es el fundamento para la producción de alimentos; a entender la función crucial que desempeña el suelo en el cambio climático, como inmenso depósito natural de carbono. Así, el conocimiento básico de este hábitat impresionante, desde la pedología, edafología, química, bioquímica y microbiología del suelo, nos permitirá egresar generaciones que estén listas para apropiarse de la tecnología, con una sólida formación profesional y con herramientas suficientes para la investigación en sus distintos alcances (básica, aplicada y de desarrollo e innovación). Nuestra participación, parte de la perspectiva de la educación ambiental para la sustentabilidad en un amplio sentido, considerando uno de los recursos naturales fundamentales para la vida, el suelo.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EL RETO EMPRESARIAL ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Calderón Domínguez Javier. *

[1] **Presidente del Sector de Economía Verde de CANACINTRA Nacional. Director Ambiental de Grupo Ecolimpio.**

* Ing. Calderón Domínguez Javier. Javier.calderon@ecolimpio.com.mx

Resumen.

Para entender el fenómeno del Cambio Climático, es necesario conocer algunas *Realidades*:
La población está creciendo exponencialmente. Por ende, cada vez tenemos necesidad de satisfacer necesidades básicas (alimentación, vestido, transporte, etc.).
Para cubrir estas necesidades, requerimos de mayor producción y, lógicamente, necesidad de energía para transformar los insumos en productos y servicios. Las energías que actualmente se utilizan provienen, en su mayoría, de combustibles fósiles. Los datos científicos más recientes confirman que el clima de la Tierra está cambiando vertiginosamente Las temperaturas mundiales aumentaron en el transcurso del último siglo, y es probable que aumenten aún más rápido en las próximas décadas.
¿Cuál es la causa? Una capa cada vez más gruesa de contaminación por dióxido de carbono y otros gases invernadero, principalmente provenientes de las plantas generadoras de energía y los automóviles, mismos que atrapan el calor en la atmósfera. Naciones del mundo, entre ellas México, han generado acuerdos y tratados con compromisos muy serios para reducir en un 35% los gases efecto invernadero hacia el año 2030.
Este panorama real representa un verdadero reto para todos los industriales, a fin de que dentro de cada uno de sus sectores se impulsen acciones de mejora y oportunidades de crecimiento con negocios verdes.
La Cámara Nacional de la Industria de Transformación se ubica en la posición de los tecno optimistas, en donde el sector de economía verde impulsa nuevos mecanismos de financiamiento, innovación, servicios tecnológicos y el desarrollo de nuevas tecnologías para lograr, no sólo las metas de mitigación, sino las de adaptación al cambio climático, las cuales implican mayor concertación, complejidad de instrumentación y urgencia social.
El manejo seguro de los residuos peligrosos (RP) se aborda mediante la prevención orientada a la reducción de los volúmenes de generación, reciclaje y reuso de los RP. A su vez, la adecuada disposición de los mismos se orienta al tratamiento de los residuos para reducir su peligrosidad o volumen y a su incineración o confinamiento cuando ya no le resta vida útil dentro de los procesos productivos.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

USO DE ABONOS ORGÁNICOS EN SIEMBRA DIRECTA DE TRIGO. VALLE DEL YAQUI, SONORA.

Cortés-Jiménez, J.M.[1*]; Ortiz-Ávalos, A.A.[1]

[1]**Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Cd. Obregón, Sonora, México.**

*Autor responsable: cortes.juanmanuel@inifap.gob.mx; Calle Norman E. Borlaug km 12, Valle del Yaqui, Ciudad Obregón, Sonora. México. CP 85000 Tel. +52 (55)-387-18700 Ext. 81210

Resumen

En el Campo Experimental Norman E. Borlaug, durante el ciclo 2017-18, se evaluó el efecto de 9 t ha^{--1} de Nutripelet como fertilizante orgánico en un sistema de siembra directa de trigo. Se analizó su composición química en el laboratorio de suelos del INIFAP. Se fertilizó además con 600 kg ha^{-1} de urea aplicada al voleo. Se aplicaron 75 kg ha^{-1} de MAP mezclado con 75 kg ha^{-1} de semilla de la variedad CIRNO C2008, en hileras separadas a 34 cm, con sembradora SEMEATO. No se encontró diferencia significativa entre tratamientos para ninguna de las variables evaluadas. Se observó una tendencia favorable para la aplicación del Nutripellet sin incorporarlo al suelo; el incremento en rendimiento fue de 2.35 t ha^{-1}, lo cual se explicó por una mayor cantidad de espigas por metro cuadrado, un mayor número de granos por unidad de superficie y un mayor peso del grano.

Palabras clave

Nutripellet; gallinaza; labranza de conservación

Introducción

En el sur de Sonora, existe una baja adopción de la labranza de conservación, aunque existe el consenso de que la cobertura del suelo con residuos de cosecha reduce la temperatura del suelo y las pérdidas de agua por evaporación, lo cual ya fue documentado al estudiar el acolchado de suelo (Hanks, 1958; Hanks *et al*., 1961). La cobertura del suelo tiende a reducir la temperatura edáfica hasta en 20 °C (Ross *et al.*, 1986). A una pulgada de profundidad, el suelo desnudo deja pasar de 1.53 a 9.02 cal/cm^2/día, mientras que la cobertura del suelo con residuos orgánicos de 0.67 a 5.35 cal/cm^2/día (Kohnke y Werkhoven, 1963). El manejo del suelo con algún sistema de cobertura es una técnica eficaz para conservarlo en buen estado, la cobertura orgánica también amortigua el impacto de las gotas de lluvia y el viento, reduce la erosión y la formación de costras (Kohnke y Werkhoven, 1963; Narro, 1987). Derivado de las ventajas mencionadas, en la región, al igual que en muchas partes del mundo, se promueve la implementación de la agricultura de conservación, sistema que incrementa el uso de herbicidas, lo cual ha generado preocupación en amplios sectores de la sociedad, ya que, además, se han introducido variedades transgénicas tolerantes a los herbicidas no selectivos más utilizados, genotipos cuyo uso aun no es aceptado en muchos países. El reto consiste en aprovechar las ventajas de la cobertura del suelo que proporciona la labranza de conservación, sin la dependencia del uso de herbicidas y transgénicos.

Por otra parte, aunque en la región la agricultura orgánica es aún incipiente, existe gran demanda de estiércoles para utilizarlos como mejoradores de suelo o fertilizantes. Se reporta que el uso de 20 ton ha^{-1} de gallinaza iguala o supera al rendimiento del trigo fertilizado (Cortés *et al*., 2003). La gallinaza da mejores resultados que el estiércol de bovino en trigo y existe un efecto residual positivo después de cinco años de su aplicación (Cortés *et al*., 2004; Cortés *et al*., 2009). Los estiércoles en general, una vez saturados con agua, liberan a la solución una gran cantidad de macro y micro elementos (Ortiz *et al*., 2009), por lo cual se considera muy factible que, si se depositan sobre la superficie de la paja, una vez que se aplique el riego, parte de los nutrimentos que contienen estarán disponibles para el cultivo.

El objetivo del presente estudio, fue evaluar el uso de Nutripellet aplicado sobre la paja en un sistema de labranza de conservación o siembra directa, en el Valle del Yaqui, Sonora.

Materiales y Métodos

La evaluación se realizó durante el ciclo otoño-invierno 2017-2018, en las instalaciones del Campo Experimental Norman E. Borlaug del INIFAP, el cual se encuentra ubicado en el Block 910 del Valle del Yaqui, Sonora. Se estudió el efecto de 9.0 t ha Nutripelet, fertilizante orgánico peletizado elaborado a base de gallinaza que cuenta con registro OMRI nad 5875 y Cofepris. El análisis del producto realizado en el laboratorio de suelos del CENEB-INIFAP, reportó 3.04% de nitrógeno, 0.973 de fósforo, 2.23% de potasio, 2.84% de calcio, 1.1% de magnesio, 0.42% de sodio, 74.5 ppm de cobre, 4285 ppm de fierro, 594 ppm de manganeso y 478 ppm de zinc. El suelo donde se realizó el estudio, tenía una disponibilidad de 20.1 ppm de fósforo Bray, 101 kg ha^{-1} de nitrógeno nítrico, 0.79% de materia orgánica, 5.2 Cmol kg^{-1} de calcio, 1.17 de magnesio y 4.56 de sodio, PSI de 2.47, 0.74 ppm de cobre, 2.26 de fierro, 0.46 de zinc y 2.57 ppm de manganeso. La textura del suelo se clasificó como arcilla y el pH como alcalino.

El producto se aplicó al voleo en forma manual en un sistema de producción en siembra directa, por lo cual el Nutripellet no se incorporó al suelo. Se utilizó un diseño en franjas de 16 metros de ancho por 110 metros de largo. Toda la superficie de fertilizó con 600 kg ha^{-1} de urea aplicada al voleo sobre la paja. Se aplicaron 75 kg ha^{-1} de fosfato mono amónico (MAP) mezclado con la semilla. Se sembraron 75 kg ha^{-1} de semilla de la variedad CIRNO C2008, en hileras separadas a 34 cm, para lo cual se utilizó una sembradora SEMEATO. La siembra se realizó en seco el día 13 de diciembre y se aplicó el riego de germinación el día siguiente. Se aplicaron cuatro riegos de auxilio. Se aplicó herbicida e insecticida antes del primer riego. Después del último riego se aplicó fungicida para el control de roya de la hoja. Las variables evaluadas fueron el rendimiento de grano y sus componentes y la absorción de macro y micro elementos, para lo cual se tomaron tres muestras por tratamiento de 0.51 m^2 para determinar el peso de grano y paja y su concentración de nutrimentos.

En la figura 1 se observa la maquinaria utilizada para la siembra del ensayo, el cual se estableció en un terreno donde no se han realizado labores de labranza durante los últimos 18 años, Se destaca la necesidad del equipamiento del tractor con GPS. En el método tradicional de siembra, el trigo se establece con cuatro hileras de plantas, tres sobre la cama de siembra y una más en el fondo del surco, las hileras quedan separadas de 19 a 20 cm. En el método utilizado en esta evaluación, el espaciamiento entre hileras de trigo es de 34 cm, con la idea de diseñar un implemento que permita eliminar la maleza en forma mecánica.



Figura 1. Equipo de siembra directa de trigo; tractor con GPS, sembradora y método de siembra a 34 cm.

Resultados y Discusión

No se encontró diferencia significativa entre tratamientos para ninguna de las variables evaluadas. Los valores promedio obtenidos se reportan en el cuadro 1. Se observó una tendencia muy positiva para la aplicación del Nutripellet sin incorporarlo al suelo; el incremento en rendimiento fue de 2.35 t ha^{-1}, lo cual se explicó por una mayor cantidad de espigas por metro cuadrado, un mayor número de granos por unidad de superficie y un mayor peso del grano. Con la aplicación del fertilizante orgánico, también se observó un incremento en la absorción de todos los elementos analizados, lo cual es un indicador de la disponibilidad de los nutrimentos que contiene.

Cuadro 1. Resultados de la aplicación de 9.0 ton ha^{-1} de Nutripellet en un sistema de siembra directa. INIFAP.

Variable	SIN NUTRIPELLET	CON NUTRIPELLET	PROB.
Rendimiento de grano t ha^{-1}	8.078	10.431	0.1942
Rendimiento de paja t ha^{-1}	8.059	12.667	0.0558
Espigas por metro cuadrado	322	433	0.1191
Granos por espiga	43	40	0.1276
Granos por metro cuadrado	13894	17258	0.1536
Peso de 100 granos g	5.800	6.044	0.4196
Nitrógeno absorbido total kg ha^{-1}	220	289	0.1145
Fósforo absorbido total kg ha^{-1}	24.56	31.69	0.2070
Potasio absorbido total kg ha^{-1}	240	355	0.0628
Calcio absorbido total kg ha^{-1}	158	240	0.1953
Magnesio Absorbido total kg ha^{-1}	23.44	34.22	0.1693
Sodio absorbido total kg ha^{-1}	122.4	175.6	0.1550
Cobre absorbido total g ha^{-1}	72.40	88.93	0.0608
Fierro absorbido total g ha^{-1}	2129	3609	0.0581
Manganeso absorbido total g ha^{-1}	899	1290	0.1118
Zinc absorbido total g ha^{-1}	372.6	471.6	0.1739

Para un análisis económico de los resultados, se debe considerar el costo de la tonelada de Nutripellet y su aplicación, así como el precio por tonelada de trigo, no obstante, existen muy pocos factores de producción que promuevan incrementos en producción como los observados en esta evaluación. Para futuros estudios, se debe considerar la evaluación de gallinaza composteada sin peletizar que es más barata, e inclusive el uso de gallinaza sin compostear.

Conclusiones

La aplicación del fertilizante orgánico y mejorador de suelos Nutripellet, incrementó el rendimiento de trigo y la absorción de los nutrimentos contenidos en éste. Considerando el costo del producto, se deberán estudiar dosis menores y evaluar su efecto cuando este tipo de mejorador es incorporado al suelo sin la remoción de la paja.

Agradecimientos

Al Ing. Manuel López de Lara Ortega, por facilitar el tractor, la sembradora y su personal operativo para el establecimiento de los ensayos de siembra directa en las instalaciones del INIFAP-PIEAES, A.C.

Referencias

Cortés, J.J.M. y J.E. Ortiz. 2003. Fertilización y Mejoradores de Suelos. Memoria del Día del Agricultor. Publicación especial No. 10. pp. 22-23.

Cortés, J.J.M., J.E. Ortiz, y V.P. Félix. 2004. Abonos orgánicos en la agricultura. Memoria Día del Agricultor. Publicación especial No. 11. pp. 9-13.

Cortés, J.J.M., A.A. Ortiz, G. Zazueta, y V.T. Ruiz. 2009. Residualidad del uso de estiércoles en trigo, después de 5 años de su aplicación en el Valle del Yaqui, Sonora. Memorias del 1er Simposium Internacional de Agricultura Ecológica. Septiembre 29-30, 2009. Cd. Obregón, Sonora, México. p. 348-352.

Hanks, R.J. 1958. Water vapor transfer in dry soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22:372-374.

Hanks, R.J., S.A. Bowers, and L.D. Bark. 1961. Influence of soil surface conditions on net radiation, soil temperature and evaporation. Soil Sci. 91(4):233-238.

Kohnke, H., and C.H. Werkhoven. 1963. Soil temperature and soil freezing as affected by an orqanic mulch. Soil Sci. Soc. Proc. 27:13-17.

Narro F., E. 1987. Física de suelos con enfoque agrícola. UAAAN. Saltillo, Coahuila. 201 p.

Ortiz, A.A.A., J.M. Cortés, G. Zazueta y T.J. Ruiz. 2009. Determinación de micro y macro elementos en extracto de saturación de abonos orgánicos y su correlación con la conductividad eléctrica. Memorias del 1er Simposium Internacional de Agricultura Ecológica. Septiembre 29-30, 2009. Cd. Obregón, Sonora, México. p 511-516.

Ross. P.J., J. Williams, and R.L. McCown. 1986. Soil temperature and the energy balance of vegetative mulch in the semiarid tropics. I Statics analysis of the radiation balance. Soils and fertilizers 49(8):933.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

RESPUESTA EN CRECIMIENTO DE *Pinus montezumae* Lamb. A LA FERTILIZACIÓN CON NPK

Capulín-Grande, J.[1*]; Rosales-Islas, E.[1]; Capulín-Valencia, J.C.[2]; Mateo-Sánchez, J.J.[1]; Suárez-Islas, A.[1]; Sandoval-Estrada, M.A.[3]

[1] Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Hidalgo, México.
[2] Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez, Puebla, México
[3] Departamento de Suelos y Recursos Naturales, Universidad de Concepción, Chillán, Chile.

*Autor responsable: juan_capulin61@yahoo.com.mx; Avenida Universidad, Km 1, Rancho Universitario. Tulancingo, Hidalgo, México. CP 43600; Tel. +52(771)-7172-000 ext.2431.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta de plántulas de regeneración natural de *Pinus montezumae* Lamb. a la fertilización con NPK, utilizando diferentes fuentes de fertilizantes, en el crecimiento en altura, diámetro y absorción de nutrimentos, mediante un diseño experimental en bloques al azar en una área de regeneración natural de tres años de edad, en el Ejido Los Romeros en Santiago Tulantepec, Hidalgo, México. El incremento a los 6 meses indicó diferencia significativa en altura del tratamiento dos compuestos por sulfato de amonio (SA), fosfato diamónico (FDA) y cloruro de potasio (CP) con 14.4 cm, respecto al testigo sin fertilizantes de 9.5 cm. La evaluación a los 13 meses reporto superioridad estadística en crecimiento en altura del tratamiento uno compuesto por osmocote, superfosfato triple (SFT) y sulfato de potasio (SP) y dos respecto al testigo con 46.7, 46.3 y 35.4 cm, respectivamente. También hubo diferencia significativa de incremento en crecimiento en diámetro del tratamiento dos 1.8 cm respecto al testigo 1.4 cm.

Palabras clave: Crecimiento en altura; crecimiento en diámetro; incrementos; concentración foliar.

Introducción

La fertilización representa un importante tratamiento silvícola que implica una inversión económica, que retorna a través de un turno más corto debido al crecimiento rápido de las plantas (Jokela y Long, 2012), lo que puede mejorar la productividad de los sitios, mitigando la extracción de nutrientes que se realiza con las sucesivas cosechas, lo que mantiene la fertilidad del suelo y la sustentabilidad del sistema forestal (Goya *et al.*, 2003). La fertilización en campo de especies forestales en bosques naturales en México es incipiente, los datos relacionados con dosis de

fertilización son escasos (Lázaro-Dzul *et al*., 2012); sin embargo, los reportes de otros países indican que las coníferas responden positivamente a la adición de fertilizantes, traduciéndose en incrementos de tamaño significativos, especialmente en altura y diámetro (Monsalve *et al*., 2009).

Al respecto, Dickens *et al*. (2003) observaron incrementos en crecimiento de *Pinus elliottii* Engelm. y *Pinus taeda* L. en el sureste de Estados Unidos, al aplicar 108 kg de P_2O_5 ha^{-1} en forma de superfosfato triple (SFT). También se ha reportado un incremento significativo en el diámetro y la altura de *P. taeda* con la adición de 100 g de urea (U) y 200 g de SFT $planta^{-1}$ (Faustino *et al.*, 2012). Comportamiento similar fue reportado en Corrientes Argentina para la misma especie y variables al aplicar 120 g $planta^{-1}$ de SFT (Ibáñez *et al.*, 2004).

Las dosis de fertilización deben ser específicas para cada sitio, tipo de suelo, edad de la planta, densidad (árboles ha^{-1}) y el producto a obtener (Dickens et al., 2003); además debe considerarse otros factores como las interacciones que se llevan a cabo en el bosque, los requerimientos nutricionales de los árboles, la naturaleza del fertilizante a emplear, la fertilidad natural del suelo, las interacciones entre el suelo y el fertilizante, el momento y el método de aplicación (Lázaro-Dzul *et al*., 2012). Por estas razones y considerando la importancia de la especie, el lento crecimiento que presenta y la poca existencia de datos de fertilización en campo, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la respuesta a la fertilización con NPK en el crecimiento y concentración foliar de *P. montezumae* Lamb, en regeneración natural de tres años de edad, utilizando diferentes fuentes de fertilizante.

Materiales y Métodos

El estudio se desarrolló en el Ejido Los Romeros perteneciente al Municipio de Santiago Tulantepec, Hidalgo, México; ubicado en las coordenadas 20° 0' 20.45" N y 98° 24' 59.21" W, durante junio del 2014 a julio de 2015. El clima en la región es templado subhúmedo con verano cálido, la temperatura del lugar oscila entre menos 3 y 27 ºC, a una altitud de 2460 metros sobre el nivel del mar (msnm) y una precipitación de 690 mm anuales. El ensayo se estableció en una área de lomas con pendientes suaves de 5 a 10%, en suelos de origen volcánico de tipo Cambisol húmico, Regosol dístrico y Andosol, con textura media (Bh+Rd+T/2) (INEGI, 2000).

Dentro de una área de regeneración de 4.5 ha, con una densidad de 1200 árboles ha^{-1}, cubriendo distintas condiciones de pendiente y exposición, se ubicaron cuatro bloques de 600 m^2 (30 x 20 m); en cada bloque se establecieron cuatro tratamientos por la combinación de diferentes fertilizantes, a saber: tratamiento 1, osmocote, superfosfato triple (SFT), sulfato de potasio (SP); tratamiento 2, sulfato de amonio (SA), fosfato diamónico (FDA), cloruro de potasio (CP); tratamiento 3, urea (U), SFT, SP; tratamiento 4, sin fertilizante (testigo) (Cuadro 1). La cantidad de nutriente aplicada fue de 45 g de N, 40 g de P_2O_5 y 45 g de K_2O por planta.

Las plantas empleadas se seleccionaron bajo los siguientes criterios: altura de 60 a 90 cm, diámetro de 1 a 1.5 cm, distancia mínima entre ellas de 50 cm, tronco recto, sin daños físicos y ausencia de plagas y/o enfermedades. Los fertilizantes fueron aplicados alrededor de la planta, a 10 cm de separación del tallo, en tres cavidades a una profundidad de 15 cm. La fertilización se realizó en junio de 2014.

Cuadro 1. Tratamientos, fertilizantes y cantidad aplicada por planta de *Pinus montezumae* Lamb.

Fuente de Fertilizante	Tratamientos (g planta^{-1})			
	1	2	3	4 (Testigo)
Osmocote (18-06-12)	250	0	0	0
Superfosfato triple (SFT) (00-46-00)	55	0	87	0
Sulfato de potasio (SP) (00-00-50)	30	0	90	0
Sulfato de amonio (SA) (21-00-00)	0	140	0	0
Fosfato diamónico (FDA) (18-46-00)	0	87	0	0
Cloruro de potasio (CP) (00-00-60)	0	75	0	0
Urea (U) (46-00-00)	0	0	98	0

Antes de iniciar el experimento, se obtuvo una muestra compuesta de suelo derivado de la homogeneización de 10 submuestras tomadas en toda el área experimental a 25 cm de profundidad (tratamiento cinco del cuadro 2), para tener una valoración inicial de algunos parámetros del suelo y a los 13 meses se recolectaron tres submuestras por tratamiento dentro de cada bloque, se mezclaron y homogeneizaron formado una muestra compuesta por tratamiento. Las muestras recolectadas se secaron a temperatura ambiente y se les realizaron determinaciones físicas y químicas (SEMARNAT, 2002).

La toma de variables dasométricas, altura total desde la superficie del suelo hasta el ápice de crecimiento con una regla graduada al cm y diámetro del tallo a tres cm arriba del cuello con un vernier Mitotuyo®; los datos se tomaron al momento de la fertilización y posteriormente a los 6 y 13 meses. Para determinar el incremento en el crecimiento a los 6 y 13 meses, el valor de la altura y el diámetro a esas edades de cada árbol, se les resto el valor tomado al inicio de la fertilización.

Los tratamientos fueron distribuidos en un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones, siendo la repetición la parcela experimental con 10 árboles, esto con la finalidad de reducir al máximo el error por la heterogeneidad del suelo, la pendiente y exposición del sitio. Los datos obtenidos de cada variable en estudio y en los distintos momentos, se les realizó análisis de varianza y la prueba de comparación de medias entre tratamientos de Tukey ($p \leq 0.05$). Los análisis estadísticos se efectuaron con el paquete estadístico SAS versión 9.4 (SAS Institute, 2013).

Resultados y Discusión

Características del suelo

La caracterización física y química del suelo en el área de estudio se presenta en el Cuadro 2. El suelo muestreado antes del experimento (5), presenta pH ácido, color en seco café amarillento (10YR 5/4), textura franco arenosa (Fa), contenidos medio de MO y rico de Nt, y baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) (SEMARNAT, 2002). A los 13 meses, los resultados muestran similitud en las variables evaluadas; aunque existe diferencia significativa de contenidos menores de MO, Nt y CIC al inicio del experimento cuando se compara entre tratamientos.

El contenido de MO parece ser muy alto, esto se debe a que los suelos derivados de cenizas volcánicas como es la zona de estudio, son ricos en MO pero altamente estabilizada por tener minerales de bajo orden estructural como el alofano, la imogolita, la ferrihidríta y los complejos Al/Fe-humus (Galicia *et al.,* 2016) por lo que su tasa de mineralización es menor que la del resto de los suelos; por lo tanto, la mayor cantidad del Nt es orgánico y menor en forma inorgánica. Valores similares de pH, MO y Nt en el suelo se han reportado para suelos que sustentan pinos y otras especies forestales de clima frío (Afif *et al.,* 2010). Se observó cierta diferencia en el contenido de partículas, sin modificar la clase textural (Cuadro 2), debido a que los cambios físicos y químicos en el suelo son muy lentos (Domínguez-Calleros *et al.,* 2017).

Cuadro 2. Características físicas y químicas del suelo del área de estudio.

Parámetro/Tratamiento	1	2	3	4	5
Materia Orgánica (%)	9.35±0.017a	8.06±0.012b	7.08±0.001c	7.41±0.001d	7.14±0.012e
Contenido de Nt (%)	0.91±0.002a	0.79±0.001b	0.72±0.001c	0.69±0.001d	0.69±0.001e
CIC (Cmoles Kg suelo^{-1})	1.36±0.017b	1.57±0.012a	0.90±0.002c	0.68±0.001d	0.66±0.001d
pH (agua:suelo 2:1)	6.12±0.012c	6.22±0.017a	6.16±0.017b	6.07±0.012d	6.15±0.021bc
Textura					
Arcilla (%)	12.4±0.011	14.3 ±0.015	12.3±0.015	14.3±0.016	16.7±0.031
Limo (%)	33.9±0.019	28.1±0.027	32.0±0.02	34.0±0.098	30.0±0.116
Arena (%)	53.7±0.015	57.6±0.025	55.7±0.024	51.7±0.019	53.3±0.023
Clase textural	Fa	Fa	Fa	Fa	Fa

[5]Muestra tomada al inicio del experimento; [1,2,3,4] Muestras tomadas al final del estudio; CIC=capacidad de intercambio catiónico; Fa = Franco arenosa; Letras diferentes en cada fila indican diferencia significativa entre tratamientos, según prueba de Tukey (*P*=0.0001).

Análisis del crecimiento

Se detectaron diferencias significativas en el crecimiento en diámetro a los seis meses y en diámetro y altura a los 13 meses de la fertilización (Cuadro 3). Las plantas del tratamiento dos a base de SA+FDA+CP fueron superiores en diámetro y en altura en la última evaluación realizada. Este comportamiento fue observado en *P. elliottii* y *P. taeda* con un crecimiento mayor en plantas de distintas edades cuando fueron fertilizados con FDA y CP (Dickens et al., 2003), y con la mezcla de

U+SFT+CP (Fernández *et al.*, 1999). Esto confirma que la fertilización en coníferas en edad temprana favorece un buen desarrollo y producción (Bown y Watt, 2016), ya que estimula el crecimiento inicial y amortigua el efecto del estrés, especialmente cuando se aplica P en forma de FDA (Faustino *et al.*, 2012).

Cuadro 3. Crecimiento en altura y diámetro en cm de *Pinus montezumae* Lamb, a los 6 y 13 meses de efectuada la fertilización.

	6 Meses		13 Meses	
Tratamiento	Altura	Diámetro	Altura	Diámetro
1	70.9±11.9a	3.2±0.5ab	105.2±19.2ab	4.0±0.7ab
2	78.2±14.1a	3.5±0.7a	110.1±19.5a	4.4±0.7a
3	75.8±14.8a	3.5±0.8a	104.4±16.7ab	4.3±0.9a
4	68.8±16.8a	2.97±0.7b	94.7±28.4b	3.7±0.8b
	($F_{3,76}$=1.75; P≤0.164)	($F_{3,76}$=2.73; P≤0.05)	($F_{3,76}$=1.81; P≤0.05)	($F_{3,76}$=2.56; P≤0.05)

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa entre tratamientos, según prueba de Tukey (P≤0.05).

Se detectaron diferencias significativas en el incremento en altura a los 6 y 13 meses. A los 6 meses se observó superioridad del tratamiento dos con 14.4 cm respecto al testigo con 9.5 cm, una diferencia del 34 %. A los 13 meses se observó mayor altura con diferencia estadística de los tratamientos uno y dos respecto al tres y testigo; del 13 y 24 %, respectivamente. En el crecimiento en diámetro no se detectaron diferencias significativas a los 6 meses, aunque la tendencia en superioridad es del tratamiento dos con 0.95 cm. A los 13 meses se observó una diferencia significativa del tratamiento dos respecto al testigo, esta diferencia fue del 22 %.

Los resultados indican un efecto benéfico de la fertilización en el crecimiento de los árboles de *P. montezumae* de tres años de edad. Diversos autores reportan los beneficios de la fertilización con NPK en especies del género *Pinus*. Kane (1992) encontró diferencias significativas en altura y volumen de *Pinus caribaea* var *hondurensis* a los 20 meses después de fertilizar. En *P. taeda* se ha observado respuesta positiva a la adición de distintas dosis de fertilización en el crecimiento (Faustino *et al.*, 2012; Fernández *et al.*, 1999; Ibáñez *et al.*, 2004) y en *P. patula* diferencia significativa en tasa de crecimiento relativo en peso seco y volumen (Lázaro-Dzul *et al.*, 2012).

La aplicación de nitrógeno en forma de urea en el tratamiento 3, podría asociarse con un efecto inhibidor de la altura y el diámetro a los 6 y 13 meses, al ser significativamente igual el incremento al del testigo, pero menor a los tratamientos 1 y 2. Al respecto, Fernández *et al.* (1999) encontraron efectos similares con la aplicación de N en forma de urea sobre *P. taeda*, atribuyendo a que el N puede intervenir negativamente en la absorción del P o inhibir la formación de micorrizas por la reacción alcalina temporal de la urea (Faustino *et al.*, 2012). Estos resultados demuestran que si bien el osmocote tiene un gran efecto en el crecimiento en las plantas en vivero por su liberación

lenta de nutrimentos, en campo ese beneficio es menor ya que las plantas establecidas requieren de mayores cantidades de nutrimentos durante un ciclo de crecimiento, que sólo podría proporcionársela un fertilizante de alta solubilidad como los utilizados en la agricultura.

Conclusiones

La fertilización de la regeneración natural de *Pinus montezumae* es benéfica en el incremento de altura y diámetro. Las cantidades y fertilizantes que propiciaron mejores resultados fueron la combinación de 140 g de sulfato de amonio, 87 g de fosfato diamónico y 75 g de cloruro de potasio por planta, por su alta solubilidad y disponibilidad inmediata, superando al fertilizante de liberación lenta (Osmocote). La urea presentó efecto negativo en el crecimiento.

Referencias

Afif, K. E., Canga, L. E., Oliveira, P. J. A., Gorgoso, V. J. J. y Cámara, O. M. A. 2010. Crecimiento en volumen y estado nutricional de *Eucalyptus globulus* Labill y *Pinus radiata* D. Don en Asturias, España. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 1: 47-54.

Bown, H. E. y Wat, M. S. 2016. Stem and soil CO_2 efflux responses of *Pinus radiata* plantations to temperature, season, age, time (day/night) and fertilization. Revista Ciencia e Investigación Agraria 43: 95-109.

Dickens, E. D., Moorhead, D. y McElvany, B. 2003. Pine plantation fertilization. Better Crops 87: 12-15.

Domínguez-Calleros, P.A., Rodríguez-Laguna, R., Capulin-Grande, J., Razo-Zárate R. y Díaz-Vásquez, M.A. (2017). Influencia de factores edáficos en el crecimiento de una plantación de *Pinus greggii* Engelm. En: Santiago de Anaya, Hidalgo, México. Madera y Bosques 23: 145-154.

Faustino, I. L., Bulfe, M. L. N., Pinazo, A. M. y Graciano, C. 2012. Crecimiento de cuatro familias de *Pinus taeda* en respuesta a la fertilización con nitrógeno y fósforo en el establecimiento de la plantación. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata 111: 54-63.

Fernández, R., Aspillaga, F. R., Lupi, A., Hernández, A. y Reis, H. 1999. Efectos de diferentes prácticas de preparación del terreno y fertilización sobre el crecimiento inicial del *Pinus spp* en el NE argentino. Bosque 20: 47-55.

Galicia, L., Gamboa Cáceres, A. M., Cram, S., Chávez Vergara, B., Peña Ramírez, B., Saynes, V. y Siebe, C. 2016. Almacén y dinámica de carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. Terra Latinoamericana 34: 1-29.

Goya, J. F., Pérez, C., Frangi J. L. y Fernández, R. 2003. Impacto de la cosecha y destino de los residuos sobre la estabilidad del capital de nutrientes en plantaciones de *Pinus taeda* L. Ecología Austral 13: 139-150.

Ibáñez, C., Núñez, P., Pezzutti, R. y Rodríguez, F. 2004. Efectos de la roturación del suelo y fertilización con fósforo en el crecimiento inicial de plantaciones de *Pinus taeda*, en suelos rojos del noreste de la provincia de Corrientes, Argentina. Bosque 25: 69-76.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2000. Carta Edafológica F14D81, escala 1:250 000. México, D.F.

Jokela, J. E. y Long, J. A. 2012. Using soils to guide fertilizer recommendations for southern Pines. University of Florida, IFAS Extention.

Kane, M. 1992. El control químico de malezas y la fertilización aumentan el crecimiento de *Pinus caribaea* var. hondurensis durante los primeros 20 meses de plantación en el pie de monte. Smurfit Kappa: Investigación Forestal. Venezuela. Informe Nº 8. 12 pp.

Lázaro-Dzul, M. O., Velázquez-Mendoza, J., Vargas-Hernández, J. J., Gómez-Guerrero, A., Álvarez-Sánchez, M. E. y López-López, M. A. 2012. Fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en un latizal de *Pinus patula* Schl. et Cham. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 18: 33-42.

SAS Institute Inc. 2013. SAS/Stat use´s guide: Statistics. Release 9.4 SAS Inst., Cary, NC, USA. 1028 pp.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat]. 2002. Norma Oficial Mexicana (NOM-021-SEMARNAT-2000) que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. México D. F. Diario Oficial de la Federación, segunda sección. 85 pp.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EFECTO DEL VANADIO EN LA FLORACIÓN Y CRECIMIENTO DE PLANTAS DE CHILE (*Capsicum annuum*)

García-Jimenez, A.[1*], Trejo-Téllez, L. I.[2], Guillen-Sánchez, D.[3], Gómez-Merino, F. C.[1]

[1]Depto. de Fisiología Vegetal, CP-Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, [2]Depto. de Edafología CP-Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México [3]UAEM Xalostoc, Ayala, Morelos, México.

*Autor responsable: fernandg@colpos.mx

Resumen

El vanadio (V) puede ser absorbido por las plantas y regular su crecimiento y desarrollo, aunque se han reportado efectos de contraste entre las especies y las condiciones de manejo. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto benéfico de V en plantas de chile (*Capsicum annuum* L.). Las plantas se cultivaron en un sistema hidropónico con la aplicación de cuatro concentraciones de V (0, 5, 10 y 15 µM NH4VO3). Cuatro semanas después del inicio del tratamiento, crecimiento, floración, biomasa, concentración de clorofila y nutrientes se determinaron en hojas, tallos y raíces. La aplicación de 5 µM V incrementó el crecimiento de las plantas, indujo el desarrollo de brotes florales y aceleró la floración. La concentración de clorofila varió según el tipo de parte de la planta analizada. Con 10 y 15 µM V, las plantas eran más pequeñas y mostraban síntomas de toxicidad. La concentración de K en las hojas disminuyó a medida que aumentaba la dosis de V (0 a 15 µM). Sin embargo, 5 µM V aumentó las concentraciones de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Mn y B, exclusivamente en tallos. La aplicación de 15 µM V disminuyó las concentraciones de Mg y Mn en las hojas, pero aumentó las de P, Ca, Mg, Cu y B en las raíces. Concluimos que V tiene efectos positivos en el crecimiento y desarrollo del chile. V fue antagónico con K, Mg y Mn en hojas, mientras que, en tallos y raíces, hubo sinergismo con macro y micronutrientes.

Palabras clave: Benéfico, crecimiento y nutrición.

Introducción

El vanadio (V) es un metal de transición ampliamente distribuido en la corteza terrestre, se puede encontrar a una concentración media de 20 a 120 mg kg^{-1} (Baken *et al*., 2012); sin embargo, tiene poca movilidad en el suelo, ya que menos del 1% del total de V es extraíble y lixiviable con agua (Yang *et al*., 2014; Tian *et al*., 2015). Los primeros estudios identificaron al V como un elemento altamente tóxico para las plantas (Witz y Osmond, 1886), en la década de 1950 Bertrand (1950) observó que a concentraciones de 10 ng de suelo V g^{-1}, podían influir positivamente en el crecimiento de las plantas. Estudios posteriores indicaron que, debido a los diferentes estados de oxidación de este elemento (que oscilan de -1 a +5), su toxicidad para las plantas se asocia con su forma de oxidación pentavalente (V^{+5}), mientras que la forma tetravalente (V^{+4}) puede contribuir a su desarrollo (Larsson *et al*., 2011). Aunque V^{+4} es el menos tóxico, la forma de V, también se considera la menos móvil y la más predominante en suelo.

V es un metal que se encuentra en bajas concentraciones en todas las plantas, y su absorción se realiza mediante absorción pasiva (Welch, 1973). Este elemento puede actuar como un catalizador redox en el transporte de electrones en los fotosistemas I y II, dependiendo de las condiciones

ambientales (Delfert and McDonald, 1985; Bode *et al.*, 1990). Con respecto a sus efectos positivos en las plantas, la aplicación de dosis inferiores a 0.05 mg L^{-1} V aumentó la producción de maíz (*Zea mays*) y la calidad del grano (Singh, 1971). Además, la aplicación de 250 ng mL^{-1} V aumentó la altura, el número de hojas y flores y la concentración de clorofila en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) (Singh, 1971). En la albahaca (*Ocimum basilicum*), la biomasa seca de las raíces aumentó linealmente al aumentar las concentraciones de V de 0 a 40 mg L^{-1} (Akoumianaki-Ioannidou *et al*., 2015). También se ha demostrado que V puede contrarrestar los efectos negativos de ciertos metales como el Cu (Wang *et al*., 2013). Otra función bien conocida de V es su participación como cofactor de la enzima nitrogenasa. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de diferentes concentraciones de V en el crecimiento, la floración, la concentración de clorofila, los aminoácidos, los azúcares y los nutrientes, en plantas de chile en un sistema hidropónico, para identificar posibles efectos benéficos.

Materiales y Métodos

La variedad de chile (*Capsicum annuum*) fue Mysterio y las semillas se germinaron en bandejas de polipropileno con 200 cavidades en sustrato de turba (Theriault & Hachey Peat Moss Ltd., Growing Mix; Baie Sainte-Anne, New Brunswick, Canadá). 30 días después de la siembra, las plántulas se transplantaron a recipientes de plástico de 35 L con una solución nutritiva Steiner al 20%, que contenía 1,8 mM de Ca $(NO_3)_2$ $4H_2O$, 0,8 mM de $MgSO_4$ $7H_2O$, 0,2 mM KH_2PO_4, 0,6 mM KNO_3, 0,6 mM K_2SO_4, 89.31 µM Fe, 42.37 µM Mn, 7.12 µM Zn, 39.98 µM B, 2.93 µM Cu, 1.80 µM Mo (Tradecorp ARIZONA; Guadalajara, Jalisco, México). Después de un período de adaptación de siete días, la solución nutritiva se reemplazó totalmente y los tratamientos se aplicaron en la solución nutritiva renovada. Los tratamientos que se analizaron consistieron en 5, 10 y 15 µM de V en forma de vanadato de amonio (NH_4VO_3) (Sigma-Aldrich; St. Louis, MO, EE. UU.) y el testigo sin V, para tener 4 niveles. La altura de la planta y la longitud de la raíz se midieron a los 7, 14, 21 y 28 días después de aplicar los tratamientos (dat). En la última evaluación (28 dat), se determinó el número de hojas y brotes florales, el diámetro del tallo, el volumen de la raíz, el área de la hoja y la biomasa fresca y seca de raíces, tallos, hojas y flores. Las concentraciones de clorofilas (Chl a, Chl b, y Chl total) se determinaron mediante el método descrito por Geiger *et al.* (1998). Se mezclaron 60 mg de material vegetal macerado con 1500 µL de etanol al 80% (v / v). Las muestras se incubaron en un baño de agua (Thermo Fisher Precision; Waltham, MA, EE. UU.), a 80 ° C durante 20 min, se centrifugaron a 14,000 rpm en una centrífuga Eppendorf 5424 (Eppendorf, Alemania) durante 5 min, y y se extrajo la fase líquida. Este procedimiento se realizó dos veces más con etanol al 80 y 50%, respectivamente. De la mezcla extraída de etanol triple, se tomaron 488 µL y se mezclaron con 1275 µL de etanol al 98% (v / v); esta absorbancia de la mezcla se leyó posteriormente en un espectrofotómetro (Jenway 6715 UV / Vis; Staffordshire, Reino Unido) a 645 y 665 nm. Se realizaron cuatro repeticiones por tratamiento con dos submuestreos. Clorofilas a y b se determinaron con las siguientes fórmulas:

Clorofila *a* (µg/mg de peso fresco) = (5.46 x Abs665) – (2.16 x Abs645)
Clorofila *b* (µg/mg de peso fresco) = (9.67 x Abs645) – (3.04 x Abs665)

El contenido total de clorofila fue la suma de clorofila a y b. Adicionalmente, realizamos una verificación cruzada a través del análisis de clorofila total. Las concentraciones de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, B y V se determinaron en la biomasa seca de hojas, tallos y raíces. La concentración de N se realizó a través del método semimicro-Kjeldahl (Bremner, 1965), mientras que las concentraciones de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, B y V se determinaron mediante digestión húmeda de la materia seca con Mezcla de ácido perclórico y nítrico (Alcántar y Sandoval, 1999). Los extractos obtenidos se leyeron en un equipo de espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (Agilent 725 ICP-OES; Mulgrave, Victoria, Australia). Los datos se sometieron a una prueba de Shapiro-Wilk y Bartlett ($P \leq 0.05$) para demostrar la normalidad y la homogeneidad de las varianzas. Se hizo una transformación logarítmica cuando fue necesario; los datos se muestran sin transformación. Una vez que se comprobó la homogeneidad, se realizó un análisis de varianza (ANOVA). Adicionalmente, Cuando hay diferencia entre tratamientos se realiza el análisis de medias con el método de Duncan a un nivel de significación de 0.05 ($\alpha = 0.05$). Todos los análisis se realizaron con el software SAS (2011).

Resultados y Discusión

A los siete días después de la aplicación de los tratamientos (dat), la altura de la planta fue mayor en las plantas tratadas con 5 y 10 µM V que con los otros tratamientos (Fig. 1A). Después de 14 días, las plantas tratadas con 5 µM V fueron más altas que las de todos los otros tratamientos; a los 28 dat, estas plantas fueron un 21,7% más altas que el testigo. Las plantas testigo también fueron más bajas que las tratadas con 10 y 15 µM V hasta la tercera evaluación después de aplicar los tratamientos (21 dat). A los 28 días, las plantas tratadas con 15 µM V fueron más bajas que las del testigo. Vanadio tuvo un efecto diferente sobre la longitud de la raíz y la altura del tallo. En todas las mediciones tomadas, las plantas testigo mostraron un mayor valor de estas variables, mientras que las plantas tratadas con 5 µM V generalmente mostró medias inferiores (Fig. 2A, 2B, 2C y 2D). Plantas tratadas con 10 y 15 µM V mostró valores intermedios (Fig. 1B). En general, a medida que aumentaba la concentración de V, aumentaba el crecimiento de la raíz, aunque V no estimulaba un mayor crecimiento que el testigo.

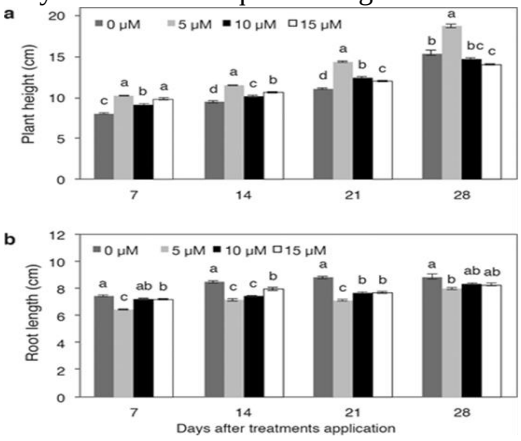


Fig 1. Efecto del vanadio (0, 5, 10 y 15 µM V) sobre el crecimiento de la planta de pimiento. Altura de la planta (a) y longitud de la raíz (b). Los valores son medias ± error estándar (SE) de al menos cinco plantas individuales. Las diferentes

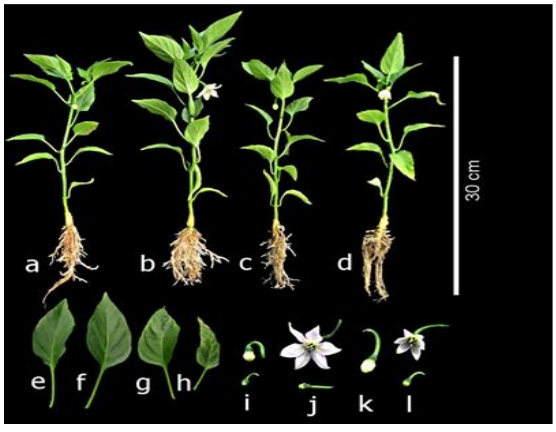


Fig 2. Crecimiento y desarrollo mostrado por las plantas de chile 28 días después del tratamiento con diferentes concentraciones de vanadio (0, 5, 10 y 15 µM V). Testigo: a, e, i; 5 µM V: b, f, j; 10 µM V: c, g, k; y 15 µM V: d, h, l

letras sobre las barras indican diferencias significativas (Duncan, $\alpha = 0.05$).

La concentración de clorofila *a* en las hojas fue mayor en las plantas tratadas con 5 µM V, seguida del testigo y en menor proporción de las plantas tratadas con 10 y 15 µM V. Por el contrario, en en los tallos, la concentración más alta de clorofila a se encontró con la aplicación de 15 µM V, seguida de 5 µM V y en una concentración más baja por los tratamientos de 10 µM V y control. La concentración de clorofila *b* en hojas y tallos fue la más alta en las plantas tratadas con 15 µM V. En particular, la concentración de clorofila *b* fue similar en las hojas de las plantas testigo y en las tratadas con 15 µM V. En los tallos, la concentración más baja de este pigmento se observó con 5 µM V. La concentración del total de clorofila en las hojas fue más alta en las plantas tratadas con 5 µM V, mientras que el testigo y 15 µM no fueron estadísticamente diferentes. La concentración más baja de estas moléculas se encontró en plantas tratadas con 10 µM V. En los tallos, la concentración de clorofilas totales fue mayor en el tratamiento con 15 µM, mientras que el resto de los tratamientos fueron estadísticamente similares. Además, la proporción de clorofila *a* / *b* en las hojas fue la más alta con 5 µM V, y disminuyó a medida que aumentaba la concentración de V. De manera similar, la proporción de clorofila *a* / *b* en tallos fue la más alta en plantas tratadas con 5 µM, y la proporción más baja se obtuvo en el testigo y en plantas tratadas con 10 µM V (Cuadro 1).

Cuadro 1. Concentración de clorofila (mg g^{-1} de biomasa fresca) en hojas y tallos de plantas de chile expuestas a diferentes concentraciones de vanadio (V) en la solución nutritiva durante 28 días.

Clorofila	Parte de la planta	Concentración de Vanadio				*P*
		Testigo (0 µM V)	5 µM V	10 µM V	15 µM V	
Clorofila a	Hojas	1513.73 ± 8.5b	1670.79 ± 6.1a	1455.36 ± 11.9c	1495.70 ± 6.0bc	<0.0001
	Tallos	348.95 ± 3.7c	416.85 ± 5.5b	358.50 ± 3.5c	481.88 ± 3.5a	<0.0001
Clorofila *b*	Hojas	291.82 ± 6.2a	236.12 ± 4.1b	248.11 ± 4.7b	297.63 ± 3.2a	0.001
	Tallos	112.65 ± 1.7b	49.44 ± 0.5c	107.33 ± 1.8b	127.55 ± 1.2a	<0.0001
Clorofila Total	Hojas	1805.55 ± 12.9b	1906.91 ± 8.3a	1703.47 ± 11.2c	1793.32 ± 9.0b	0.0002
	Tallos	461.60 ± 4.3b	466.30 ± 5.9b	465.84 ± 5.0b	609.43 ± 4.6a	<0.0001
Clorofila a/b	Hojas	5.21 ± 0.1c	7.10 ± 0.04a	5.89 ± 0.10b	5.03 ± 0.03c	<0.0001
	Tallos	3.10 ± 0.05c	8.43 ± 0.06a	3.34 ± 0.04c	3.77 ± 0.01b	<0.0001

En las hojas, V no afectó las concentraciones de N, P, Ca, Fe, Cu, Zn y B (Cuadro 2). La concentración K fue menor en los tres tratamientos con V en comparación con el testigo. Por otra parte, las concentraciones de Mg y Mn solo fueron estadísticamente más bajas en las plantas tratadas con 15 µM V en comparación con el testigo. En tallos, la concentración de N fue mayor con la aplicación de 5 µM V, mientras que 10 y 15 µM produjeron medias estadísticamente similares a los del testigo (Cuadro 2). Las concentraciones de P y Mg fueron mayores en las plantas tratadas con 5 µM V, y disminuyeron a medida que aumentaba la dosis de V, hasta ser similares al

testigo. Las concentraciones de K, Ca, Cu, Mn y B fueron mayores con la aplicación de 5 y 10 µM V, mientras que no hubo diferencias significativas entre las plantas tratadas con 15 µM y el testigo. V no alteró las concentraciones de Fe y Zn en este órgano vegetal. En las raíces, la aplicación de V no afectó la concentración de N, pero las concentraciones de P, Ca, Mg, Cu y B fueron las más altas con 15 µM V (Cuadro 2). Curiosamente, observamos una tendencia a que las concentraciones de estos nutrientes aumenten a medida que aumenta la dosis de V en la solución de nutrientes. Las concentraciones de K, Fe, Zn y Mn fueron similares entre el testigo y los tres tratamientos con V, especialmente en plantas tratadas con 5 y 15 µM V. Además, hubo una clara tendencia de estos últimos nutrientes a aumentar a medida que los V aplicados dosis aumentada. La concentración de V en las hojas osciló entre 20,62 y 23,58 mg kg^{-1} de biomasa seca, sin diferencias estadísticamente significativas observables entre tratamientos. En los tallos, la concentración de V fue mayor en los tratamientos con 5 y 10 µM, mientras que en el caso de 15 µM, la concentración de V fue similar al control. La concentración de V en las raíces fue significativamente mayor, más alto en plantas tratadas con V que en el testigo; a medida que aumentaba la dosis de V, la concentración de V aumentaba de 8 a 13 veces en comparación con el testigo.

Cuadro 2. Concentraciones de nutrientes minerales en hojas, tallos y raíces de plantas de chile expuestas a diferentes concentraciones de vanadio (V) durante 28 días.

Vanadio (µM)	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Hojas	g kg^{-1} MS					mg kg^{-1} MS				
0	34.9 ± 1.4a	4.4 ± 0.1a	12.8 ± 0.2a	12.6 ± 0.8a	6.6 ± 0.1a	158.6 ± 3.8a	36.0 ± 1.5a	48.1 ± 0.8a	662.2 ± 10.0a	67.6 ± 1.1a
5	50.2 ± 9.5a	3.7 ± 0.1a	9.8 ± 0.2b	12.4 ± 0.6a	6.4 ± 0.1a	142.2 ± 6.3a	45.6 ± 3.5a	41.7 ± 0.1a	711.2 ± 16.1a	59.9 ± 1.8a
10	25.2 ± 1.5a	3.6 ± 0.2a	8.5 ± 0.4b	11.1 ± 0.6a	5.9 ± 0.2ab	145.1 ± 9.6a	48.4 ± 1.5a	40.0 ± 1.9a	688.2 ± 35.4a	58.0 ± 2.2a
15	25.6 ± 0.7a	3.4 ± 0.3a	6.3 ± 0.5c	9.4 ± 0.8a	4.9 ± 0.4b	164.9 ± 17.6a	43.0 ± 5.9a	39.0 ± 3.8a	443.7 ± 34.9b	57.0 ± 4.3a
Tallos	g kg^{-1} MS					mg kg^{-1} MS				
0	12.7 ± 0.6b	1.0 ± 0.1c	3.5 ± 0.2b	2.1 ± 0.1b	1.4 ± 0.1c	196.7 ± 17.0a	3.1 ± 0.3b	12.6 ± 0.9a	79.2 ± 2.8b	16.3 ± 1.1b
5	26.3 ± 2.90a	2.4 ± 0.1a	8.0 ± 0.2a	3.8 ± 0.1a	2.4 ± 0.1a	58.5 ± 1.9a	14.8 ± 1.2a	16.7 ± 1.9a	185.4 ± 4.4a	28.5 ± 0.9a
10	12.7 ± 0.9b	1.9 ± 0.1b	6.5 ± 0.4a	3.6 ± 0.2a	2.1 ± 0.1ab	99.3 ± 11.9a	13.9 ± 2.8a	14.6± 0.5a	171.3 ± 12.0a	32.5 ± 0.3a
15	12.6 ± 0.9b	1.3 ± 0.1c	4.0 ± 0.5b	2.5 ± 0.2b	1.6 ± 0.2bc	62.9 ± 5.5a	6.4 ± 0.9ab	13.1 ± 0.7a	103.5 ± 9.1b	21.2 ± 1.3b
Raices	g kg^{-1} MS					mg kg^{-1} MS				
0	29.4 ± 1.8a	1.4 ± 0.2b	3.0 ± 0.4ab	0.9 ± 0.1b	0.6 ± 0.1b	159.8 ± 13.9ab	7.9 ± 0.9b	20.2 ± 3.0ab	174.6 ± 25.9ab	9.7 ± 1.1b
5	26.7 ± 1.0a	0.7 ± 0.1b	1.3 ± 0.6b	0.8 ± 0.1b	0.4± 0.1b	76.2 ± 4.9b	4.8 ± 0.5b	13.4 ± 0.6b	77.7 ± 9.4b	5.3 ± 0.4b
10	38.6 ± 5.6a	1.4 ± 0.1b	2.3 ± 0.2ab	1.0 ± 0.1b	0.6 ± 0.1b	126.7 ± 13.7ab	7.3 ± 0.5b	19.9 ± 1.4ab	73.0 ± 5.1b	8.8 ± 0.8b
15	30.6 ± 1.0a	3.0 ± 0.5a	5.5 ± 0.9a	2.1 ± 0.3a	1.4 ± 0.2a	220.5± 21.5a	18.4 ± 3.1a	42.0 ± 6.0a	234.1 ± 39.1a	21.4 ± 2.7a

Conclusiones

La aplicación de 5 µM V aumentó la altura de la planta, el diámetro del tallo, el número de hojas y brotes florales, el volumen de la raíz y el peso de la biomasa fresca y seca de las plantas de pimiento. Sin embargo, a concentraciones más altas (es decir, 10 y 15 µM V), este elemento tuvo efectos negativos en la planta. Además, la aplicación de este elemento a bajas concentraciones estimuló la concentración de clorofilas en las hojas. Los efectos negativos de V solo se encontraron en las concentraciones de K en las hojas, mientras que los niveles altos de V (15 µM) modificaron negativamente las concentraciones de Mg y Mn en las hojas. Otros nutrientes, como Fe y Mn, no se modificaron en ninguno de los órganos evaluados. El resto de los nutrientes esenciales analizados en los diferentes órganos de la planta tuvieron un efecto sinérgico con V, especialmente con 5 µM en tallos y 15 µM en raíces. Dado el efecto estimulante de V en el crecimiento y desarrollo de la planta de chile durante la etapa vegetativa y el inicio de la floración, el presente estudio demuestra

que V puede funcionar como un elemento beneficioso y tener un uso potencial para mejorar la producción de cultivos agrícolas. Los enfoques fisiológicos, bioquímicos y genómicos dilucidarán aún más los nuevos mecanismos de acción y apoyarán el uso extensivo de V en plantas, así como su uso potencial en estrategias de bioestimulación y biofortificación. Estas posibilidades aguardan más estudios.

Referencias

Akoumianaki-Ioannidou A, Barouchas PE, Kyramariou A, Ilia E, Moustakas NK. 2015. Effect of vanadium on dry matter and nutrient concentration in pennyroyal (Mentha pulegium L). Bull UASVM Hortic. 72: 295–298.

Alcántar GG y Sandoval MV. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación Especial. Núm. 10. SMCS. Chapingo, México.

Bertrand G. 1950. The biogeochemistry of vanadium. Bull Am Museum Nat Hist. 94: 409–455.

Bode HP, Friebel C, Furhmann F. 1990. Vanadium uptake by yeast cells. BBA-Biomembranes. 1022: 163–170. https://doi.org/10.1016/0005-2736(90)90110-A PMID: 2155019.

Bremner J M. 1965. Total nitrogen. Agronomy. 9:1149–1178.

Delfert DM, McDonald JM. 1985. Vanadyl and vanadate inhibit Ca2+ transport systems of the adipocyte plasma membrane and endoplasmatic reticulum. Arch Biochem Biophys. 241: 665–672. https:// doi.org/10.1016/0003-9861(85)90593-4 PMID: 2931050.

Geiger M, Walch-Liu P, Engels C, Harnecker J, Schulze ED, Ludewig F, Sonnewald U, Scheible WR, Stitt M.1998. Enhanced carbon dioxide leads to a modified diurnal rhythm of nitrate reductase activity in older plants, and a large stimulation of nitrate reductase activity and higher levels of amino acids in young tobacco plants. Plant Cell Environ. 21: 253–268. https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1998.00277.x

Larsson MA, Baken S, Gustafsson JP, Hadialhejazi G, Smolders E. 2011. Vanadium bioavailability and toxic- ity to soil microorganisms and plants. Environ Toxicol Chem. 32:2266–2273. https://doi.org/10. 1002/etc.2322 PMID: 23832669.

SAS. Institute Inc. SAS/STAT Users Guide. Version 9.3. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 2011.

Singh BB.1971. Effect of vanadium on the growth, yield and chemical composition of maize (Zea mays L.). Plant Soil. 34: 209–212. https://doi.org/10.1007/BF01372773.

Wang H, Wang T, You L, Zhong G, Shi G.2013. Effects of vanadate supply on plant growth, Cu accumulation, and antioxidant capacities in Triticum aestivum L. Environ Geochem Health. 35:585–592. https:// doi.org/10.1007/s10653-013-9541-z PMID: 23824494

Welch RM. 1973. Vanadium uptake by plants. Absorption kinetics and the effects of pH, metabolic inhibitor, and other anions and cations. Plant Physiol.51: 828–832 PMID: 16658421.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

MANEJO ORGÁNICO: INCREMENTO EN LA ESTABILIDAD DE LOS AGROSISTEMAS ANTE VARIACIONES CLIMÁTICAS

Reyna-Ramírez, C. A.[1*]; Rodríguez-Sánchez, L. M.[1]; Fuentes-Ponce, M.[1]; Etchevers-Barra, J.[2]

[1]Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Ciudad de México. México.
[2]Colegio de Posgraduados. Texcoco, Estados de México. México.

*Autor responsable: cristian.alex.reyna@gmail.com; Calle Calzada del hueso Núm. 1100, Col. Villa de la Quietud. Cuidad de México. México. CP 04960; Tel. +52(55)-7087-1323

Resumen

En el contexto climático actual la producción agrícola debe considerar la reducción del impacto ambiental, y contribuir a la mitigación en un ámbito local de modelos de producción, El objetivo de este estudio fue diseñar, implementar y evaluar diferentes estrategias de manejo agronómico, enfocadas en mejorar la calidad del suelo de los agroecosistemas tradicionales (milpa). Se implementaron manejos alternativos en una parcela experimental durante dos años, los cuales incluyeron el uso de enmiendas orgánicas en comparación a fertilizantes sintéticos. Se midieron los cambios en las características químicas del suelo. Después de 2 años, los tratamientos orgánicos mostraron un aumento en el pH del suelo (de 5.02 a 5.5-5.6), en contraste con el tratamiento convencional donde se acidificó (pH 4.9), lo que repercutió en la disponibilidad del P impactando en los rendimientos esperados. La concentración de nitrato en el suelo (NO_3) en el primer año fue similar en el manejo convencional y orgánico. Sin embargo, en el manejo convencional hubo mayores pérdidas de N por lixiviación en ambos ciclos (112.6 kg ha^{-1} y 212.2 kg ha^{-1} respectivamente), a causa de las altas precipitaciones (972 mm en 2012 y 1231 mm en 2013). En el segundo año se presentaron dos huracanes, el sistema orgánico fue el más estable en términos de rendimiento y calidad del suelo. La aplicación de fertilizantes orgánicos sólidos permitió la mejora del suelo en el agroecosistema "milpa" en la región de la montaña de Guerrero, además de ser un sistema más estable ante las variaciones abruptas del clima.

Palabras clave

Fertilizantes sintéticos; policultivos, montaña de Guerrero, acidez del suelo

Introducción

Los cambios abruptos en el clima causan impactos en la agricultura, principalmente a través de aumentos en la temperatura promedio y en la intensidad y frecuencia de eventos extremos, tales como fuertes precipitaciones y sequias prolongadas (IPCC, 2014). Las regiones en desarrollo y sus agricultores, tienden a verse afectados por los cambios en el clima, ya que carecen del capital social y económico básico necesario para las estrategias de adaptación predominantes (Mendelsohn y Dinar 2009), por lo cual es necesario la búsqueda de nuevos modelos desarrollados localmente con un enfoque de intensificación ecológica para los pequeños agricultores, debido a que contempla el

incremento del rendimiento y el cuidado del medio ambiente y el contexto de la comunidad para el desarrollo e implementación de alternativas (Tittonell, 2014), lo que fomenta el desarrollo de sinergias que podrían ayudar a la adaptabilidad de los cambios a las comunidades y sus sistemas agrícolas en este contexto, y posiblemente a la mitigación. Con base en esto el objetivo de la presente investigación fue proponer, implementar y evaluar diferentes estrategias de intensificación ecológica, enfocadas en mejorar la calidad del suelo de los agroecosistemas tradicionales.

Materiales y Métodos

Este estudio se realizó en la región de la montaña de Guerrero en la comunidad de Mexcaltepec (latitud 17º27'45"N y longitud -98º 54' 20" E) a 2500 msnm. La temperatura media varia de 14 a18 ºC, con una precipitación anual entre 400 y 1450mm (CONAGUA, 2013). Se trabajó con un grupo de productores llamados Coahui-Xochil (flor de tila), y la organización ENLACE. AC. Con los que se construyeron e implementaron las parcelas experimentales por 2 años.
El experimento se basó en el sistema milpa (maíz, frijol y calabaza intercalados), con labranza mínima del suelo, y árboles frutales alrededor de la parcela. Se retuvieron los residuos del cultivo de maíz, el control de malezas se realizó manualmente, la siembra con coa y a curvas a nivel. Se implementaron 5 tratamientos en el primer año con tres repeticiones, y en el segundo año 9 debido a que se le agregó cal (producto de la nixtamalización) algunos tratamientos. Primer año:, vermicomposta (V), vermicomposta + microorganismos de montaña-sólido (V+MMS), vermicomposta + microorganismos de montaña-líquido (V+MMS), vermicomposta líquido (VL) y convencional (C) que fertilizantes inorgánicos. Segundo Del primer año al segundo se cambió de vermicompost sólido a bokashi y vermicomposta líquido por la orina. Además se incorporó cal en los diferentes tratamientos, las unidades experimentales se subdividieron en dos partes, una con tratamientos orgánicos y la otra con el mismo tratamiento más el material calizo: bokashi + cal (B+Ca), bokashi (B), bokashi + micro organismos de montaña solidos+ cal (B+MMS+Ca), bokashi + micro organismos de montaña solidos (B+MMS), bokashi + micro organismos de montaña líquidos+ cal (B+MML+Ca), Bokashi + micro organismos de montaña liquidos (B+MML), Orina + cal (O+Ca), Orina (O) y sistema convencional (C).
Se evaluó la condición inicial del suelo por medio de un muestreo aleatorio del suelo (0 a 20 cm de profundidad). Posteriormente en el año 1 y 2 de experimento se obtuvieron muestras compuestas por unidad experimental a dos profundidades (0 a 10 cm y 10 a 20 cm). Las características químicas del suelo determinadas fueron: pH (potenciómetro, suelo-agua 1:2), materia orgánica (Walkey and Black), NO_3^- y NH_4^+ (Procedimiento de destilación al vapor) y P extraíble (método de Bray).
Los resultados de las características del suelo se compararon usando un ANOVA. La comparación se realizó para cada año experimental. Las medias se compararon con una prueba de Tukey (R Studio Version, 2016).

Resultados y Discusión

En la región de estudio se presentaron dos huracanes (Ingrid-Manuel) en el segundo año de experimentación,, lo que produjo una perdida tanto de suelo como de N. Sin embargo, a pesar de que hubo fuertes lluvias en ambos años, la precipitación fue aún insuficiente para cumplir con los requisitos del maíz en la etapa de llenado de grano (Septiembre 2012, Agosto 2013: Figura 1)

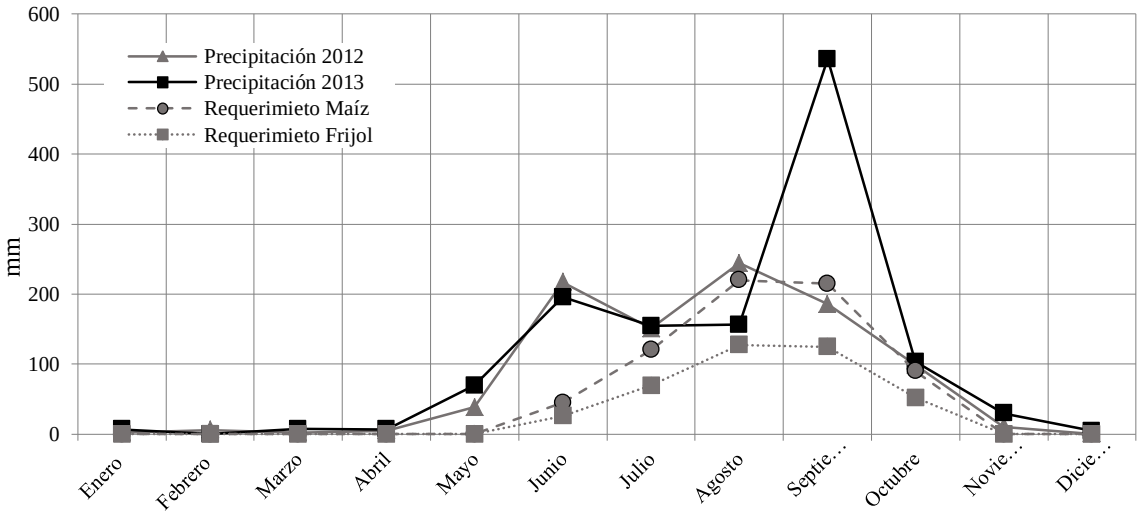


Figura 1. Precipitación mensual (mm) de los años 2012 y 2013 del Estado de Guerrero (CONAGUA, 2013) y requerimientos de agua de los cultivos de maíz y frijol durante todo el ciclo.

Los tratamientos afectaron significativamente ($p > 0.05$) el pH y las concentraciones de $N\text{-}NO_3$ de 0 a 10 y de 10 a 20 cm de profundidad (Figura 2 y 3). Las aplicaciones de fertilizantes orgánicos favorecieron el aumento del pH del suelo respecto al inicial y convencional (Figura 2 y 3), aportando cationes básicos como K^+, Ca^{2+} y Mg^{2+} a la solución del suelo que reacciona para alcalinizar el medio (Arrieche y Mora, 2005; Harfreaves *et al.*, 2008). Sin embargo, la adición del residuo alcalino del proceso de nixtamalización ($Ca(OH)_2 + CaCO_3$) no redujo la acidez del suelo. Los valores de pH más bajos se encontraron en las parcelas tratadas con fertilizantes sintéticos: 4.9 de 0 a 10 cm en el primer año y 5.1 en la misma profundidad en el segundo año (Figura 2 y 3). Lo cual se atribuyó a la incorporación de amonio (sulfato de amonio), que liberó iones H^+ en la nitrificación (Krusche *et al.*, 2003). La acidificación del suelo afecta la disponibilidad de nutrientes y la actividad biológica (Bautista *et al.*, 2004); la acidificación con tratamientos convencionales se observó en ambos años de experimentación. El tratamiento con fertilizante sintético presentó la menor productividad de frijol (395.6 kg ha^{-1}), en comparación con los otros tratamientos. El desarrollo de este cultivo es limitado en suelos con pH <5 debido a la toxicidad de aluminio y / o manganeso que reduce la disponibilidad de nutrientes como N y P (Dorcinvil *et al.*, 2010; Wolff *et al.*, 1993) y probablemente la inactivación de la bacteria fijadora de Rhizobium N y un impacto negativo en el desarrollo de sistemas de raíces de plantas (Bayuelo-Jimenéz *et al.*, 2012, Camas *et al.*, 2012). Los valores óptimos de pH para el desarrollo de frijol están entre 5.5 y 7.5 (FAO, 1994) similar al de los suelos tratados con enmiendas orgánicas, el rendimiento de frijol en ese tratamiento fue el doble (718 kg ha^{-1} en promedio) que el obtenido con el tratamiento convencional (251 kg ha^{-1}) (Cuadro 1). El aumento en el pH del suelo podría haber sido uno de los factores que mejoró la disponibilidad de nutrientes (particularmente P) y el rendimiento de las plantas de frijol. El fósforo es un factor decisivo en la formación de semillas (Turner *et al.*, 2003), por lo cual la menor disponibilidad de este elemento en el sistema convencional como resultado de la acidez del suelo se reflejó en menores rendimientos en comparación con los sistemas que emplearon mejoradores

orgánicos. En suelos ácidos, la disponibilidad reducida de P como consecuencia del pH es uno de los principales factores que limitan la producción de maíz (Bayuelo-Jimenéz *et al*., 2012). El porcentaje de MOS en la profundidad de 0-10 cm fue alta en el tratamiento con vermicomposta y baja en el tratamiento convencional, la reducción de MOS en el tratamiento convencional del inicio al primer año fue de 2.6% (de 10.9 to 8.3%). La perdida de MOS podría reducir la disponibilidad de macro y micronutrientes, así como afectar la capacidad buffer relacionada al cambio de pH (Hargreaves *et al*., 2008, Vaca *et al.*, 2011).

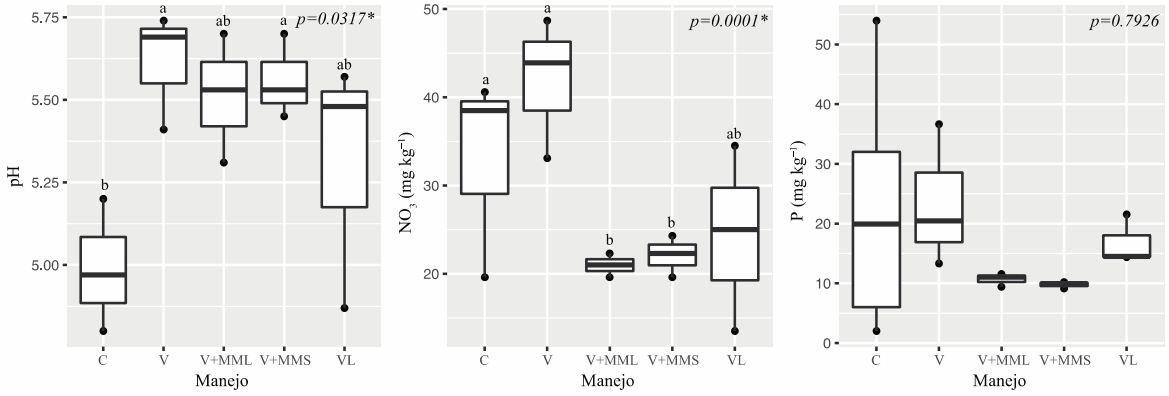


Figura 2. Características químicas del suelo en los diferentes tratamientos en el primer año (0-10 cm).

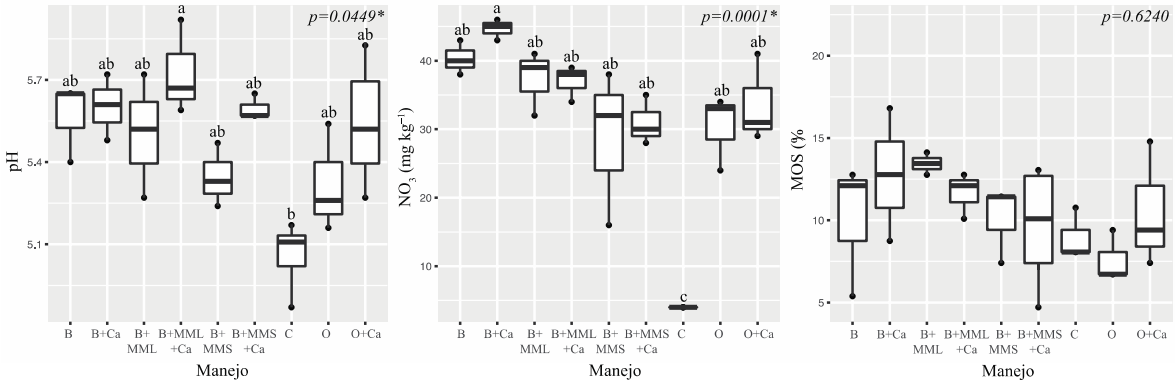


Figura 3. Características químicas del suelo en los diferentes tratamientos en el segundo año (0-10 cm).

Cuadro 1. Rendimientos de las parcelas experimentales de Mexcaltepec, Guerrero ciclo 2012 y 2013

Cultivos	Tratamientos (2012)					Tratamiento (2013)								
Rendimiento (kg ha^{-1})	V	V+ MMS	V+ MML	VL	C	B	B+Ca	B+ MMS	B+ MMS+ Ca	B+ MML	B+ MML+ Ca	O+ Ca	O+ CA	C
Maíz	197	221	235	139.5	729	171	407	142	185	197	224	94	116	117
Frijol	718	645	895	541	295	251	437	255	478	311	360	243	282	173
Calabaza	150	66.6	100	91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	1066	925	1231	772	1124	422	845	398	663	509	584	337	399	290

En el segundo año no se observó diferencia significativa entre tratamientos respecto a la MOS en ninguna profundidad, sin embargo los tratamientos orgánicos presentaron mayor MOS en comparación a los orgánicos líquidos y al convencional (Figura 3). En el primer año de experimentación, los tratamientos de vermicomposta sólido y líquido, así como el convencional presentaron las mayores concentraciones de NO_3 en el suelo en ambas profundidades (Figura 2). En el segundo año, el tratamiento B+Ca presentó la mayor concentración de NO_3 en el suelo (Figura 3), debido a la mineralización del material orgánico aplicado durante el año anterior (Hargreaves *et al*., 2008). Las concentraciones de NO_3 de 40 a 70 mg kg^{-1} en los primeros 15 cm de suelo tienden a lixiviarse con altas precipitaciones independientemente de la textura del suelo (Al-Jamal et al., 1997). En el primer año, el equilibrio entre la permanencia y la pérdida de nitrógeno inorgánico del tratamiento convencional fue el siguiente: al comienzo del ciclo agrícola, el suelo a la profundidad 0 a 20 cm tenía 198 kg ha^{-1} de N (186 kg ha^{-1} del fertilizante y 12 kg ha^{-1} del suelo) pero al final del ciclo, fue de tan sólo 62.3 kg ha^{-1}. El maíz extrajo 23 kg, por lo tanto, 112.6 kg ha^{-1} se perdieron por erosión, lixiviación o emisiones de N a la atmósfera. Este fenómeno fue más evidente en el segundo año debido a la mayor precipitación ocurrida, donde las pérdidas de nitrógeno fueron de 212.2 kg ha^{-1}. El experimento evidenció que en los tratamientos orgánicos con sustratos sólidos, la liberación del N es mucho mas gradual que en el manejo con fertilizante soluble, lo cual es una ventaja para el sistema de milpa en la región de la montaña, en tanto las pérdidas por lixiviación o volatilización del N son menores y el aprovechamiento potencial por el cultivo puede ser mayor.

Conclusiones

La aplicación de abonos orgánicos ayudan a mejorar la calidad de suelo y por tanto la nutricion de las plantas, además demostró tener mayor adaptabilidad o resistencia a las variaciones climáticas, al reducir las pérdidas de nutrientes y conservar el nivel de rendimientos de maíz, frijol y calabaza en el sistema milpa.

Referencias

Al-Jamal, S., T. W. Sammis and T. Jones.1997. Nitrogen and chloride concentration in Deep soil cores related to fertilization. Agr. Water Manage. 34, 1–16.

Arrieche, I. y O. Mora. 2005. Efecto de la aplicación de residuos orgánicos sobre el cultivo de maíz en suelos degradados del Estado Yaracuy, Venezuela. Bioagro 17, 1316–3361.

Bautista, A., J. Etchevers, R. Del Castillo y C. Gutirrez. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. Ecosist. 13, 90–97.

Bayuelo-Jimenéz, J.S., I. Ochoa, V. Pérez, M. D. L. Magdaleno y R. Cárdenas. 2012. Eficiencia a fósforo en germoplasma de maíz de la Maseta Purépecha en etapa de plántula. Rev. Fitotec. Mex. 35 (2), 199–208.

CONAGUA. 2013. Reporte anual. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Gerencia de Meteorología y Climatología Subgerencia de Pronóstico a Mediano y Largo Plazo. Comisión Nacional del Agua.

Camas, R., F. Turrent, J. Cortes, M. Livera, A. Gonzáles, B. Villar y J. López, J. 2012. Soil erosion, runoff and nitrogen and phosphorus losses in hillsides as affected by soil management system in Chiapas, México. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 3 (2), 231–243.

Dorcinvil, R., D. Sotomayor and J. Beaver. 2010. Agronomic performace of common vean (Phaseolus vulgaris L.) lines in an Oxisol. Field Crops Res. 118, 264–272.

FAO. 1994. The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database. In: ECOCROP 1.AGLS. FAO.

Hargreaves, J.C., M.S. Adl and P. R. Warman. 2008. A review of the use of compost municipal solid waste in agriculture. Agric. Ecosyst. Environ. 123, 1–14.

IPPC. 2014. Climare Climate change 2014: synthesis report. In: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC.

Krusche, A.V., P. B. De Camargo, C. E. Cerri, M. V. Ballester, L. B. Lara, R.L. Victoria and L. A. Martinelli. 2003. Acid rain and nitrogen deposition in a sub-tropical watershed (Piracicaba): ecosystem consequences. Environ. Pollut. 121, 389–399.

Mendelsohn, R. and A. Dinar. 2009. Climate Change and Agriculture: an Economic Analysis of Global Impacts, Adaptation and Distributional Effects. Edward Elgar, Cheltenham.

RStudio, 2016. RStudio: Integrated development environment for R (Version 0.99.893) [Computer software]. RStudio, Boston, MA (Retrieved May 20, 2016).

Tittonell P. 2014. Ecological intensification of agriculture-sustainable by nature. Current Opinion in Environmental Sustainability 8:53–61.

Turner, B.L., N. Mahieu and L. M Condron. 2003. Phosphorus-31 nuclear magnetic resonance spectral assignments of phosphorus compounds in soil NaOH–EDTA extracts. Soil Sci. Soc. Am. J. 67, 497–510.

Vaca, R., J. Lugo, R. Martínez, M. Esteller and H. Zavaleta. 2011. Effects of sewage sludge and sewage sludge compost amendment on soil properties and Zea mays L. Plants (heavy metals, quality and productivity). Rev. Int. Contam. Ambie. 27, 211–303.

Wolff, A.B., P. W. Singleton, M. Sidirelli and B. Bohlool. 1993. Influence of acid soil on nodulation and interstrain competitiveness in relation to tannin concentrations in seeds and roots of Phaseolus vulgaris. Soil Biol. Biochem. 25, 715–721.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EVALUACION DE FERTILIZANTES FOLIARES EN AGUACATE. EFECTO EN AMARRE, CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE FRUTO Y NUTRICIÓN FOLIAR

Tapia-Vargas[1] L.M.[*]; Larios- Guzmán[1] A.[1]; Hernández-Pérez[2] A.[2]; Alvarez-Hernández[2] J.[2]; Rodríguez-Jiménez[3] M.[3]; Guillén-Garibaldo[3] L.[3]; Guillén-Andrade[3] H.[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Uruapan, Mich., México.
[2]INIFAP. Apatzingán, Mich., Méxicos.
[3]Facultad de Agrobiología. Universidad Michoacana. Uruapan, Mich., México.

*Autor responsable: mariotv60@hotmail.com; Av. Latinoamericana 1101 Col. Revolución. Uruapan, Mich., México C.P. 04010 tel (452)1261643

Resumen
El objetivo fue evaluar programas de nutrición foliar orgánicos y minerales en aguacate para incrementar amarre, crecimiento y rendimiento de fruto y nutrición foliar. El experimento se llevó a cabo en el municipio de Uruapan en la localidad Jicalán situada al suroeste de la ciudad de Uruapan. Los foliares evaluados fueron: 1. Fósforo y calcio activo + magnesio, potasio y zinc (FAC); 2. Extracto de alga organico (EA); 3. EA + compuestos orgánicos (EAO); 4. EA + agentes activos (EAA) y un testigo sin aplicación foliar. Los tratamientos se aplicaron cada 20 días en yemas en dormancia, hasta 16% de materia seca. Se utilizó el Diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos y ocho repeticiones. Tomando cada árbol como una unidad experimental o repetición y aislados con cuatro árboles a cada costado, en cuatro ramas por árbol marcadas previamente se registró: floración (%), número de frutos cerillo y canica, rendimiento de fruto y nutrición foliar. Los resultados indicaron que todos los tratamientos foliares superan entre 12 a 55% en fruto cerillo y fruto canica entre 4 y 40% al testigo sin foliar, en crecimiento de fruto EA, EAO y EAA, superaron al testigo en longitud y diámetro en al menos 3 y 2%, respectivamente, mientras que en rendimiento todos los foliares produjeron más que el testigo, con hasta 6.3 ton/ha; en nutrición foliar en nitrógeno, calcio y boro, los foliares superaron al testigo. La aplicación de foliares orgánicos y químicos es una buena opción para lograr mayor amarre, crecimiento, rendimiento de fruto y mejor condición nutrimental foliar en aguacate.

Palabras clave: calidad de fruto; aguacate; nutrición foliar

Introducción
México es líder mundial en el mercado del aguacate, participa con la tercera parte de la superficie sembrada total, es el principal exportador con el 40% y el de mayor consumo per-cápita (10 kg/año), (SE, 2012). Sus rendimientos por hectárea ocupan el cuarto lugar mundial (10.1 t/ha), por debajo de República Dominicana (19.3 t/ha), Colombia (16.1 t/ha) y Brasil (12.9 t/ha) (Chávez-León *et al*., 2012). En Michoacán, se encuentra la región productora de aguacate más grande del mundo, con una superficie superior a 160 mil hectáreas, distribuidas en 45 municipios (SAGARPA, 2017) y en altitudes que varían desde 1,000 hasta 2,600 m snm. En esta región predominan los suelos Andosoles y Luvisoles, con profundidades que varían de 0.4 m a más de 3 m y tienen gran

capacidad para retener humedad de las lluvias, pero presentan limitaciones para retener y suministrar nutrientes a los cultivos (Alcalá *et al*., 2014), lo cual genera deficiencias nutricionales endémicas al aguacate y bajos rendimientos en calidad y producción de fruto (Tapia-Vargas *et al*., 2014). Lovatt (1999), menciona que es posible reducir o atenuar las deficiencias nutrimentales del aguacate, con la utilización de foliares capaces de suministrar el elemento nutritivo deficiatario. El bajo amarre de flores puede deberse también en fallas en la polinización debida a desórdenes nutricionales con micronutrientes, principalmente (Torres *et al*., 2002), sin embargo, los árboles de aguacate llegan a producir un alto número de flores, pero la cantidad de frutos que finalmente llegan a cosecha es ajustada de acuerdo con las reservas de alimento disponible en la planta, que a su vez dependen de los factores de suelo y de clima predominantes (Espíndola *et al*., 2008). Un árbol de aguacate de la variedad Hass, puede producir hasta 2 millones de flores con un porcentaje de cuajado, o frutos que finalmente llegan a cosecha, entre 0.001% y 0.1 (Cossio-Vargas *et al*., 2007). La nutrición foliar debe incluir un esquema acorde con la fenología ya que para cada fase del ciclo reproductivo las necesidades de nutrientes son diferentes. Por ello, antes de la floración y al inicio se deben hacer aplicaciones foliares para obtener mayor amarre de fruto y después continuar con otro esquema de aplicaciones foliares para tener un crecimiento y desarrollo del fruto con mejor desempeño. La nueva generación de foliares en aguacate, en el que se incluyen minerales, principios moleculares activos, hormonas, vitaminas y compuestos orgánicos, con mayor poder de ingreso al tejido vivo foliar y posterior traslocación a los sitios de síntesis para producir efectos biológicos que mejoran la polinización, el amarre, el rendimiento de fruto y la nutrición foliar, podría coadyuvar a incrementar el crónico bajo rendimiento de fruto de aguacate en Michoacán, que no supera las 10 ton/ha desde hace décadas. El objetivo de este trabajo fue evaluar programas de nutrición foliar orgánicos y minerales en aguacate para incrementar amarre, crecimiento y rendimiento de fruto y nutrición foliar.

Materiales y Métodos

El experimento se localizó en el municipio de Uruapan en la localidad Jicalán situada al suroeste de la ciudad de Uruapan. La huerta se llama “Alejandrina” y está situada en las faldas del Cerro de Jicalán. El tipo de clima de esta localidad es de acuerdo a Gutiérrez *et al*., (2010), AC(m)(w2), templado húmedo, el más húmedo de la franja aguacatera y su suelo corresponde a un Luvisol crómico (Alcalá *et al*., 2002), conocido regionalmente como Charanda, el cual es de origen volcánico con mayor grado de interperismo que el andosol ústico (Alcalá *et al*., 2002). El suelo presenta una profundidad de 0.80 m, pH=6.6 (1:2 en agua medido con pH meter Horiba® modelo B-213), capacidad de campo= 29.5% y una salinidad de 0.645 mS m^{-1} (1:2 en agua medido con conductivímetro Horiba® modelo B-173). El agua de riego presenta un pH= 6.5, salinidad de 0.311 mS m^{-1} (ambas medidas con los equipos ya citados), la temperatura del agua es de 16°C, proveniente del manantial “Jicalán”. Los árboles de aguacate son de la variante “Méndez”, tipo “Hass”, huerta joven de 6 años de edad plantada en marco real de 7 x 5 m sembrados en camellones de 1.2 m de altura. El experimento fue conducido durante los años 2016 a 2018, en dos ciclos de producción con la aplicación de aspersiones foliares programadas a partir de la yema ciega en agosto-septiembre, de productos derivados de nutrientes orgánicos e inorgánicos: los tratamientos fueron: 1. Fósforo y calcio activo + magnesio, potasio y zinc (FAC); 2. Extracto de alga orgánico (EA); 3. EA + compuestos orgánicos (EAO); 4. EA + agentes activos (EAA) y un testigo sin aplicación foliar, se tomaron 8 árboles por tratamiento, tomando cada árbol como una repetición, se marcaron cuatro ramas por árbol y se evaluó en cada rama la ausencia o presencia de

inflorescencias y el número de frutos cerillo y canica, el crecimiento y rendimiento de fruto y el contenido nutricional foliar de N, P, K, Ca y B, debido a que estos elementos propician el crecimiento del tubo polínico y la polinización (Lovatt, 1999). El resto de variables de manejo fueron las mismas para todos los tratamientos e incluyen la fertilización al suelo con la fórmula 12-11-18 de N-P_2O_5-K_2O + micronutrientes (Zn, B, Mg). Los datos se analizaron estadísticamente bajo diseño completamente al azar con ocho repeticiones y se efectuó comparación de medias mediante la prueba de Tukey al 5%. El análisis foliar se efectuó en laboratorio

Resultados y Discusión

El análisis estadístico de los datos recabados en campo, indica que el manejo nutricional foliar produce un efecto importante en las variables que inciden sobre la polinización y el amarre del fruto, en el crecimiento ecuatorial y polar y en el rendimiento de fruto (Cuadro 1). Estos resultados muestran significancia estadística en el número de frutos cerillo, número de frutos canica, longitud y rendimiento de fruto, con lo que se aprecia que puede haber respuesta en la aplicación foliar de nutrientes en estas variables económicas. También el análisis nutricional se presenta en el Cuadro 1 donde se aprecia que los elementos N, fueron estadísticamente significativos, estos elementos pueden repercutir en un mayor amarre por la importancia del crecimiento del tubo polínico (Lovatt, 1999).

Cuadro 1. Análisis de varianza de las variables relacionadas con la polinización en aguacate con aplicación de nutrientes foliares.

Variable	Cuadrado Medio	F-Valor	Pr > F	Coeficiente de variación (%)
Floración	0.057	1.74	0.17	73.6
Fruto cerillo	7.41	7.41**	0.0003	46.3
Fruto Canica	3.82	2.98*	0.036	38.3
Longitud de fruto	78.9	3.66	0.016	5.6
Diámetro de fruto	5.5	1.12	0.36	3.3
Rendimiento de fruto	1022.2	3.49	0.019	22.0
Nitrógeno foliar (%)	0.832	90.2	0.0001	3.4
Potasio foliar (%)	0.014	14.7	0.0001	2.5
Calcio foliar (%)	0.47	32.9	0.0001	6.7
Boro foliar (ppm)	10.42	8.28	0.002	5.8

La comparación estadística de medias (Cuadro 2) en las variables promedio de floración, número de fruto cerillo y canica promedio por rama, crecimiento polar y longitudinal (mm) y rendimiento de fruto (ton/ha), fue realizada mediante el estadístico de Tukey (5%), teniendo como resultados que los productos foliares produjeron un mejor desempeño en general, aunque en la variable floración y longitud polar (mm), todos los tratamientos son iguales. En Floración se tuvo bajos porcentajes por rama, pero dada la gran cantidad de flores que significa cada inflorescencia, puede esperarse una producción adecuada (Salazar *et al*., 1998), lo que finalmente ocurrió en el amarre y finalmente en el rendimiento, se aprecia claramente que el amarre de fruto conduce inevitablemente a un mayor rendimiento de fruto. Por su parte Villalba *et al*., (2015), refieren que el número de flores por rama fue menor en el tratamiento con aplicación de foliares con 25% de flores contra 32% flores del testigo, esto concuerda con algunos tratamientos de los aquí estudiados que producen menos flores que el testigo, pero dado el refuerzo nutricional foliar, son capaces de tener mayor amarre,

crecimiento y rendimiento, posteriormente.

Cuadro 2. Comparación de medias para las variables de floración, fruto cerillo y fruto canica, en aguacate con nutrición foliar

Tratamiento foliar	Floración (%)	Número fruto cerillo	Número de frutos canica	Longitud de fruto (mm)		Rendimiento (ton/ha)
				Polar	Ecuatorial	
FAC	26.5	8.3 a	4.2 a	76.9	65.7	22.8
EA	28.8	4.3 b	2.6 ab	83.3	65.8	23.9
EAO	30.1	2.9 b	2.7 ab	84.2	64.4	17.6
EAA	33.6	4.3 b	2.8 ab	84.6	66.6	18.3
Testigo (Control)	32.3	3.8 b	2.5 b	81.2	64.9	23.0
DMS (Tukey 5%)	20.3	3.1	1.6	0.0	7.7	

Nota: Fósforo y calcio activo + magnesio, potasio y zinc (FAC); 2. Extracto de alga orgánico (EA); 3. EA + compuestos orgánicos (EAO); 4. EA + agentes activos (EAA); valores medios con la misma letra o sin letra son estadísticamente iguales (P>0.95).

En rendimiento de fruto (ton/ha), los tratamientos que incluyeron aspersiones foliares de biológicos y nutrientes, fueron superiores estadísticamente al testigo, aunque en un grupo estadístico intermedio el resto de los tratamientos se comportaron de manera idéntica al testigo, pero en general la aplicación foliar supera en rangos de 11 a 38% de manera significativa, estos resultados coinciden con Spindola *et al*., (2008), quienes encontraron valores diferentes con un rango de 37 a 48% superior con el tratamiento foliar.

La nutrición foliar de los elementos nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y boro, se evalúa mediante la prueba de Tukey 5% a los promedios calculados para cada tratamiento foliar aplicado (Cuadro 3). Los resultados indican de manera objetiva un efecto claro de la superioridad de los tratamientos foliares en la concentración foliar de elementos nutritivos.

Cuadro 2. Comparación de medias para las variables de floración, fruto cerillo y fruto canica, en aguacate con nutrición foliar

Tratamiento foliar	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)	Calcio (%)	Boro (ppm)
FAC	3.10 a	0.16 a	1.242 b	1.56 cd	17.5 b
EA	3.04 a	0.18 a	1.385 a	2.23 a	21.0 a
EAO	3.23 a	0.18 a	1.232 ab	1.91 cb	21.0 a
EAA	2.7 b	0.16 a	1.275 ab	1.79 c	18.7 ab
Testigo (Control)	2.10 c	0.11 b	1.302 ab	1.33 d	18.2 ab
DMS (Tukey 5%)	0.21	0.024	0.10	0.27	2.52

Nota: Fósforo y calcio activo + magnesio, potasio y zinc (FAC); 2. Extracto de alga orgánico (EA); 3. EA + compuestos orgánicos (EAO); 4. EA + agentes activos (EAA); valores medios con la misma letra o sin letra son estadísticamente iguales (P>0.95).

La respuesta del cultivo a las aplicaciones foliares es clara en el mejoramiento de la condición nutricional foliar ya que al incrementarse los niveles de nitrógeno, potasio y boro, las posibilidades de mayor amarre y rendimiento se incrementan sustancialmente, pues estos elementos se relacionan

directamente con una mayor polinización como lo indica Lovatt (1999), respecto a estos elementos clave.

Conclusiones

Hay un efecto claro que el manejo nutricional foliar orgánica y mineral confieren un mejor amarre de flores en aguacate, con efecto en el mayor número de frutos cerillo y mayor cantidad de fruto canica, también en el crecimiento polar del fruto y mayor rendimiento que es la variable económica más importante. Con lo anterior se puede afirmar que la aplicación de foliares orgánico-biológico combinados o no con minerales presentan mejor condición nutricional foliar en elementos nutritivos clave para polinización, amarre y rendimiento de fruto.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de las empresas Tessenderlo Group, Yara de México y Tradecorp, para el financiamiento de estos proyectos de investigación

Referencias

Alcalá, M.J., Ortiz, S.C.A., Gutiérrez, C.M.C. 2002. Clasificación de suelos de la meseta Tarasca, Michoacán. Terra:19:227-239

Chávez León, G., L.M. Tapia, V., M. Bravo, E., J.T. Sáenz, R., H. Muñoz, F., I. Vidales, F., A. Larios, G., J. Rentería Á., F.J. Villaseñor, R., J.L. Sánchez, P., J. Alcántar, R., M. Mendoza, C. 2012. Impacto del cambio de uso de suelo forestal a huertos de aguacate. Libro técnico No. 13. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC. Uruapan, Michoacán, México. Pp 1-18.

Cossio, V. L., S. Salazar-García, I.J.L. González-Durán, y R. Medina-Torres. 2007. Algunos aspectos reproductivos del aguacate 'Hass' en clima semicálido. Proceedings of the World Avocado Congress. Viña del Mar, Chile. 1-7

Espíndola, B. M.C., R. Cano, M., J. Rodríguez, A., y P. Sánchez G. 2008. Amarre de fruto en aguacate "Hass" con aplicaciones de AG3, N y anillado. Agricultura Técnica en México. 34(4):125-136

Gutiérrez M., B. N. Lara, H. Guillén, A. T. Chávez. 2010. Agroecología de la franja aguacatera en Michoacán, México. Interciencia 35(9):647-653

Lovat, C. 1999. Timing Citrus and Avocado Foliar. Nutrient Applications to Increase Fruit Set and Size. Hort Tecnology 9(4):607-612

Salazar, S., S.E. Lord, C. Lovatt. 1998. Inflorescence and flower development of the Hass avocado (Persea americana), during On and Off crop years. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 123(4)537-544

Secretaria de Agricultura Ganaderia Pesca y alimentación (SAGARPA). 2017. Monografía de cultivos, aguacate. Subsecretaria de Agricultura. México. 50 p.

Secretaría de Economía (SE). 2012. Monografía del sector aguacate en méxico: situación actual y oportunidades de mercado. Dirección General de Industrias Básicas. 1ª. Edición. México, D.F. 22 p.

Tapia, V. L.M., A. Larios, G., A. Hernández, P., T. Díaz G., H. Guillén A. 2014. Nutrición Orgánica del Aguacate cv. "Hass" y Efecto Nutrimental y Agronómico. Rev. Mex. Cs. Agric. 5 (3):463-472

Tapia, V.L.M., F. Marroquin, I. Cortés, T., J. Anguiano, C., J. Z. Castellanos, R. 2007. Nutrición del Aguacate. In: El Aguacate y su manejo integrado. 2ª. Ed. D. Teliz, A. Aguilera (eds). Mundi-Prensa México-Madrid-Barcelona. pp 87-107.

Torres, M, J. Farré, J. Hermoso. 2002. Foliar B, Cu and Zn applications to Hass avocado Trees. PeneTraTion, TranslocaTion and e±ecTs on Tree growth and cropping. Acta Hortic 594:105-109.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

ANALISIS DE CALIDAD DE LOS FERTILIZANTES.

Covarrubias Ramírez, J. M.[1*]

[1] **Campo Experimental Saltillo – Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Saltillo, Coah. México.**

*Autor responsable: covarrubias.juan@inifap.gob.mx. Carretera Saltillo-Zacatecas. km. 8.5 No. 9515. Col Hacienda de Buenavista, Saltillo, 25315. Coahuila.

Resumen

El aumento en el uso de fertilizantes, es una realidad y también su efecto en el deterioro ambiental es una verdad, por lo que es necesario conocer el análisis de calidad de los fertilizantes y su efecto en su manejo. Se evaluaron 8 fuentes de fertilizantes y su combinación con urea, para tener 15 tratamientos con dos repeticiones, se evaluó, la higroscopicidad, la reacción y la salinidad, como propiedades más importantes. La urea con fosfato diamónico y sulfato de potasio es una mezcla para utilizarse en fertilización a la siembra o en el primer cultivo, porque tiene mayor higroscopicidad, reacción acida y menor salinidad, el uso de sulfato de amonio, con las mismas fuentes su higroscopicidad es menor, tiene una reacción acida, pero tiene un aumento de la salinidad con el tiempo mayor a 20 días después de su aplicación, por lo cual su uso es para fertilizaciones de presiembra o siembra. Aplicando el fertilizante de manera eficiente y oportuna se reduce el efecto de perdida y contaminación.

Palabras clave: Higroscopicidad, reacción y salinidad.

Introducción

Ante la demanda de incrementar la producción con genotipos con alto rendimiento comercial y la aplicación eficiente de agua y fertilizantes que plantea el nuevo gobierno, se crea la disyuntiva de analizar si esto es posible y con qué tecnología contamos para realizarlo. El uso indiscriminado de fertilizante inorgánico en la producción, específicamente en la superficie de riego, ha ocasionado la contaminación de los acuíferos subterráneos por lixiviación de nitratos con niveles promedio de 37 mg L^{-1} de $N\text{-}NO_3$ para la región agrícola de la Comarca Lagunera (Castellanos y Peña-Cabriales, 1990), de 50 mg L^{-1} para la región papera de Coahuila y Nuevo León (Covarrubias y Contreras, 1997) y de 14.4 mg L^{-1}, para el Estado de Guanajuato (Castellanos *et al.*, 2001); todos ellos niveles superiores a 10 mg L^{-1}, que es el límite máximo permisible en el agua de uso potable (EPA, 2018).

La volatilización y desnitrificación pueden llegar hasta el 60 % en los fertilizantes (Alcántar *et al.*, 2016). Los suelos dedicados a la agricultura emiten a la atmósfera de 2 a 3 Tg N $año^{-1}$ de NO_x (N_2O, NO, NO_2), esto representa del 20 al 30 % del total emitido como gases de efecto invernadero (GEI) (Núñez, 2000). Vásquez *et al*. (1994) reportan que las fuentes nitrogenadas urea y sulfato de amonio producen el doble de N_2O respecto al amoniaco anhidro y a un suelo fertilizado con urea sin sembrar; las tres fuentes a una dosis de 240 kg N ha^{-1}. Por lo general, los reportes de contaminación sólo son enfocados a NO_3, pero el NH_3 al encontrarse en un pH alcalino del agua de riego o del suelo, puede volatilizarse más del 50 % e incrementar las emisiones de NO y N_2O a la atmósfera (Alcántar *et al.*, 2016).

La anterior situación, en lugar de disminuir, tiende a incrementarse con el aumento en el uso de fertilizantes, ya que el consumo de fertilizante nitrogenado a nivel mundial se incrementó de 1960 a 2017, de 36 a 55 % (IFA, 2018). A la agricultura se le culpa de tener mayor efecto de gases invernadero, pero no es así, los estiércoles derivados de la ganadería emiten GEI durante el proceso de descomposición por lo que este sector aporta el 52% de CH_4 y 44% de N_2O, estos gases tienen mayor efecto dañino en la atmósfera que el CO_2 (Ramírez, 2010; Saynes-Santillán *et al.*, 2016). Por lo que el uso de estiércoles en la agricultura puede contribuir al deterioro ambiental.
El objetivo de este trabajo es demostrar Las características o propiedades del fertilizante que son básicas para definir su calidad en función del tiempo.

Materiales y Métodos

El análisis de calidad se realizó para fertilizantes y mezclas de fertilizantes. Los fertilizantes utilizados fueron los siguientes: urea, sulfato de amonio, nitrato de amonio, fosfato diamónico, superfosfato de calcio simple, superfosfato de calcio triple, cloruro de potasio y sulfato de potasio, el total de tratamientos fueron 15 con dos repeticiones y se muestran el en cuadro 1.

Cuadro1. Fertilizantes y mezclas de fertilizantes.

1. Urea, 2. Sulfato de Amonio (SA), 3. Nitrato de Amonio (NA), 4. Fosfato Diamónico (DAP), 5. Súper Fosfato de calcio triple (SFT), 6. Nitrato de Potasio, 7. Cloruro de Potasio, 8. Sulfato de Potasio, 9. Urea + Sulfato de Amonio, 10. Urea + Nitrato de Amonio, 11. Urea + Fosfato de Diamónico, 12. Urea + Súper Fosfato Triple, 13. Urea + Nitrato de Potasio, 14. Urea + Cloruro de Potasio, 15. Urea + Sulfato de Potasio.

En análisis de la calidad se realizó mediante regresión a través del tiempo (20 días), mediante el programa SAS 9.3. Las variables de calidad fueron: a) la higroscopicidad es la capacidad del fertilizante de absorber agua del ambiente que lo rodea como gramos en solución, b) la reacción del fertilizante mediante el pH de la solución higroscópica y c) el índice de sal del fertilizante como conductividad eléctrica de la solución.

Resultados y Discusión

La calidad depende del estado físico del fertilizante. la urea se presenta en perdigones, los sulfatos de amonio y de potasio se presentan en cristales y el resto en forma granulada.
La higroscopicidad se realizó en un periodo de 20 días y muestra que la urea y el nitrato de amonio, son fertilizantes higroscópicos de rápida respuesta por eso deben utilizarse al momento de la siembra o después, en cambio el sulfato de amonio no presenta respuesta y por lo cual es un fertilizante de baja reacción al contacto con el agua (Havlin *et al*., 2016) y se recomienda su uso como presiembra o de lenta liberación (Figura 1). En fertilizantes fosforados, el fosfato Diamónico responde más rápidamente al agua que el SFT (Figura 2). Las fuentes de potasio se mantienen estables, sólo el nitrato de potasio mantiene una leve variación (Figura 3).
La asociación de urea como nitrógeno, con las demás fuentes de fósforo y potasio, la urea con el SFT y el sulfato de potasio muestran mayor variación en la higroscopicidad (Figura 4), por lo que, pueden utilizarse en la siembra o en el primer cultivo, pero el problema de la urea es que debe incorporarse inmediatamente después de la mezcla, porque puede volatizar.

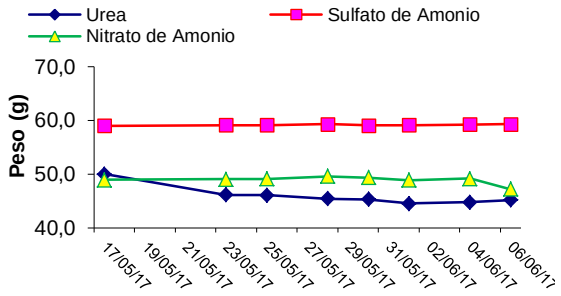


Figura 1. Higroscopicidad como variación de peso en fuentes de nitrógeno.

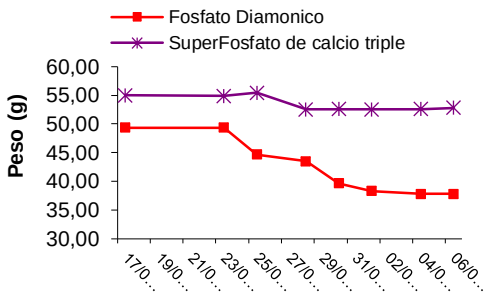


Figura 2. Higroscopicidad como variación de peso en fuentes de fósforo.

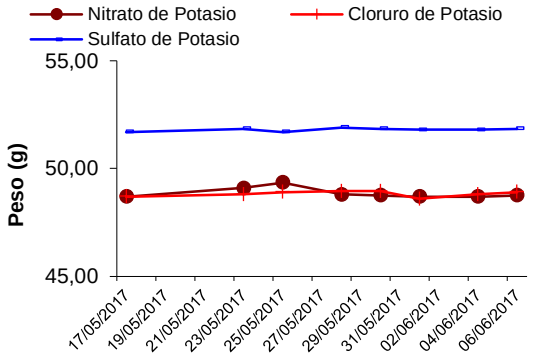


Figura 3. Higroscopicidad como variación de peso en fuentes de potasio.

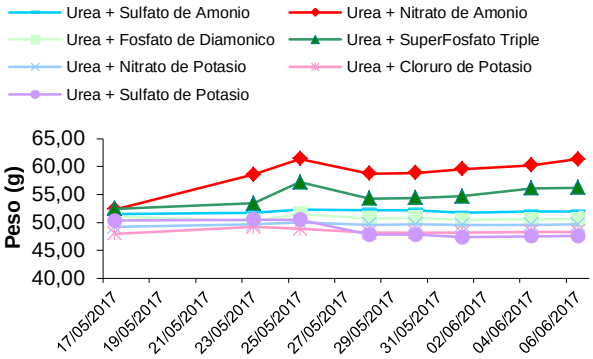


Figura 4. Higroscopicidad como variación de peso la urea con fuentes de fósforo y potasio.

En la reacción con fuentes de nitrógeno (Figura 5), la urea mantiene una reacción alcalina, en cambio el nitrato y sulfato de amonio, reducen el pH, el SFT y el DAP, reducen el pH (Figura 6), el DAP una vez que ha hecho reacción en el suelo y el SFT, al inicio por efecto del Ca, aumenta y a los 20 días por efecto del S, se reduce. Las fuentes de potasio, como nitratos, cloruros y sulfatos, reducen el pH (Figura 7). La urea con el SFT y el sulfato de potasio reducen el pH, baja una unidad a los 12 días y luego tiende a incrementarse hasta 0.5 unidad de pH (Figura 8).

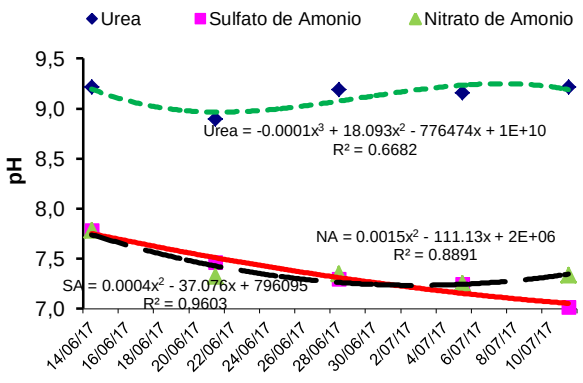


Figura 5. pH en fuentes de nitrógeno

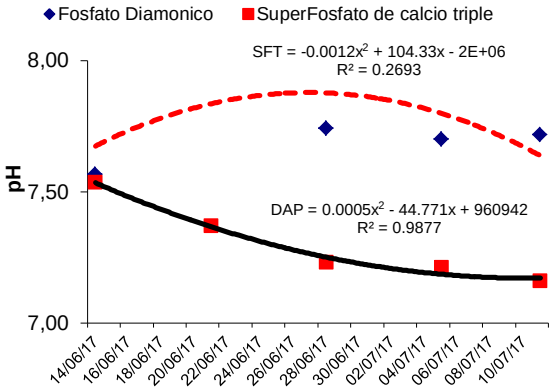


Figura 6. pH en fuentes de fósforo.

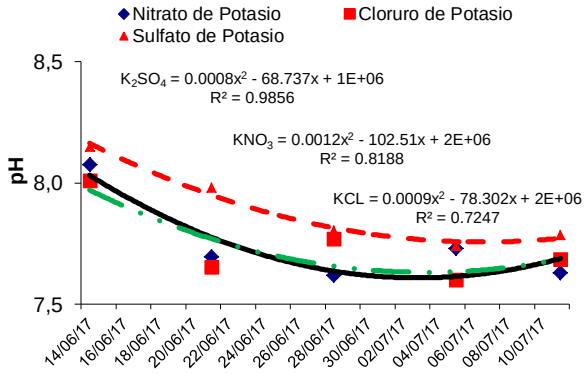


Figura 7. pH en fuentes de potasio.

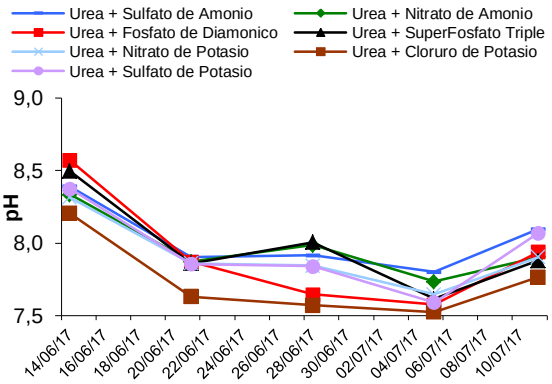


Figura 8. pH de la urea con fuentes de fósforo y potasio.

Los fertilizantes son sales minerales que cuando se aplican al suelo incrementan su valor, en la figura 9, la urea es un fertilizante orgánico [$(NH_2)_2CO$], y no influye en la salinización (Covarrubias, 2005) el NA incrementa la salinidad inmediatamente después de que se aplica y el SA, aumenta las sales en forma lenta.

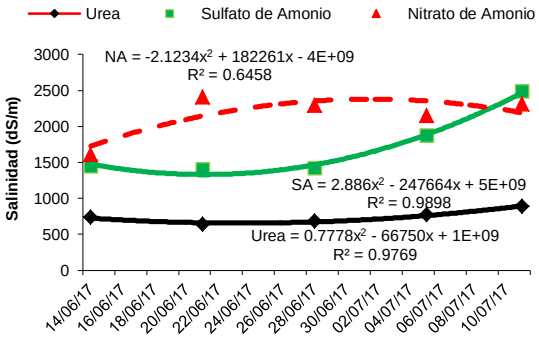


Figura 9. Salinidad en fuentes de nitrógeno

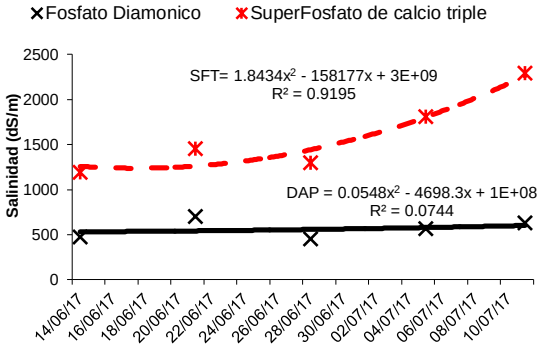


Figura 10. Salinidad en fuentes de fósforo.

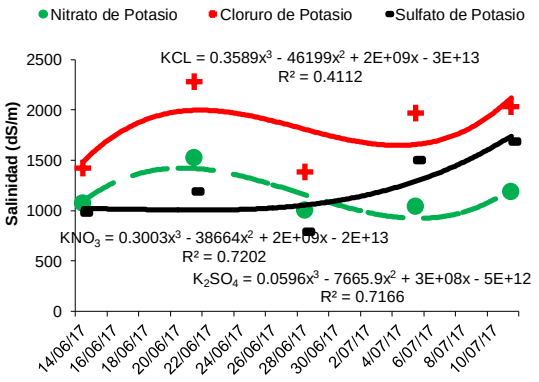


Figura 11. Salinidad en fuentes de potasio.

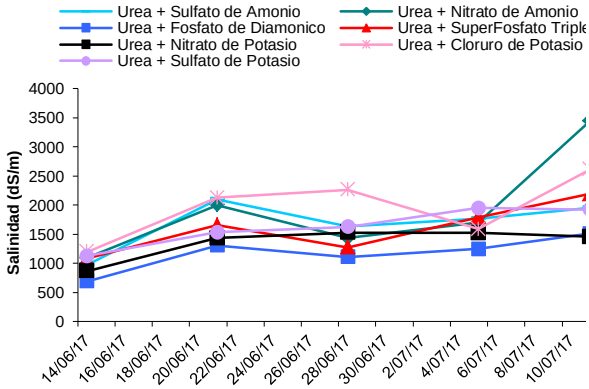


Figura 12. Salinidad de la urea con fuentes de fósforo y potasio

En la figura 10, el SFT aumenta la salinidad, en cambio el DAP, su incremento es mínimo, con potasio, el nitrato y el cloruro de potasio la incrementan inmediatamente y el sulfato la aumenta gradualmente (Figura 11), la urea con nitrato de amonio incrementa la salinidad (Figura 12), pero este efecto se debe al nitrato (Figura 9) (Salgado y Núñez, 2012).

Conclusiones

La urea con fosfato diamónico y sulfato de potasio es una mezcla NPK para utilizarse en fertilización a la siembra o en el primer cultivo, porque tiene mayor higroscopicidad, reacción acida y menor salinidad.

El sulfato de amonio, con las mismas fuentes PK, su higroscopicidad es menor, tiene una reacción acida, pero tiene un aumento de la salinidad con el tiempo mayor a 20 días después de su aplicación, por lo cual su uso es para fertilizaciones de presiembra o siembra.

Aplicando el fertilizante de manera eficiente y oportuna y además que su calidad sea adecuada, se evitarían las perdidas por lixiviación, volatilización y fijación.

Referencias

Alcántar G., G., L Trejo-Telléz, L y F. C. Gómez. 2016. Nutrición de cultivos. 2nd ed. Ed. Mundi Prensa México. S. A. de C. V. México, D. F. 454 p.

Castellanos, J. Z. y J. J. Peña-Cabriales. 1990. Los nitratos provenientes de la agricultura. Una fuente de contaminación de los acuíferos. Terra 8:113-126.

Castellanos, J.Z, A. Ortega-Guerrero, O.A. Grajeda, A. Vázquez-Alarcón, S. Villalobos, J.J. Muñoz-Ramos, B. Zamudio, J.G. Martínez, B. Hurtado, P. Vargas, y S.A. Enríquez. 2001. Cambios en la calidad del agua subterránea para uso agrícola en Guanajuato. Terra. 20: 161-170.

Covarrubias R., J. M. y Contreras R., F. J. 1997. Influencia de la calidad del agua en la fertirrigación. En: Informe de Investigación 1997. CESAL-INIFAP. Saltillo, Coah. p. 33-44.

Covarrubias R., J. M. 2005. Fertilizantes de lenta liberación y su evaluación agronómica con técnicas isotópicas en el cultivo de papa". Doctorado en ciencias en edafología. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco.172 p.

Environmental Protection Agency (EPA). 2018. Agriculture: Laws and Regulations that Apply to Your Agricultural Operation by Farm Activity. En:https://www.epa.gov/regulatory-information-sector/agriculture-sectors. Consultado en Julio 2018.

Havlin J.L.; S. L. Tisdale; W.L. Nelson and J.D. Beaton. 2016. Soil fertility and fertilizers. 8th ed. Prentice Hall, Inc. New Jersey, U.S.A. 499 p.

International Fertilizer Association (IFA). 2018. IFASTAT. Fertilizer Use by Crop. En: https://www.ifastat.org/plant-nutrition. Consultado en Julio 2018.

Núñez E., R. 2000. Las perspectivas de fertilidad de los suelos en el siglo veintiuno. En: La edafología y sus perspectivas al siglo XXI. Quintero ed. Tomo II. p. 439-447.

Ramírez H., I. F. 2010. Emisiones de metano generadas por excretas de animales de granja y contenido ruminal de bovino. Tesis Doctor en ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 166 p.

Salgado G., S. y R. Núñez E. 2012. Manejo de fertilizantes químicos y orgánicos. bba editores. CP Montecillo, Texcoco. 146 p.

Saynes-Santillán, V., J. D. Etchevers B., F. Paz P. y L.O. Alvarado C. 2016. Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México. Terra Latinoamericana 34: 83-96.

Vásquez N, G., J. M. De la Fuente M. y J. J. Peña-Cabriales. 1994. Eficiencia y pérdidas vía desnitrificación de fertilizantes nitrogenados aplicados a sorgo cultivado en un vertisol. Terra. 12(3):345-353.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

PROTOZOOS DE LA RIZOSFERA: FUNCIONALIDAD DE AMEBAS DESNUDAS, CILIADOS Y FLAGELADOS EN SUELOS PERTURBADOS

Cortés-Pérez Sandra.[1*]

[1] **Área de Microbiología, Postgrado de Edafología Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas Km 36.5 Carretera Federal México-Texcoco, Montecillo 56230, Estado de México.**

*Autor responsable: sandracortesperez@yahoo.com.mx; Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas Km 36.5 Carretera Federal México-Texcoco, Montecillo 56230, Estado de México; Tel. +52-(55) 5804 5900 ext. 1280.

Resumen

Los protozoos son los depredadores microbianos más abundantes en el suelo debido a su gran diversidad de formas de alimentación. Son elementos muy importantes en el proceso de reciclaje de los nutrimentos debido a que la función principal de los protozoos es el transporte de la MO (materia orgánica) a los niveles superiores de la red trófica microbiana. Particularmente los que coexisten en las cercanías de la raíz funcionan como liberadores de compuestos orgánicos con N (nitrógeno), P (fósforo) y C (carbono) provenientes de sus presas. Sin embargo, la importancia de esta actividad biológica ha sido ignorada en los estudios sobre la nutrición de las plantas cultivadas en suelos que han sido expuestos a contaminantes o a un exceso de fertilización. Por ello, la diversidad metabólica y su rápida adaptación a compuestos tóxicos hacen posible que los protozoos desarrollen un papel ecológico destacado en suelos perturbados. De esta forma, el estudio de la dinámica de su diversidad trófica ayudará a comprender mejor cómo la depredación es el motor en los procesos de reciclaje de MO y liberación de los nutrimentos en suelos utilizados para la agricultura. En estudios de campo y de microcosmos, se han determinado los efectos de la introducción de plantas después de perturbaciones intensas, como contaminación por hidrocarburos o el arado, sobre la comunidad y las preferencias tróficas de los protozoos del suelo. La planta muestra un efecto organizador sobre la estructura de la comunidad de protozoos.

Palabras clave: protozoos, suelo, rizósfera, redes tróficas

Introducción

El suelo es una pieza fundamental en los ciclos biogeoquímicos de los nutrimentos, ya que en esta interface tienen lugar procesos que aseguran los servicios ecosistémicos (Naeem et al., 1999) tales como el reciclaje del agua, la producción de biomasa para el consumo humano y el mantenimiento de la flora y fauna emblemática. Un mal manejo del suelo puede afectar negativamente los servicios que provee este sistema. La degradación de los agroecosistemas está asociada con las perturbaciones generadas por la pérdida de vegetación, destrucción de la estructura del suelo, lixiviación de nutrientes, disminución de la materia orgánica y el decremento en la actividad microbiana (Barea y Jeffries, 1995). Las redes tróficas son un modelo que se puede utilizar para comprender como funciona el flujo de la energía después de que el suelo ha sido perturbado y cómo podemos generar estrategias para recuperarlo y/o mantenerlo. El modelo fundamental implica diferentes los niveles de producción primaria, consumidores y descomponedores (Coleman y

Crossley, 1996). En este último nivel se han introducido a los microorganismos, como una gran caja negra, donde su funcionalidad se generaliza en el proceso de la descomposición de materia orgánica. La MO abastece de nutrimentos orgánicos durante este proceso de desintegración, los cuales pueden ser reutilizados por los productores primarios. Los descomponedores son organismos heterótrofos que absorben nutrientes por ósmosis (osmotrofía), tales como algunas bacterias, hongos y amebas. Los detritívoros o saprófagos obtienen su energía de MO descompuesta. Sin embargo, esta generalización pierde el detalle de las interacciones complejas que tienen lugar en las redes tróficas del suelo (Richards, 1987). La diversidad de preferencias tróficas de los protozoos promueve el reciclaje de los nutrimentos contenidos en la MO (Stout, 1980). El incremento de humus en le suelo provoca el aumento de la diversidad de amebas testadas, lo que a su vez incrementa la tasa de descomposición de MO (Schönborn, 1992) y la liberación de P y N, este último en forma de amonio (Griffiths, 1994; Bonkowski, 2004). Las amebas son responsables de liberar entre el 50 - 70% del nitrógeno proveniente de sus presas (Zwart, et al. 1994), por lo que esta interacción microbiota - microfauna sirve de conexión del flujo de materia y energía con otros niveles de la red trófica del suelo. La digestión de las bacterias por sus depredadores moviliza los nutrientes que estaban fijados en su biomasa (P y N) así como otros elementos traza que no estaban biodisponibles. Por tal razón los protozoos son considerados como entidades clave en los ciclos biogeoquímicos (Coûteaux y Darbyshire, 1998; Zwart, et al. 1994) y en la mineralización de algunos contaminantes (Holubar et al., 2000; Mattison et al., 2005). En los suelos con mayores aberturas de poro en los agregados, el ramoneo de los protozoos incrementa la tasa metabólica de las bacterianas bajo ciertas condiciones, ya sean aeróbicas o anaeróbicas. Así, la depredación por los ciliados incrementa la demanda química de oxígeno y la eficiencia en la metabolización de petroquímicos en sedimentos (Holubar et al. 2000). Por ejemplo, la depredación de *Colpidium colpoda* aumentó la metabolización del petróleo crudo en un cultivo mixto de bacterias (Rogerson y Berger, 1983); mientras que Mattison et al. (2005) detectaron un aumento de hasta tres veces en la velocidad de degradación de benceno por *Pseudomonas* sp en presencia del flagelado *Heteromita globosa*.

La perturbación que genera el arado del suelo ocasiona una reestructuración de los microambientes por la destrucción de los macroagregados, lo que disminuye el espacio entre ellos y afecta la continuidad en la porosfera. Esta serie de factores están correlacionados con el cambio de la diversidad de microbiota y microfauna de los suelos de cultivo (Sánchez-Moreno, 2007; Coleman, et al. 2002; Buckley y Schmidt, 2001). Por otra parte, las alteraciones en las propiedades químicas de los suelos de cultivo se deben a la adición de MO y/o el uso frecuente de abonos sintéticos, los que causan el incremento de las concentraciones de C, N, y P; y que éstos nutrimentos permanezcan un periodo más largo en el suelo alterando el funcionamiento y estructuración de las comunidades del sistema edáfico (Buckley y Schnidt, 2001).

Discusión

La zona de raíces es un área que estimula las interacciones tróficas, gracias a que los exudados radiculares tienen diferentes funciones vitales para la planta y la comunidad microbiana albergada alrededor de sus raíces (Raynaud, 2010). Dentro de estas funciones se encuentra la comunicación, la quimioatracción de algunas especies bacterianas (Kentner y Sourjik, 2009), y de micorrizas, así como la emisión de repelentes para otros microorganismos. La rizósfera es considerada un “hot spot”o un punto caliente de actividad microbiana, con un mayor número de especies de la

microbiota que el suelo de la porósfera (Bonkowski et al, 2001). Este aumento de especies, desencadena un efecto en cascada y en todas direcciones de la red trófica del suelo, ya que tiene como resultado la estimulación de todos los niveles de la misma (Duffy et al, 2007). Pues hasta las amebas sirven de alimento para otros microorganismos como rotíferos (Arndt, 1993) y nemátodos.

Los suelos perturbados por contaminación o cultivo muestran la disminución de la abundancia y de la riqueza de especies de microorganismos en todos los niveles (Joynt et al. 2006). Esto disminuye la actividad biológica en el suelo y afecta directamente en la retención de compuestos orgánicos importantes para la nutrición de la planta. El efecto organizador de la rizósfera se corroboró en estudios de microcosmos donde la comunidad de amebas fue sometida a diferentes tipos de perturbación, tanto mecánica (revoltura del suelo) como por contaminación con hidrocarburos. Se observó que la introducción de *Medicago sativa* (alfalfa) promueve indirectamente el incremento de las especies de amebas. En contraste, la comunidad de amebas en el suelo contaminado sin planta y después de 2 meses presenta una menor cantidad de especies (Cortés-Pérez et al, 2014; Cortés-Pérez et al., 2018). La planta es un bioestimulador de las bacterias hidrocarbonoclásticas ya que genera diferentes microambientes con recursos que pueden albergar una cantidad mayor de especies de este tipo de bacterias, lo cual influye positivamente en las especies raras de amebas bacterívoras (B). Este fenómeno tendrá como consecuencia un efecto en cascada sobre la red trófica del suelo, ya que las amebas además de detectar la presencia y la abundancia de sus presas, tienen preferencias en el consumo de ciertas especies de bacterias (Singh, 1942), de hongos, levaduras, algas y de protozoos. La depredación mantiene en reproducción constante a las poblaciones bacterianas hidrocarbonoclásticas, pues con el incremento del número de bacterias se aumenta el consumo de los hidrocarburos en el suelo. Además, la liberación de compuestos orgánicos, producto de la depredación, afectan positivamente a la comunidad del edafón y a la planta, pues al tener disponibles estos recursos el desarrollo de esta biota será más acelerado (Raynaud, 2010), lo que resulta en una forma efectiva de reciclar y transformar los nutrimentos en el suelo que se pretende recuperar o limpiar.

Uno de los grupos que también se ve afectado por las perturbaciones son las amebas omnívoras (O) del género *Acanthamoeba* (Cortés-Pérez et al, 2014; Cortés-Pérez et al., 2018), aunque este género en particular se vió afectado negativamente por la planta, pues la riqueza de especies de este grupo mostró una disminución sostenida con el desarrollo de la planta. Se ha observado que las amebas de este género prosperan en sitios que han sido perturbados antropogenicamente y donde generalmente la competencia con otros protozoos se elimina por exceso de materia orgánica de bajo peso molecular, o como en el caso de piscinas que son esterilizadas con hipoclorito de sodio (De Jonckheere y van de Voorde, 1976) y enriquecidas con la materia orgánica de los bañistas. Además, el quiste de estas especies es muy resistente a diferentes desinfectantes, lo que explica su presencia frecuente en aguas cloradas (De Jonckheere, 1991). Sin embargo, en todos los estudios de microcosmos la frecuencia de las especies del género *Acanthamoeba* fue rara, debido a que los omnívoros son poco eficientes para competir por el recurso.

Se observó la presencia de los siguientes grupos tróficos; honguívoros (H), honguívoros-bacterívoros (H-B), algívoros-bacterívoros (A-B), algívoros-restos vegetales (ACyMP). Estos grupos se ven beneficiados por la presencia de la planta aunque aún desconocemos la relación de ésta con la existencia de especies de algas del suelo. En los tratamientos con planta encontramos a

la mayoría de los grupos tróficos a partir del día 30 (B, A, H, O, P y L; amebas que se alimentan de levaduras). El grupo de las amebas que se alimentan de protozoos permaneció constante durante los 60 días del experimento, pero la comunidad que se desarrolló en la rizósfera de *M sativa* fue diferente de la desarrollada en el suelo sin planta. También se ha observado que algunos hongos y algunas cepas de levaduras frecuentemente prosperan en ambientes contaminados con hidrocarburos por su capacidad de degradar este tipo de compuestos (De Hoog et al 2006), lo que explica la presencia de sus depredadores. La raíz tiene un efecto de selección sobre la estructuración trófica de las comunidades de amebas, debido a que las raíces proporcionan la oportunidad de albergar a más especies de presas que a su vez permiten el establecimiento de los grupos depredadores de amebas. Así, se da una reestructuración de la red trófica del suelo tan solo 30 días después de la contaminación o perturbación física en presencia de las plantas. En conjunto, todos estos procesos de interacción planta – suelo – microorganismos, hacen de la zona de raíces un área funcional que estimula y aumenta las capacidades de asimilación de compuestos extraños al sistema edáfico mediante la reestructuración de la red trófica. Cabe hacer notar que los protozoos bacterívoros comparten cerca del 50 al 75 % de las especies entre todos los tratamientos. Cabe hacer notar que las amebas bacterívoras de las comunidades de la zona de raíces de *M. sativa* del suelo no-contaminado y el suelo con combustóleo de ambos períodos, tuvieron un 75 % de similitud.

Conclusiones

Las perturbaciones provocan la disminución de la cantidad de amebas, su riqueza de especies y la variedad de Grupos Tróficos, lo que produce la simplificación de la comunidad protozoos. La presencia de las plantas acelera la recomposición y reorganización de la comunidad de amebas mediante la estimulación del crecimiento de bacterias y hongos en la zona de raíces. Los grupos de protozoos bacterívoros, los que se alimentan de otros protozoos y/o de algas se favorecen dentro de la proporción total de riqueza de especies de la comunidad. Los cambios en las comunidades de estos depredadores microbianos nos proporcionan indicios de los cambios que suceden en la actividad biológica del suelo después de una perturbación. Sin embargo, la introducción de una planta acelera y promueve la actividad de los microorganismos (microbiota y microfauna) en el corto plazo. La siguiente vertiente es comprender cómo estas relaciones tróficas afectan la nutrición de las plantas, así como la retención y reciclaje de los valiosos compuestos orgánicos provenientes de la MO viva (presas) y que sirven como recursos a otros organismos. Todo lo anterior es necesario para generar estratégias de manejo y tecnologías para mantener y recuperar la productividad de los suelos que se han contaminado, así como aquellos utilizados para el cultivo.

Referencias

Arndt, H. 1993. Rotifers as predators on components of the microbial web (bacteria, heterotrophic flagellates, ciliates) — a review. In: Gilbert J.J., Lubzens E., Miracle M.R. (eds) Rotifer Symposium VI. Developments in Hydrobiology,

vol 83. Springer, Dordrecht Agriculture and Natural Resources Nº 21505. University of California. Oakland, CA, EEUU. 36 pp.

Barea, J.M. and P. Jeffries. 1995. Arbuscular Mycorrhizas in Sustainable Soil-Plant Systems. In: Varma A., Hock B. (eds) Mycorrhiza. Springer, Berlin, HeidelbergBonkowski M, Jentschke G. and Scheu S. 2001. Contrasting effects of microbial partners in the rhizosphere: interactions between Norway Spruce seedlings (*Picea abies* Karst.),mycorrhiza (*Paxillus involutus* (Batsch) Fr.) and naked amoebae (protozoa). Applied Soil Ecol 18: 193–204.

Bonkowski, M. 2004. Protozoa and plant growth: the microbial loop in soil revisited. New Phytologist, 162: 617-631.
Buckley, D. H. and T. M. Schmidt. 2001. The structure of microbial communities in soil and the lasting impact of cultivation. Microb Ecol . 42:11-21.
Coleman, D.C. and D.A. Crossley. 1996. Fundamentals of soil ecology. Academic Press. San Diego, NY, Boston, London, Sydney, Tokyo, Toronto. 205 pp.
Coleman, D., Hendrix F.S. and Jr.D. Crossley. 2002. Soil foodwebs in agroecosystems: impacts of herbivory and tillage management. European Journal of Soil Biology. 38,21-28.
Cortés-Pérez, S., Rodríguez-Zaragoza, S. and M.R., Mendoza-López. 2014. Trophic Structure of Amoeba Communities Near Roots of *Medicago sativa* After Contamination with Fuel Oil No. Microb Ecol. 6. 67: 430.
Cortés-Pérez, S., Rodríguez Zaragoza, S., Ferrera-Cerrato, R. and V.M. Luna Pabello. 2018. Recovery of Amoebae Community in the Root Soil of *M. sativa* after a Strong Contamination Pulse with n-Hexane. Water Air Soil Pollut. 229: 293.
Coûteaux, M.M. and J.F. Darbyshire. 1998. Functional diversity amongst soil protozoa. Applied Soil Ecology 10: 229-337.
De Hoog, G.S., Zeng, J.S., Harrak, M.J. and D.A. Sotton. 2006. *Exophiala xenobiotica* sp. nov., an opportunistic black yeast inhabiting environment rich in hydrocarbons. Antonie van Leeuwenhoek 90: 257.
De Jonckheere, J.F. 1991. Ecology of *Acanthamoeba*, Reviews of Infectious Diseases, 13, 5: S385–S387.
De Jonckheere, J.F. and H. van de Voorde. 1976. Differences in destruction of cysts of pathogenic and nonpathogenic *Naegleria* and *Acanthamoeba* by chlorine. Appl. Environ. Microbiol. 31 (2) 294-297.
Duffy, E., Cardinale, B.J., France, K.E., Mclntyre, P.B., Thébault, E. amd M. Loreau. 2007. The functional role of biodiversity in ecosystems: incorporating trophic complexity. Ecology letters 10: 522-538.
Griffiths, B.S. 1994. Soil nutrient flow. En: Darbyshire, J. F. (Ed.), Soil Protozoa. CAB International, Wallingford, pp. 65-91.
Holubar, M.P., Grudke, T., Moser, A., Strenn, B. and R. Braunm. 2000. Effects of bacterivorous ciliated protozoans on degradation efficiency of a petrochemical activated sludge process. Water research. 34: (7) 2051-2060.
Joynt, J., Bischoff, M., Turco, R., Konopka, A. and C.H. Nakatsu. 2006. Microbial community analysis of soils contaminated with lead, chromium and petroleum hydrocarbons Microb Ecol. 5: (12) 209-219.
Kentner, D. and V. Sourjik. 2009. Spatial organization of the bacterial chemotaxis system. Cur Op Microbiol 9: 619–624.
Mattison, R.G., Taki, H. and S. Harayama. 2005. The soil flagellate *Heteromita globosa* accelerates bacterial degradation of alkylbenzenes through grazing and acetate excretion in batch culture. Springer Science+Business Media, Inc. 49: 142–150.
Naeem, S., Chapin, F.S, Costanza, R., Ehrlich, P.R., Golley, F.B., Hooper, D.U., Lawton J.H., O'Neill, R.V, Mooney, H.A., Sala, O.E., Symstad, A.J. and D. Tilman. 1999. Biodiversity and Ecosystem Functioning: Maintaining Natural Life Support Processes. Issues in Ecology. 4: 1-11.
Raynaud, X. 2010. Soil properties are key determinants for the development of exudates gradients in a rhizosphere simulation model. Soil Biology & Biochem 42: 210-219.
Richards, B.N. 1987. The microbiology of terrestrial ecosystems. Longman Group UK Limited
Rogerson, A. and J. Berger. 1983. Enhancement of the microbial-degradation of crude-oil by the ciliate Colpidium Colpoda. J Gen Appl Microbiol 29: 41-50.
Sánchez-Moreno, S. and H. Ferris. 2007. Suppressive service of the soil food web: Effects of environmental management. Agriculture, Ecosystems and Environment. 119, 75-85.
Schönborn, W. 1992. The role of protozoan communities in freshwater and soil ecosystems. Acta Protozoologica. 31: 11-18.
Singh, B.N. 1942. Selection of bacterial food by soil flagellates and amoebae. Annual Applied Biology 29:18-22Abdurrahman, H., B. Fatih, M. Fatih and Y. Mustafa. 2004. Reclamation of saline-sodic soils with gypsum and MSW compost. J. Compost Sci. Util. 12: 175-179.
Stout, J.D. 1980. The role of protozoa in nutrient cycling and energy flow. Adv. Microb Ecol . 4: 1-50.
Zarda, B., Mattison, G., Hess, A., Hahn, D., Höhener, P. and J. Zeyer. 1998. Analysis of bacterial and protozoan communities in an aquifer contaminated with monoaromatic hydrocarbons, FEMS Microb Ecol , 27, 2: 141–152.
Zwart, K.B., Kuikman, P.J. and J.A. van Veen. 1994. Rhizosphere protozoa: their significance in nutrient dynamics. In: Darbyshire JF, ed. Soil protozoa. Wallingford, UK: CAB International, 93–122.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EXPERIENCIA EN EL ESTUDIO MICROBIOLÓGICO DEL CHILE POBLANO

González-Mancilla, A.[1*]; Almaraz-Suarez, J. J.[2]; Ferrera-Cerrato, R.[2]; Rodríguez-Guzmán, M. P.[2]; Taboada-Gaytán, O. R.[2]; Trinidad-Santos, A.[2]

[1]Facultad de Agricultura y Zootecnia. Universidad Juárez del Estado de Durango. Gómez Palacio, Durango, México.
[2]Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C.P. 56230.
[3]Colegio de Postgraduados-Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla núm. 205. Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla, México. CP. 72760.

*Autor responsable: apolinar.gonzalez@ujed.mx. Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo km 28, Ejido Venecia, Gómez Palacio, Durango, México.

Resumen
El chile poblano, se produce principalmente en la Sierra Nevada del estado de Puebla, donde representa una antigua tradición cultural por su importancia gastronómica, económica y social. Su producción está limitada al uso de productos químicos para contrarrestar los problemas de fertilidad y enfermedades en el cultivo. Estos agroecosistemas se asocian con diversos microorganismos benéficos que habitan el suelo. El objetivo de este trabajo fue cuantificar las poblaciones microbianas [hongos totales (HT), bacterias totales (BT), bacterias solubilizadoras de fosfato (BSP), bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN), bacterias productoras de auxinas (BPA) y hongos micorrízicos arbusculares (HMA)] asociadas con la rizósfera del chile poblano. Mediante diluciones seriadas y siembra en medios específicos se cuantificaron HT, BT, BSP, BFN y BPA; la colonización por HMA se determinó por el método de clareo y tinción con azul tripano. Se evaluó el antagonismo de BSP, BPA y BFN sobre *Fusarium* sp., y *Phytophthora capsici* a nivel invitro. Las poblaciones más altas de BT y BPA fueron encontradas en el sitio siete; los HT, BSP y BFN fueron mejores en el sitio uno. La colonización micorrízica fue mejor en los sitios nueve (68 % colonización total), seis (5.2 %, vesículas) y siete (896 esporas). La inhibición de *Fusarium* sp., fluctuó entre 0 y 39 %, y de *Phytophthora capsici* entre 0-61 %. Las cepas inoculadas causaron efecto significativo en el crecimiento, siendo las mejores *Serratia plymuthica* CPPC55 y *Rhizobium nepotum* CPAC35, los cuales mejoraron la altura, el área foliar y la producción de biomasa en planta.

Palabras clave: Bactérias promotoras de crecimiento vegetal, *Phytophthora capsici*, *Fusarium* sp.

Introducción
El cultivo de chile (*Capsicum annuum*) es de gran importancia dentro de las hortalizas, México se ubica en segundo lugar en producción mundial con más de 2.7 millones de toneladas, superado únicamente por China, con más de 17.4 millones de toneladas producidas en 2016 (FAOSTAT, 2018). El país registra aproximadamente una superficie sembrada de más de 148 968 ha, localizadas en diversas condiciones agroecológicas y la producción anual de esta especie en el 2014 fue de 2 732 635 t, con ingresos económicos superior a 17 896 millones de pesos (SIAP-SAGARPA, 2017).

La producción de *Cápsicum annuum* se realiza en condiciones de campo y de invernadero, las enfermedades que con más frecuencia atacan a este cultivo son ocasionadas por hongos patógenos de las raíces tales como *Phytophthora capsici*, *Fusarium* sp., *Alternaria* sp., *Rhizoctonia solani* y *Pythium* (Alejo-Iturvide *et al*., 2008). Además, la calidad del fruto, puede ser afectada por factores como la disponibilidad de nutrimentos y agua; este último, en exceso, induce el incremento de enfermedades, y la falta del mismo provoca la sequía, disminuyendo la calidad y rendimiento de las plantas (Mena-Violante *et al*., 2006).

Para contrarrestar los problemas nutrimentales y la incidencia de enfermedades, es necesario utilizar plantas inoculadas con microorganismos benéficos (bacterias y hongos micorrízicos) existentes en la rizósfera; estos microorganismos deben ser seleccionados para aumentar la sanidad de plantas y reducir el uso de fertilizantes químicos, lo que puede resultar en efectos positivos en el crecimiento y desarrollo de la planta (Artursson *et al*., 2006).

Las plantas de chile se asocian a una gran diversidad de microorganismos, entre estos, bacterias y hongos que estimulan el crecimiento vegetal. Los grupos de organismos más estudiados son las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (RPCV) y los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), debido a los beneficios que estas proporcionan a las plantas. Las RPCV proveen de nutrimentos a las plantas mediante la fijación y solubilización de elementos como el nitrógeno atmosférico, el fósforo y el potasio; inhiben el desarrollo de fitopatógenos y sintetizan reguladores del crecimiento como las auxinas, giberelinas y citoquininas (Hariprasad y Niranjana 2009; Sandhya *et al*., 2010). Los HMA favorecen la absorción de agua y nutrimentos, e incrementan la tolerancia al estrés ocasionado por factores bióticos y abióticos (Sawers *et al*., 2008). El objetivo de este trabajo fue cuantificar la microbiota rizosférica asociada al cultivo de chile poblano y probar su efecto como promotor del crecimiento en el mismo cultivo.

Materiales y Métodos

Se colectó suelo rizosférico en nueve sitios de chile poblano, en tres municipios del estado de Puebla, México (San Matías Tlalancaleca, San Lorenzo Chiautzingo y Huejotzingo). En los sitios de muestreo los valores de pH (suelo, agua 1:2) fluctuaron entre 4.9 a 7.6. Los contenidos de materia orgánica fueron de 0.27 a 1.48 % y de nitrógeno de 0.01 a 0.07 %. El fósforo fluctuó de 41.1 a 428.8 mg kg^{-1} en los sitios. La textura del suelo fue clasificado como franco arenoso (FA), franco arcillo arenoso (FAA) y areno francoso (AF) (González *et al*., 2017).

Las muestras de rizósfera fueron procesadas en campana de flujo laminar en condiciones de asepsia. Siguiendo la técnica por dilución seriada (Madigan *et al*., 2009) y en medios de cultivos específicos se determinaron las colonias de RPCV: agar nutritivo para bacterias totales (BT), Pikovskaya para detectar bacterias solubilizadoras de fosfatos (BSP), Rennie para fijadoras de nitrógeno (BFN) y Luria-Bertani (LB) para bacterias productoras de auxinas (BPA); además se determinó hongos totales utilizando el medio PDA (agar papa dextrosa). Las colonias se cuantificaron después de tres días de incubación a 28 °C. La colonización por HMA en raíces se determinó siguiendo el método de clareo y tinción con azul tripano (Phillips y Hayman, 1970), la colonización total (PCT) fue estimado en raíces de 1 cm de longitud expresado en porcentajes (Biermann y Linderman, 1981). Las esporas se cuantificaron siguiendo la técnica de tamizado y decantado en húmedo, expresado en 100 g de suelo seco (Gerdemann y Nicolson, 1963).

Se confrontaron las RPCV y los hongos fitopatógenos que causan la pudrición radical, aisladas en plantas de chile poblano: *Fusarium* sp., y *Phytophthora capsici*. Para observar la inhibición del hongo, ambos microorganismos fueron sembrados en cajas petri con medio de cultivo PDA a una

distancia de 4 cm entre microorganismos. Después de 24 horas de haber sembrado la bacteria, se sembró el patógeno, éste consistió en un disco con micelio del hongo cultivado previamente en PDA y un diámetro de 0.5 cm; se incubaron a 28 °C entre 8 y 11 días después, teniendo cuatro repeticiones por cepa, incluyendo los testigos (patógeno sin bacteria). Para evaluar el porcentaje de inhibición del hongo por las rizobacterias se aplicó la fórmula: % inhibición = (1- diámetro de la cepa/diámetro control) (100) (Yu *et al*., 2011). Se incluyeron diez cepas de BPCV para evaluar sus efectos en la promoción de crecimiento, los cuales fueron seleccionados según su capacidad para solubilizar fosfatos {*Serratia plymuthica* (CPPC6, CPPC54, CPPC55) y *Serratia marcescens* (CPPC22)}, producir auxinas {*Agrobacterium vitis* (CPAC35), *Arthrobacter* sp. (CPAC36), *Bacillus simplex* (CPAC20) y *Serratia liquefaciens* (CPAC53)} o fijar nitrógeno atmosférico {*Stenotrophomonas maltophilia* (CPNC9) y *Serratia marcescens* (CPNC10)} (González *et al*., 2017).

Resultados y Discusión

La densidad de poblaciones microbianas, encontradas en suelo rizosférico de chile poblano se muestran en el cuadro 1, todos los grupos estudiados presentaron diferencias estadísticas según los sitios muestreados (Tukey α= 0.05). El sitio siete, cuya muestra fue colectada en el municipio de Huejotzingo, presentó las poblaciones más altas de BT (532 x 10^5 UFC g-1 de suelo) y BPA (92 x 10^4 UFC g-1 de suelo), y mayor número de esporas de HMA (896 esporas en 100 g de suelo), mientras que el sitio uno de San Matías Tlalancaleca tuvo las poblaciones más altas de BFN (360 x 10^4 UFC g^{-1}s.s.), BSP (46 x 10^4 UFC g^{-1}s.s.) y hongos totales (82 x 10^2 UFC g^{-1}s.s.). La colonización total por HMA en las raíces de chile poblano, fue más alta en el sitio nueve (68 %), y la colonización por vesículas fue mejor en el sitio seis (5.2 %) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Densidad de microorganismos encontrados en suelo rizosférico de chile poblano en nueve sitios de la Sierra Nevada, estado de Puebla, México.

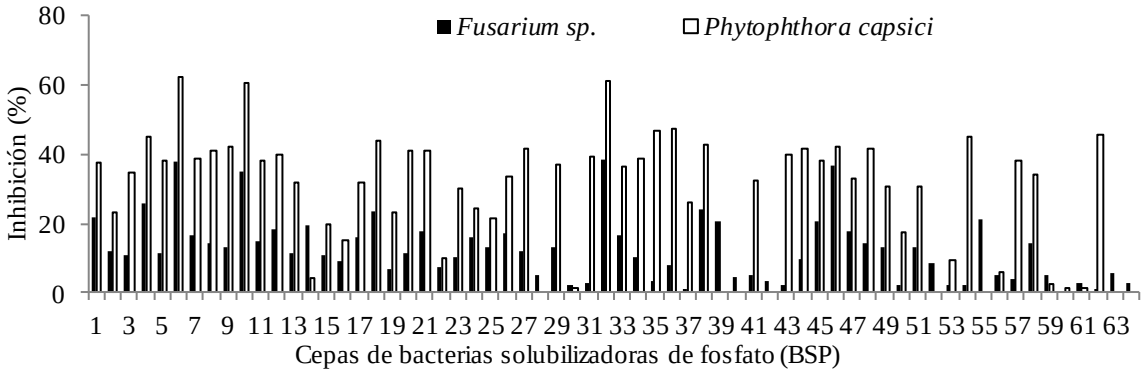
Sitios	BT	BFN	BSP	BPA	HT	HMA		
	(10^4 UFC g suelo seco)				(10^2 UFC g suelo seco)	CT (%)	V (%)	E (100 g suelo)
San Matías Tlalancaleca								
1	103[a]	360[a]	46a	7bc	82a	8cd	1.0b	195d
2	112a	180ab	36ab	6bc	56ab	12cd	1.5ab	477bc
3	160[a]	110b	1c	22b	26bc	16cd	0.3b	235d
San Lorenzo Chiautzingo								
4	261a	120ab	8ab	10bc	7c	23bcd	0.7b	486bc
5	204a	100b	20ab	4c	10c	5d	0.3b	654b
Huejotzingo								
6	270a	100b	26ab	5c	7c	44b	5.2a	447c
7	532a	150ab	6b	92a	19bc	43b	2.8ab	896a
8	145a	110b	9ab	4c	6c	27bc	0.4b	355cd
9	164a	140ab	9ab	11bc	3c	68a	0.0c	483bc

BT = Bacterias totales, BFN = bacterias fijadoras de nitrógeno, BSP = bacterias solubilizadoras de fosfatos, BPA = bacterias productoras de auxinas, HT = hongos totales, HMA = hongos micorrízicos arbusculares, CT = colonización total, V = vesículas y E = esporas. Letras diferentes dentro de la misma columna presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, α = 0.05, a>b).

La actividad antagónica de las BSP sobre *Fusarium* sp., fluctuó entre 0 y 39 %, mientras que la inhibición de *P. capsici* fue de 0 y 63 % (Figura 1). De las 64 cepas estudiadas, ocho de ellas inhibieron este patógeno entre 21-39 %. La inhibición de *P. capsici* fue efectiva en 20 cepas al limitar su desarrollo entre un 40 y 63 %. Tres cepas de BPA (15, 23 y 36) inhibieron el crecimiento de *Fusarium* sp., en un 24, 36 y 39 %; *P. capsici* redujo su crecimiento entre 21-45 % por efecto de 22 cepas de BPA, siendo mejores las cepas 1, 11, 19 y 24. El efecto antagónico de las BFN sobre *Fusarium* sp., fluctuó entre 0 y 23 %, del total de cepas solamente cuatro (8, 9, 16 y 33) inhibieron más del 20 % su desarrollo; respecto a *P. capsici* se encontraron 17 cepas con capacidad antagónica superior al 21 %, sobresaliendo cinco cepas (7, 13, 19, 22 y 32) con más del 40 % de inhibición de este patógeno (Figura 1).

En este trabajo las cepas 4, 45 y 46 identificadas como *Serratia plymuthica* inhibieron *Fusarium* sp. (26, 20 y 37 %) y *P. capsici* (45, 38 y 42 %), en otros estudios se ha demostrado que esta especie de rizobacteria puede ser antagónica a *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora capsici*, *Pythium* sp. y *Fusarium* sp., todos causantes de la secadera o "damping-off" en cultivos hortícolas (Grosch *et al*., 2005; Kim *et al*., 2008). Las BSP, BPA y BFN pueden inhibir la incidencia de enfermedades radicales, debido a que sintetizan sideróforos, antibióticos y enzimas hidrolíticas como la quitinasa, proteasa, celulasas o glucanasas que pueden degradar la pared celular del hongo (Hayat *et al*., 2010).

Según González *et al*. (2017), del total de cepas inoculadas, el 49 % mostraron incrementos en altura, área foliar y producción de biomasa seca total respecto al testigo. Los mejores tratamientos fueron las plántulas inoculadas con *Rhizobium nepotum* CPAC35 y *Serratia plymuthica* CPPC55. El tratamiento con la cepa CPA35 obtuvo una altura final promedio de 9.6 cm, 12 cm^2 de área foliar y 82 mg de biomasa seca total, valores que fueron 23, 8 y 26 % mejor que el testigo. El tratamiento con la cepa CPPC55 incrementó altura (9 cm) en 15 %, área foliar (13 cm2) en 34 % y producción de biomasa seca (72 mg) en 11 %.



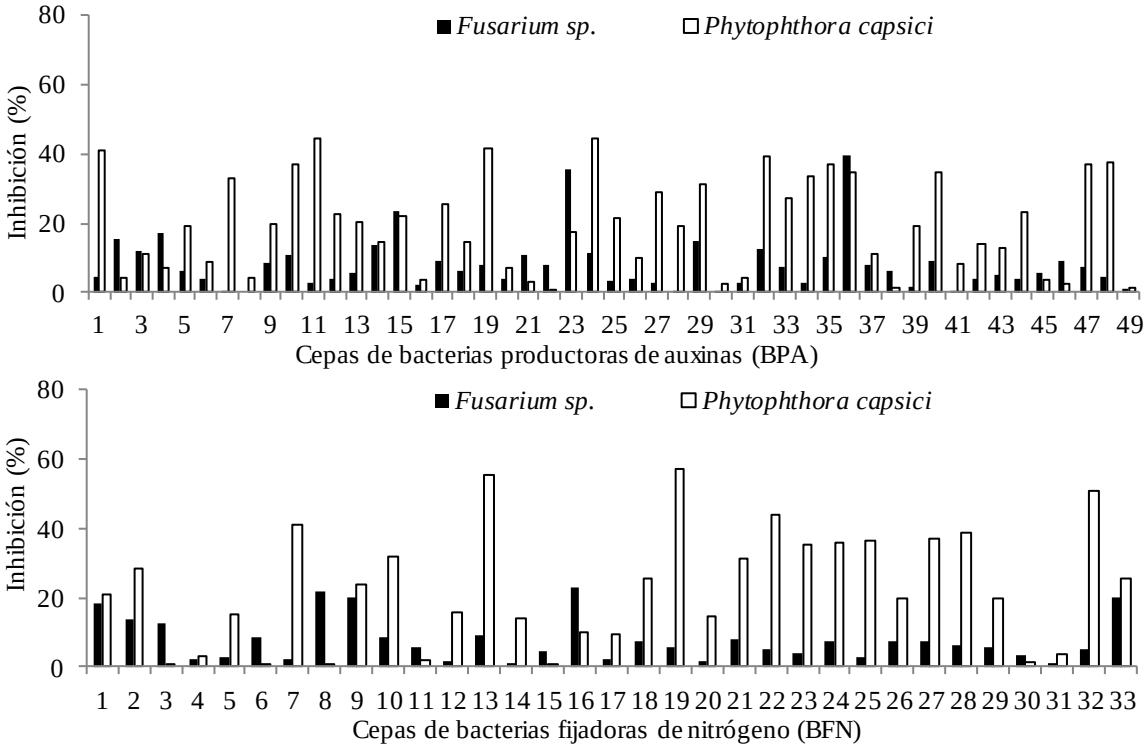


Figura 1. Porcentaje de inhibición de *Fusarium* sp., y *Phytophthora capsici* por efecto de las rizobacterias BSP, BPA y BFN asociadas con suelo rizosférico del chile poblano. Medias n = 3.

Conclusiones

Los agroecosistemas de chile poblano se asocian con diversos grupos de microorganismos, como los estudiados en este trabajo. El uso de microorganismos benéficos son alternativas para disminuir el uso de fertilizantes sintéticos y reducir sus efectos adversos en el ambiente y en la salud humana. *Serratia liquefaciens* CPAC53 no se ha utilizado como promotor de crecimiento en Capsicum, a pesar de no encontrar efectos positivos en altura se incrementó el área foliar de las plántulas, por lo que esta cepa al igual que *Serratia plymuthica* CPPC55 podrían ser usadas para la obtención de plántulas con la calidad necesaria al momento del trasplante y que podrían favorecer el rendimiento del chile poblano.

Referencias

Alejo-Iturvide, F., M.A. Márquez-Lucio, I. Morales-Ramírez, M.S. Vázquez-Garcidueñas and V. Olalde-Portugal. 2008. Mycorrhizal protection of chili plants challenged by *Phytophthora capsici*. European Journal Plant Pathology 120: 13-20.

Artursson, V., R.D. Finlay and J.K. Jansson. 2006. Interactions between arbúscular mycorrhizal fungi and bacteria and their potential for stimulating plant growth. Environ Microbiol. 8:1-10.

Bierman, B., and R.G. Linderman. 1981. Quantifying vesicular-arbuscular mycorrhizae: A proposed method towards standardization. New Phytologist. 87(1):423-432.

FAOSTAT, 2018. Division estadística. Food and Agriculture Organization of the United Nations [en línea]. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC (Consultado agosto-2018).

González, M.A., S.J.J. Almaraz, C.R. Ferrera, G.M.P. Rodríguez, G.O.R. Taboada, S.A. Trinidad, A. Alarcón, y G.R.I. Arteaga. 2017. Caracterización y selección de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de chile poblano

(*Capsicum annuum* L.). Rev. Int. Contam. Ambie. 33(3): 463-474.
Gerdemann, J.W., and T.H. Nicolson. 1963. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Transactions of the British Mycological Society. 46(2):235-244.
Grosch, R., F. Faltin, J. Lottmann, A. Kofoet and G. Berg. 2005. Effectiveness of 3 antagonistic bacterial isolates to control *Rhizoctonia solani* Kuhn on lettuce and potato. Canadian Journal of Microbiology 51: 345-53.
Hariprasad, P. and S.R. Niranjana. 2009. Isolation and characterization of phosphate solubilizing rhizobacteria to improve plant health of tomato. Plant Soil. 316(1-2):13-24.
Hayat, R., S. Ali, U. Amara, R. Khalid and I. Ahmed. 2010. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. Ann Microbiol 60: 579-98.
Kim, Y.C., K.Y. Kim, H. Jung and S.K. Park. 2008. An effective biocontrol bioformulation agains *Phytophthora* blight of pepper using growth mixtures of combined chitinolytic bacteria under different field conditions. Eur. J. Plant Pathol. 120 (4), 373-382.
Madigan, M.T., J.M. Martinko, Dunlap and P.D. Clark. 2009. Brock. Biología de los Microorganismos 12a.ed. Pearson Educación, S.A. Madrid, España 1259 pp.
Mena, V.H., J.O. Ocampo, L. Dendooven, S.G. Martínez, C.J. González, F.T. Davies and V. Olalde-Portugal. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance fruit growth and quality of chile ancho (*Capsicum annuum* L. cv San Luis) plants exposed to drought. Mycorrhiza. 16(4):261-267.
Phillips, J.M. and D.S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society. 55(1):158-161.
Sandhya, V., S.Z. Ali, B. Venkateswarlu, G. Reddy and M. Grover. 2010. Effect of osmotic stress on plant growth promoting *Pseudomonas* spp. Archives of Microbiology. 192(10):867-876.
Sawers, R.J.H., C. Gutjahr and U. Paszkowski. 2008. Cereal mycorrhiza: an ancient symbiosis in modern agriculture. Trends Plant Sci. 13(2):93-97.
SIAP-SAGARPA. 2017. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta 1980–2014 (SIACON). México DF. Disponible en: <http://www.siapsagarpa.gob.mx>.
Yu, X., C. Ai, L. Xin and G. Zhou. 2011. The siderophore-producing bacterium, *Bacillus subtilis* CAS15, has a biocontrol effect on *Fusarium* wilt and promotes the growth of pepper. European Journal of Soil Biology 47: 138-145.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

BIOTECNOLOGÍA MICROBIANA EN EL MANEJO DEL CHILE PIMIENTO (*Capsicum annuum* L.)

Angulo-Castro, A.[1*]; Ferrera-Cerrato, R.[2]; Alarcón, A.[2]; Almaraz-Suárez, JJ.[2] Delgadillo-Martínez J.[2]

[1]Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa. México.
[2]Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México. México.

*Autor responsable: azareel.angulo@uas.edu.mx; Carretera Culiacán-Eldorado Km.17.5, Culiacán, Sinaloa. México. CP 80000; Tel. 01 667 846 1084

Resumen

Se estudió el sinergismo entre la bacteria promotora del crecimiento vegetal (BPCV) cepa P61 (*Pseudomonas tolaasii*) y su interacción con un consorcio de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) conformado por *Funneliformis aff. geosporum y Claroideoglomus sp*., y dos soluciones nutritivas (Steiner al 50% y 100%), con base en su efecto en plantas de chile Bell Pepper "California Wonder". Las plantas fueron inoculadas con los HMA en la siembra, y las BPCV 15 días después de la emergencia y 10 días después del trasplante. Las plantas se mantuvieron en condiciones de invernadero y riegos con la solución Steiner, durante 140 días. Se observaron incrementos en absorción de nutrimentos, excepto fósforo, al utilizar únicamente el consorcio de HMA respecto al control; sin embargo, al utilizar BPCV la absorción de fósforo incrementó. Los mejores resultados se observaron al inocular conjuntamente HMA y BPCV con solución Steiner al 100%, en la mayoría de las variables respecto al control. En calidad de fruto hubo incrementos en el contenido de azúcares totales y °Brix, cuando se inocularon HMA y BPCV, independientemente del porcentaje de solución Steiner. Tanto HMA como BPCV pueden utilizarse para reforzar el desarrollo de plantas de chile Bell Pepper, y la calidad de fruto, en condiciones de invernadero.

Palabras clave

Altura, solidos solubles totales, Pseudomonas

Introducción

El uso indiscriminado de fertilizantes minerales en la producción de cultivos hortícolas es una seria amenaza a los ecosistemas al contaminar la atmósfera, el suelo y el agua (Leogrande *et al.*, 2013). En consecuencia, diversos países en desarrollo tienen el reto de implementar nuevos modelos agrícolas, más sustentables con el ambiente y los recursos naturales, y que permitan la producción de alimentos para satisfacer a un número creciente de habitantes en el mundo (Thilagar *et al.*, 2016).

Los biofertilizantes son sustancias que contienen microorganismos vivos, como bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) y hongos micorrízicos arbusculares (HMA), que cuando se aplican a semillas, plantas o suelo, colonizan la rizosfera o el interior de las raíces, cuya

actividad aumenta el crecimiento y el suministro de nutrientes a la planta (Malusa y Vassilev, 2014). Además, estos microorganismos pueden ser una alternativa al problema de la sobrefertilización y lograr una agricultura sostenible (Gomiero *et al.*, 2011).

Los HMA y las BPCV pueden actuar sinérgicamente para estimular el crecimiento vegetal a través de una serie de mecanismos; ambos grupos son de importancia crucial en los sistemas agrícolas de bajos insumos o sostenibles, los cuales dependen de los procesos biológicos, en lugar de agroquímicos, para mantener la fertilidad del suelo y la salud de las plantas (Artursson *et al.*, 2006; Mahanty *et al.*, 2016).

Los sistemas hidropónicos representan tecnologías de cultivo que utilizan soluciones nutrimentales en lugar de suelo agrícola. Debido a esto, los sistemas hidropónicos han sido ampliamente utilizados para el cultivo de varias plantas, por lo que la demanda de productos hidropónicos es cada vez mayor. De acuerdo a esto, se han realizado diversas investigaciones sobre el efecto de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) en los sistemas hidropónicos (Lee y Lee, 2016). Por ejemplo, Liu *et al.* (2007) cuando aplicaron *Pseudomonas chlororaphis* o *Bacillus cereus* a crisantemos (*Chrysanthemum* sp.), la infección por *Pythium sp*. disminuyó alrededor del 20%. *Bacillus subtilis*, así mismo, es bien conocido como potenciador del crecimiento de las plantas con la capacidad de disminuir los efectos de la salinidad en soluciones nutritivas (Bochow, 1992)

A pesar de los beneficios mencionados, existe escasa información sobre el efecto de BPCV como *Pseudomonas tolaasii*, en combinación con consorcios de HMA en la promoción del crecimiento y producción del cultivo de chile Bell Pepper en sistemas hidropónicos. Por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el sinergismo entre BPCV y HMA en el crecimiento vegetativo y calidad de frutos de pimiento Bell Pepper *cv*. "California Wonder" bajo un sistema hidropónico en invernadero y diferentes dosis de fertilización.

Materiales y Métodos

Material vegetal y condiciones experimentales

La investigación se realizó bajo condiciones de invernadero en las instalaciones del Colegio de Postgraduados campus Montecillo. Se utilizaron semillas de chile Bell Pepper variedad pimiento "California Wonder" (Distribuidora Rancho Los Molinos S.A. de C.V.), con germinación mayor del 89%.

Material microbiológico

Se utilizó un consorcio de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), aislado de la rizosfera de chile en el estado de Puebla, y conformado por *Funneliformis aff. geosporum* y *Claroideoglomus* sp. El inóculo micorrízico consistió de 2296 esporas por 100 g de suelo seco.

Se utilizó la cepa bacteriana P61 (*Pseudomonas tolaasii*) fue crecida en caldo nutritivo a 28 °C por 72 h, y posteriormente centrifugada a 7000 rpm por 15 minutos para separar el concentrado microbiano del medio de cultivo. Este concentrado se resuspendió en agua destilada estéril y centrifugado en dos ocasiones con el propósito de eliminar los nutrientes residuales. La concentración de células bacterianas fue de 1×10^8 mL^{-1}. Algunas características reportadas para el género y especie de la BPCV utilizada en este experimento, corresponden a la producción de auxinas y solubilización de fosfato para *Pseudomonas tolaasii* (Dell'Amico *et al*., 2008).

Siembra de la semilla e inoculación de los microorganismos
La siembra de las semillas se realizó en charolas de unicel de 200 cavidades. Se sembró una semilla por cavidad en un sustrato conformado por arena, turba y perlita (1:1:1 v/v), previamente esterilizado (121 °C durante 3 h, por dos días consecutivos).
La inoculación del consorcio micorrízico, se realizó al momento de la siembra mezclando el inóculo con el sustrato a una proporción de 1:4 v/v. La inoculación de la cepa bacteriana se llevó a cabo 15 días después de la germinación de semillas, aplicando 2 mL de inóculo directamente a la zona de la raíz y una segunda inoculación a los 10 días después del trasplante.
Las plantas permanecieron 80 días bajo condiciones de almácigo en invernadero, posteriormente se trasplantaron en bolsas de polietileno negro con dimensiones de 40 x 40 cm, con un contenido de 12 litros de tezontle rojo sin cribar, utilizado como sustrato.

Aplicación de solución nutritiva y manejo agronómico
Se utilizó la solución de Steiner al 50% y 100%, con una conductividad eléctrica de 1.0 y 2.0 dS m^{-1} respectivamente, así como un combo de micro elementos, ajustando el pH a 6.5.
La solución nutritiva fue aplicada por medio de goteros en forma de espagueti (dispositivos de goteo) que de manera dosificada proporcionaron el riego en la cantidad necesaria.

Variables evaluadas
Después de 140 días del trasplante, las plantas fueron evaluadas y cosechadas, y se les midió número de hojas y área foliar. El área foliar fue determinada con un medidor de área foliar marca LICOR (LI 3000, Inc. Lincoln, NE, EUA). Adicionalmente, se realizó un análisis foliar de macronutrimentos (N, P, K, y Ca). Para determinar el contenido de nitrógeno total, se utilizó el método kjeldahl (AOAC, 1999); el P total, por colorimetría; el K por fotometría de llama; y el Ca mediante espectrometría de absorción atómica (Varian SpectrAA 220). También se realizó un estudio sobre parámetros químicos de frutos, seleccionado seis frutos completamente desarrollados por tratamiento, en las que se evaluaron las siguientes variables: sólidos solubles totales (° Brix), y cuantificación de azúcares totales. Para medir sólidos solubles totales (°Brix) se utilizó el refractómetro digital PR-32α marca ATAGO con una capacidad de 0-32 °Brix. El contenido de azúcares totales se determinó por el método antrona.

Tratamientos y diseño experimental
El experimento tuvo un arreglo factorial 2 x 2 x 2 considerando dos niveles para el factor inoculación bacteriana (con BPCV y sin BPCV), dos niveles para el factor micorrización (con y sin el consorcio micorrízico), y dos niveles para el factor fertilización (50 y 100% solución Steiner) obteniendo ocho tratamientos con seis repeticiones, distribuidos en un diseño completamente al azar. Los datos fueron analizados mediante el programa SAS para Windows (SAS Institute Inc. 2002), realizando un análisis de varianza y prueba de comparación de medias (LSD, α=0.05).

Resultados y Discusión

Los inoculantes tuvieron una influencia positiva en la absorción de nutrimentos por las plantas después de 145 días del trasplante. Los contenidos foliares de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, mostraron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre cada uno de los tratamientos evaluados (Figura 1).

Todas las plantas tratadas con las BPCV y los HMA permitieron mayor acumulación de los elementos minerales comparado con los tratamientos testigos, este efecto fue más notorio en los tratamientos inoculados con HMA. Al respecto, Perner *et al*. (2007) mencionan que los HMA permiten mayor absorción de nutrimentos principalmente fósforo, nitrógeno y potasio, pero se han encontrado evidencias de su efecto en los elementos menores como zinc, cobre, hierro, azufre, calcio, magnesio y boro (Altomare y Tringovska, 2011).

En este trabajo, los incrementos en el contenido de nitrógeno y fósforo fueron de 1.5 y 2.1 veces, respectivamente en plantas inoculadas, respecto a los controles. En un estudio similar realizado por Tanwar y Aggarwal (2014), al inocular HMA (*Funneliformis mosseae*, *Acaulospora laevis*) y BPCV (*Pseudomonas fluorescens*) en pimiento Bell pepper encontraron mayor contenido foliar de fósforo (0.16-0.25 %) y nitrógeno (1.84-3.06 %), mostrando incrementos de hasta 2.1 veces más en fósforo, y hasta 2.5 veces más en nitrógeno en comparación con el testigo (0.12 % P y 1.24 % N). Padmavathi *et al*. (2015), al inocular *G. intraradices* y *Acinetobacter junii* en plantas de Bell Pepper encontraron mayor contenido de fosfato (2.2 mg mL^{-1}) con respecto a las plantas no inoculadas (1.0 mg mL^{-1} fosfato).

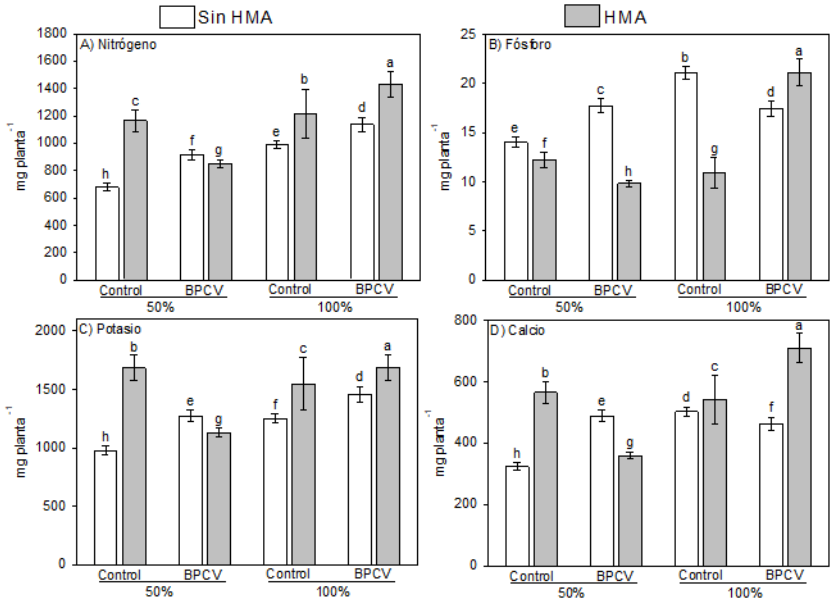


Figura 1. Contenido de nitrógeno (A), fósforo (B), potasio (C), calcio (D) de plantas de chile (*Capsicum annuum*) pimiento Bell Pepper, por efecto de la inoculación de una cepa bacteriana promotora del crecimiento vegetal, un consorcio de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), y dos concentraciones de solución nutritiva Steiner (50 y 100%), después de 145 días del trasplante. n = 6. Medias ± Error estándar. Letras idénticas sobre las barras en su correspondiente gráfica, son estadísticamente iguales (LSD, α = 0.05). Abreviaturas: BPCV= *Pseudomonas tolaasii*, 50% = Solución Steiner al 50%, 100%= Solución Steiner al 100%.

Los parámetros de crecimiento evaluados en este estudio (área foliar y número de hojas) fueron favorecidos por la inoculación de *Pseudomonas tolaasii* y el consorcio micorrízico (*Funneliformis*

geosporum + *Claroideoglomus* spp.) sean solos o en combinación, respecto a las plantas no inoculadas. El efecto más significativo fue obtenido en los tratamientos micorrizados, destacando el tratamiento con 100 % solución Steiner+BPCV+HMA. La interacción sinérgica de las BPCV y los HMA en cultivos de *Capsicum annuum* ha sido ampliamente documentado, y la mayoría de las investigaciones coinciden en los beneficios que éstos traen a sus hospedantes mejorando la altura, el desarrollo radical, el área foliar y número de hojas, así como la mayor acumulación de biomasa (Padmavathi *et al*., 2016). Otros autores han demostrado que el uso de HMA en cultivares de chile también mejoran los parámetros de crecimiento estudio (Boonlue *et al*., 2012), coincidiendo con la tendencia observada en el presente trabajo.

Los sólidos solubles totales en frutos fueron influenciados por la inoculación de BPCV en comparación con los no inoculados con la bacteria al 50% de fertilización. Resultados similares observaron Ordookhani y Zare (2011) en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum*) inoculados con BPCV y HMA. Karakurt *et al*. (2011) mencionan que un mayor crecimiento vegetativo puede acelerar la actividad fotosintética, beneficiando la síntesis de compuestos orgánicos, como azúcares totales o sólidos solubles totales, lo cual se refleja en la calidad del fruto. Esto concuerda con Chelpinski *et al*. (2010), quienes demostraron que la aplicación de *Azotobacter* en plantas de fresa tuvo un impacto importante en algunas propiedades químicas de los frutos, tales como el contenido de solidos solubles totales y azúcares totales.

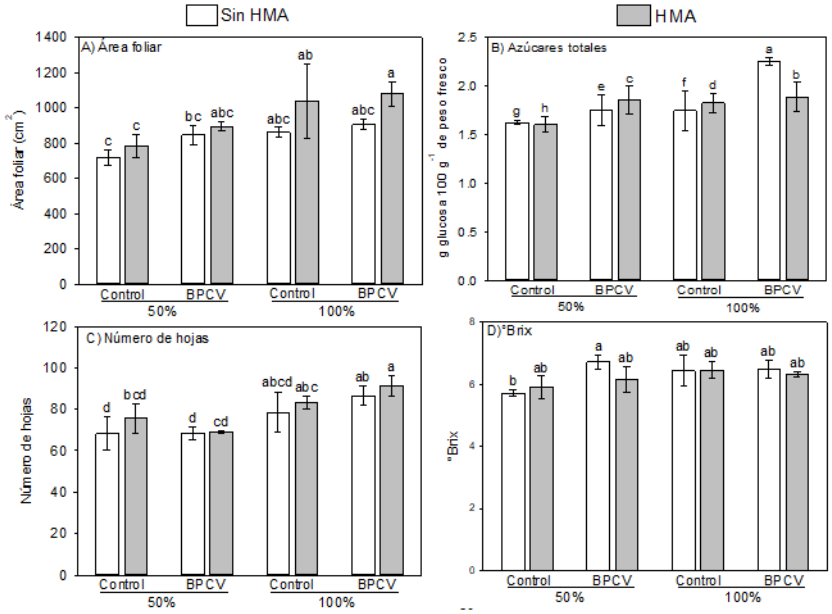


Figura 2. Area foliar (A), azucares totales (B), número de hojas (C), °Brix (D) de plantas de chile (*Capsicum annuum*) pimiento Bell Pepper, por efecto de la inoculación de una cepa bacteriana promotora del crecimiento vegetal, un consorcio de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), y dos concentraciones de solución nutritiva Steiner (50 y 100%), después de 145 días del trasplante. n = 6. Medias ± Error estándar. Letras idénticas sobre las barras en su correspondiente gráfica, son estadísticamente iguales (LSD, α = 0.05). Abreviaturas: BPCV= *Pseudomonas tolaasii*, 50% = Solución Steiner al 50%, 100%= Solución Steiner al 100%.

Los tratamientos inoculados por los microorganismos (BPCV y HMA) y la solución nutritiva presentaron diferencias estadísticas significativas en el contenido de azúcares totales en los frutos frescos ($P \leq 0.05$). Los valores fluctuaron entre 1.6 a 2.3 g de glucosa por cada 100 g de peso fresco; el tratamiento con 100 % de solución Steiner+BPCV (sin HMA) tuvo el mayor contenido de azúcares (Figura 2B).

Karakurt *et al.* (2011) mencionan que un mayor crecimiento vegetativo puede acelerar la actividad fotosintética, beneficiando la síntesis de compuestos orgánicos, como azúcares totales o sólidos solubles totales, lo cual se refleja en la calidad del fruto. Esto concuerda con Chelpinski *et al*. (2010), quienes demostraron que la aplicación de *Azotobacter* en plantas de fresa tuvo un impacto importante en algunas propiedades químicas de los frutos, tales como el contenido de solidos solubles totales y azúcares totales.

Conclusiones

El consorcio de HMA incrementó la absorción de macro elementos en la planta de chile Bell Pepper con y sin la presencia de BPCV; de igual forma produjo incrementos en, el área foliar y el número de hojas, en comparación con el control sin inocular. El efecto de las BPCV por sí solas, benefició la absorción de fósforo; sin embargo, los mejores resultados en la mayoría de las variables se observaron cuando HMA y BPCV se inocularon conjuntamente respecto al control.

La fertilización al 100% benefició a la mayoría de las variables agronómicas estudiadas. El mejor tratamiento que contribuyó en la promoción del crecimiento de las plantas fue BPCV+HMA con solución Steiner al 100%. En lo que respecta a la calidad de fruto, se observaron beneficios en azúcares totales y sólidos solubles totales, al inocular HMA y BPCV, independientemente del porcentaje de solución Steiner aplicado.

El potencial biotecnológico de HMA (*Funneliformis aff. geosporum* y *Claroideoglomus* sp.) y BPCV (*Pseudomonas tolaasii*) puede ser utilizado para reforzar el desarrollo de plantas de chile Bell Pepper en invernadero, incrementando la absorción de macro y micro elementos e inducir mayor vigor, mayor producción y mejor calidad de frutos.

Referencias

Altomare, C., Tringovska, I. 2011. Beneficial Soil Microorganisms, an Ecological Alternative for Soil Fertility Management. In: E. Lichtfouse (ed.), Genetics, Biofuels and Local Farming Systems. Sustainable Agriculture Reviews. 7: 161-214.

Artursson, V., Finlay, RD., Jansson, JK. 2006. Interactions between arbúscular mycorrhizal fungi and bacteria and their potential for stimulating plant growth. Environmental Microbiology. 8: 1-10.

Bochow, H. 1992. Phytosanitary effects of Bacillus subtilis as biocontrol agent. Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent. 57: 387-393.

Boonlue, S., Surapat, W., Pukahuta, C., Suwanarit, P., Suwanarit, A., Morinaga, T. 2012. Diversity and efficiency of arbuscular mycorrhizal fungi in soils from organic chili (*Capsicum frutescens*) farms. Mycoscience. 53: 10-16.

Chepiñski, P., Skupieñ, K., Ochmian, I. 2010. Effect of fertilization on yield and quality of cultivar kent strawberry fruit. Juornal Elementol. 15: 251-257.

Dell'Amico, E., Cavalca, L., Andreoni, V. 2008. Improvement of *Brassica napus* growth under cadmium stress by cadmium-resistant rhizobacteria. Soil Biology and Biochemistry. 40: 74-84.

Lee, S., Lee, J. 2016. Beneficial bacteria and fungi in hydroponic systems: Types and characteristics of hydroponic food production methods. Scientia Horticulturae 195: 206-215.

Leogrande, R., Lopedota O., Fiore A., Vitti C., Ventrella D., Montemurro F. 2013. Previous crops and organic fertilizers in lettuce: effects on yields and soil properties. Journal of Plant Nutrition. 36: 1945-1962.

Liu W, Sutton JC, Grodzinski B, Kloepper JW, Reddy MS, 2007. Biologicalcontrol of *pythium* root rot of chrysanthemum in small-scale hydroponic units.Phytoparasitica. 35: 159-178.

Mahanty, T., Bhattacharjee, S., Goswami, M., Bhattacharyya, P., Das, B., Ghosh, A., Tribedi, P. 2016. Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. Environmental Science and Pollution Research: 1-21.

Malusa, E., Vassilev, N. 2014. A contribution to set a legal framework for biofertilisers. Applied Microbiology and Biotechnology. 98: 6599-6607.

Ordookhani, K., Zare, M. 2011. Effect of *Pseudomonas*, *Azotobacter* and arbuscular mycorrhiza fungi on lycopene, antioxidant activity and total soluble solid in tomato (*Lycopersicon esculentum* F1 Hybrid, Delba). Advances in Environmental Biology. 5: 1290-1294.

Padmavathi, T., Dikshita, R., Seshagiria, S. 2016. Influence of *Rhizophagus* spp. and *Burkholderia seminalis* on the growth of tomato (*Lycopersicon esculatum*) and bell pepper (*Capsicum annuum*) under drought stress. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 47: 1975-1984.

Padmavathi, T., Dikshit, R., Seshagiri, S. 2015. Effect of *Rhizophagus* spp. and plant growth-promoting *Acinetobacter junii* on *Solanum lycopersicum* and *Capsicum annuum*. Brazilian Journal of Botany. 38: 273-280.

Tanwar, A., Aggarwal, A. 2014. Multifaceted potential of bioinoculants on red bell pepper (F1 hybrid, Indam Mamatha) production. Journal of Plant Interactions. 9: 82-91.

Thilagar, G., Bagyaraj, DJ., Rao, MS. 2016. Selected microbial consortia developed for chilly reduces application of chemical fertilizers by 50% under field conditions. Scientia Horticulturae. 198: 27-35.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

BIOFORTIFICACION: ALGO MÁS QUE IONES

Romero L.[1*]; Sánchez-Chávez, E.[2]

[1]**Universidad de Granada, Granada España**
[2]**Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Delicias, Chihuahua. México.**

*Autor responsable: lromero@ugr.es; Calle Fuentenueva s/n, Granada. España. CP 18071. Tel. +34(958)-242-718

Introducción

Desde que el hombre pasó de formar parte de una sociedad cazadora a otra recolectora-cazadora, la especie humana sufrió un cambio en su inteligencia cognitiva y ello le permitió desarrollar el concepto abstracto denominado "Previsión". Es decir, intentar controlar su ciclo vital y por lo tanto su entorno. Este sentido de la observación le supuso conocer el ciclo de las plantas/animales y por lo tanto podía prever las épocas de fructificación/ semillas/animales y realizar su recoleta/crianza y almacenamiento, y de esta manera obtener un suplemento alimenticio en los períodos de escasez. El siguiente progreso fue el tener la capacidad de almacenar el producto de la recolección gracias a la aparición de la cerámica. En las vasijas podían conservar los alimentos durante largos períodos de tiempo e igualmente las utilizaban para regar los campos de cultivo y así se inició el denominado: **Proceso de Domesticación**. Siglos más tarde gracias al **Proceso de Industrialización** el desarrollo de la agricultura incrementa su producción de formas espectacular apoyándose en la química (fertilizantes, fitosanitarios) y en la biología (selección de razas, mejoras genéticas)
Dicho progreso ha traído como consecuencia ciertas alteraciones medioambientales.

Una de ellas es el alto gasto en fertilizantes que según la FAO calcula que para el año 2018 la producción será de 500 millones de toneladas. Esto tiene como consecuencia un gasto energético excesivo y un mayor grado de contaminación.

Otra de las consecuencias es la pobreza del número de especies cultivadas, y para más distorsión tenemos la utilización de la agricultura del monocultivo sobre el mismo suelo y por lo tanto ello implica como consecuencia una excesiva extracción selectiva de nutrientes y una alteración iónica en las plantas cultivadas de dicha manera. Es decir, las plantas cultivadas no suelen estar bien adaptadas al medio y una fertilización no balanceada supone un contenido iónico distorsionado (antagonismo/sinergismo), donde puede haber un alto contenido de ciertos nutrientes a costa de un déficit de otros.

En todo ese desequilibrio el más perjudicado es el ser humano, debido a su concepción cartesiana piramidal de ser él el centro de todo proceso sobre la tierra.

Todo lo antes escrito ha tenido sus consecuencias en la alimentación humana ya que lo seres humanos requieren más de 22 elementos minerales, que pueden ser suministrados con una dieta adecuada. Sin embargo, las dietas de las poblaciones que subsisten en como alimentación básica los cereales, o que habitan en regiones donde ocurren desequilibrios minerales del suelo, a menudo carecen de Fe, Zn, Ca, Mg, Cu, I o Se. Las estrategias tradicionales para entregar estos minerales a las poblaciones susceptibles se han basado en los programas de suplementación o enriquecimiento

de alimentos. Lamentablemente, estas intervenciones no siempre han tenido éxito. Una solución alternativa es aumentar las concentraciones de minerales en cultivos comestibles. Esto se denomina "Biofortificación". Se puede lograr mediante la fertilización mineral o sobre la manipulación de las plantas. Existe una variación genética considerable en las especies que son cultivadas por el ser humano que puede aprovecharse para estrategias de Biofortificación sostenibles. Las variedades con mayores concentraciones de minerales en sus porciones comestibles ya están disponibles, y se están desarrollando nuevos genotipos con mayor capacidad de absorción iónica.

Resumiendo lo anteriormente dicho, se ha de hacer constar que la Biofortificación o Fitoacumulación son dos técnicas cuyo origen es la Fitorremediación.

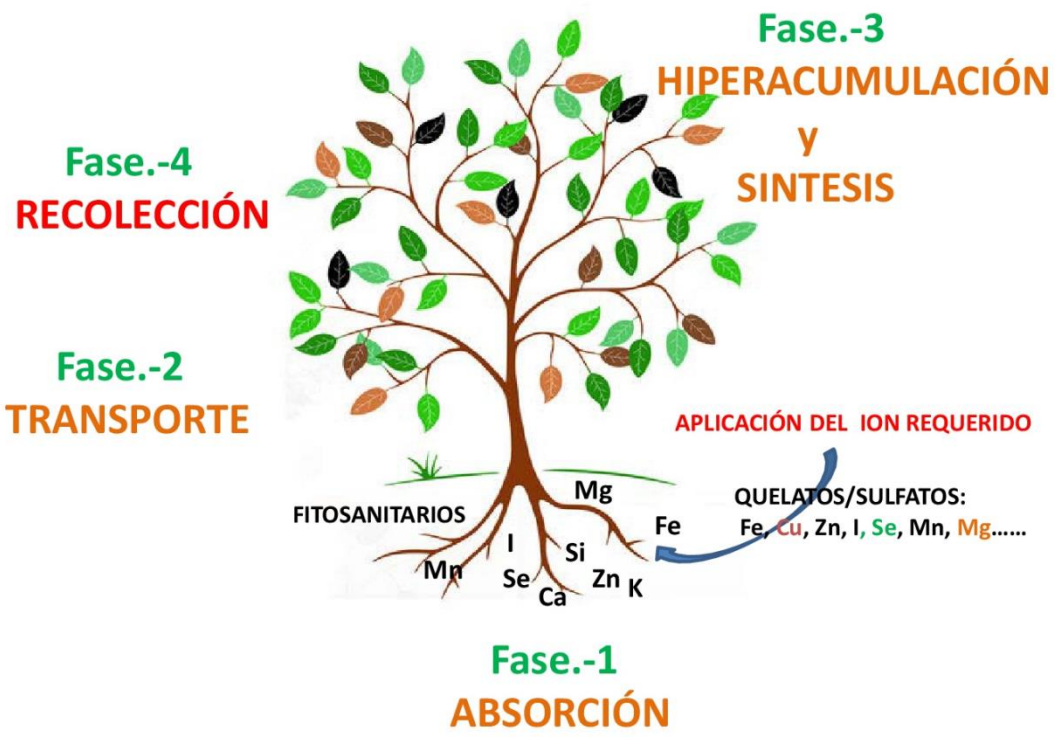
La primera vez que se utilizó el concepto de Fitoextracción fue en 1995 por Kumar *et al*… y más tarde se aplicó dicho concepto a la capacidad que las plantas poseen, pero dando un giro en su interpretación y enfocándolo más al servicio de la humanidad y dicho proceso se denominó Biofotificación en 2005 y fueron White y Broadley los creadores de dicha técnica. Por otro lado fue en 2009 donde los conceptos de Fitorremediación y Biofortificación se analizaron por parte de Zharo y McGarth en 2009.

Desde los inicios de dichas técnica se ha desarrollado los conceptos o definiciones de lo que es una planta Fitoextractora y/ o Fitoacumuladora y como es natural el de Bioacumuladoras. **Fitoextracción**/fitoacumulación: el uso de plantas que absorben y concentran en sus partes recolectables (hojas, tallos, frutos) los contaminantes contenidos en el suelo (a menudo metales pesados). Se utilizan plantas acumuladoras y / o hiperacumuladoras que sean capaces de tolerar y acumular los metales pesados. Es posible mejorar la extracción mediante la adición de quelatos en el suelo. En la mayoría de los casos las plantas se cosechan y se incineran, las cenizas se almacenan en lugares acondicionados para ello o son transformadas para recuperar los metales acumulados (a esto se le llama fitominería).

Otra de las ventajas de la Biofortificación no está solamente en el alto contenido de iones necesarios para el equilibrio metabólico e iónico, sino ello conlleva un valor añadido de algunos nutrientes orgánicos (Fitonutrientes/ Probioticos/Antioxidantes) de alto poder medicinal.

Una ingesta cuya base son plantas con características especiales (Biofortificadas o no) suele ser conocida por ser beneficiosa para la salud, especialmente en relación al desarrollo de enfermedades degenerativas crónicas. Muchos estudios epidemiológicos han relacionado al efecto beneficioso del consumo de tomate, lechuga, bayas silvestres, frijoles, brocoli, zanahoria, granada, chiles, etc…con la prevención de algunas de las principales enfermedades crónicas, como son algunos tipos de cáncer y enfermedades cardiovasculares Los beneficios protectores de los compuestos antioxidantes son, en parte, debidos a su capacidad de detoxificar los radicales libres y, por tanto, prevenir los cambios oxidativos anormales producidos en el cuerpo humano. Así, dichos tipos frutas o semillas,como la del aguacate,son beneficiosos para la salud humana gracias a su elevado contenido de fitonutrientes como licopeno, β-caroteno, compuestos fenólicos, ácido ascórbico y otros nutrientes esenciales.

ESQUEMA GENERAL DE LA BIOFORTIFICACION/FITOFORTIFICACIÓN



Biofortificación/Bioextracción/Fitoextraccion: cuando las plantea se utilizan por el ser humano con fines beneficiosos y alimenticios

Respecto a las características nutricionales de los frutos, uno de los fitonutrientes más característicos del tomate, chili rojo, manzana roja o la sandía, es el licopeno (Lyc), un carotenoide con una gran capacidad de eliminar especies reactivas de oxígeno (ROS) y que representa más del 80% de los carotenoides totales en los frutos ¨rojos". El Lyc es también responsable de su enrojecimiento, debido a la diferenciación de los cloroplastos a cromoplastos, por eso este carotenoide es muy importante en la calidad nutricional final y comercial de varios productos hortícolas. Existen muchos estudios donde se observa una fuerte relación entre la calidad nutricional y su contenido de Lyc, ya que se ha reconocido como una molécula que suprime la proliferación celular en humanos e interfiere con el crecimiento de las células cancerígenas, previniendo así la incidencia de determinados cánceres. Otro carotenoide presente en los frutos es el β-caroteno, un fotoprotector que actúa en la fotosíntesis como pigmento recolector de luz, aunque de menor importancia que el Lyc ya que constituye sólo el 7% del contenido total de carotenoides del fruto. El β-caroteno, también conocido como pro-vitamina A, es un poderoso antioxidante con una serie de beneficios para la salud humana: ayuda al sistema inmune y destruye las células cancerígenas; reduce el riesgo de enfermedades cardiovasculares, síndrome de fatiga crónica, soriasis, cáncer de

piel y lupus; y es necesario en la prevención de la ceguera y las cataratas, y en la recepción de la luz por el ojo humano.

Junto a los carotenoides, los compuestos fenólicos o polifenoles representan otra de las dos grandes clases de fitonutrientes encontrados en frutos y vegetales de la dieta mediterránea, y especialmente en frutos como las uvas, arándanos, frambuesas, tomate, etc… Los polifenoles son unos componentes vegetales ubicuos que derivan principalmente de la fenilalanina a través del metabolismo fenilpropanoide. Además, estos compuestos confieren un papel importante en la respuesta a condiciones de estrés biotico/abiotico. Así, los compuestos fenólicos pueden actuar en las plantas como fitoalexinas, frente a la herbivoría, como atrayente de polinizadores, contribuyendo a la pigmentación vegetal, como antioxidantes y protegiendo frente a la luz UV. El interés de los compuestos fenólicos como antioxidantes se centra principalmente en los flavonoides. Las funciones de los flavonoides en las plantas no están todavía muy claras, aunque se les atribuyen funciones en los mecanismos de defensa frente a la herbivoría, estrés por patógenos y radiación UV-B. Por otro lado, existen estudios epidemiológicos que sugieren un beneficio por el consumo humano de frutas y verduras ricas en flavonoides, ya que protegen frente a las enfermedades cardiovasculares, cáncer u otras enfermedades relacionadas con la edad como la demencia. Finalmente, existen flavonoides, como las antocianinas, que son también importantes como antioxidantes, ya que protegen a las plantas frente al estrés oxidativo, actuando como un fotoprotector que absorbe la luz naranja-verde del espectro visible, previniendo así la foto-oxidación de las clorofilas. Además de la protección frente a la luz UV, a las antocianinas también se le han atribuido funciones como antioxidantes y antiherbivoría. Aparte de sus funciones fisiológicas en las plantas, las antocianinas se consideran componentes importantes en la nutrición humana, ya que producen un aumento en la capacidad antioxidante, transportándose a zonas con una actividad metabólica elevada donde producen una reducción en la permeabilidad y fragilidad de los capilares, inhibiendo la agregación de las plaquetas y toda estimulación inmune.

Sin embargo, el antioxidante más efectivo de los diferentes productos vegetales es el ascorbato o vitamina C. Este compuesto tiene un papel fisiológico muy importante ya que, además de estar envuelto directamente en la eliminación de ROS y en la regeneración de la vitamina E en las plantas, participa en el metabolismo celular y en el control del crecimiento, en la división celular, en la expansión de la pared celular y en la organogénesis. Como un antioxidante, el ascorbato elimina directamente los ROS a través de una vía no enzimática y reduce el peróxido de hidrógeno a agua a través de la reacción ascorbato peroxidasa (APX). No obstante, el ascorbato puede ser sintetizado por las plantas y por la gran mayoría de los mamíferos, pero no por los seres humanos, donde es fundamental en el mantenimiento de un sistema inmune saludable, ya que reduce la severidad de algunas enfermedades como el resfriado o la gripe mediante la prevención de las infecciones virales secundarias o bacterianas, protegiendo frente al daño producido por los ROS, y en la prevención de enfermedades cardiovasculares.

Por otro lado, un tratamiento de Biofortificación es esencial para mejorar, evitar o prevenir ciertas enfermedades en humanos. En la actualidad en los países desarrollados se consume unas bajas dosis de Fe, I, Se, Mn, Mg, K, etc…debido al consumo de alimentos procesados y una dieta insuficiente en frutas y verduras. Debido a esta razón se está empezando a trabajar en los llamados programas de biofortificación con iones en plantas con el fin de aumentar la ingesta diaria de ellos. En este sentido distintos estudios tanto epidemiológicos como clínicos han demostrado que una dieta rica en

iones produce una reducción de la tensión arterial, reduce la mortalidad debida a enfermedades cardiovasculares, disminuye el riesgo de osteoporosis y previene el desarrollo de la diabetes. Estos trabajos muestran también que la mejor forma de tomar dichos iones en la dieta es mediante el consumo de frutas y hortalizas ricas o enriquecidas en éstos elementos, por lo que es necesario en la agricultura actual incrementar sus concentraciones en los productos agrícolas destinados al consumo humano bien mediante la fertilización o bien mediante el uso de genotipos con una mayor eficacia en la utilización de dichos nutrientes.

Además de su efecto beneficioso para los humanos, el K es uno de los nutrientes considerados como esenciales para la producción y calidad de los cultivos. El K parece ser uno de los nutrientes más importantes que puede afectar de forma positiva a la mejora de la calidad nutricional. Según las pocas investigaciones que se pueden encontrar al respecto el aumento en la fertilización con K induce la transpiración y la fotosíntesis en plantas lo que supone un aumento en la producción de fotoasimilados. Además un aumento en la fertilización con K supone un incremento del transporte de los fotoasimilados a los frutos lo que mejora su producción y calidad nutricional.

En el amplio campo de la Biofortificacion actualmente se está trabajando con el K ya que aumenta la síntesis de aminoácidos y proteínas en hojas y su prolongación de vida útil durante su posterior transporte a los frutos. En cuanto al efecto del K en frutos sobre otros compuestos responsables de la mejora de la calidad nutricional, se ha comprobado que su aplicación aumenta los carotenoides (Lyc, y β-caroteno) y el ascorbato. Su posible efecto sobre el resto de las características nutricionales en frutos no se conoce aún por lo que es necesaria una investigación más exhaustiva.

Otra línea de trabajo es con Si, como invitador de la salinidad en cereales o la manipulación de genes que facilitan una mayor absorción selectiva de ciertos iones y permiten un acumulo endógeno importante de iones y fitonutrientes.

BIBLIOGRAFIA

KUMAR, N.P.B.A. *et al*. (1995). Phytoextraccion: theuse of plants to remove heavy metals from soil. Environ Sci.Technolo. 29:1232-1228.

WHITE, P.J. and BROADLEY,M.R. (2005).- Biofortifying crops. With essential mineral elements. Trens of Plant Science. 10:586-593.

ZHAO, F. and McGRATH,S.P. (2019). Current Opinion in Plant Biology.12: 373-380.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

BIOFORTIFICACIÓN CON MICRONUTRIENTES EN FRIJOL: APROVECHAMIENTO DE LA AGROBIODIVERSIDAD

Sánchez-Chávez, E.[1*]; Gutiérrez-Ruelas, N.J.[1]; Muñoz-Márquez, E.[1]; Soto-Parra, J.M.[2]; Flores-Córdova, M.A.[2]; Ojeda-Barrios, D.L.[2]; Preciado-Rangel, P.[3]; Romero, L.[4]

[1]**Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Unidad Delicias. Chihuahua. México**
[2]**Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua. México.**
[3]**Instituto Tecnológico de Torreón. Torreón, Coahuila. México.**
[4]**Universidad de Granada, Granada, España**

*Autor responsable: esteban@ciad.mx; Avenida Cuarta Sur Núm. 3820, Fracc. Vencedores del Desierto, Delicias, Chihuahua. México. CP 33089; Tel. +52(639)-474-8400

Resumen

El objetivo del presente estudio fue caracterizar nutricionalmente la agrobiodiversidad de frijol en México con potencial a ser biofortificado con micronutrientes para combatir la deficiencia y mejorar la salud humana. Se recolectaron 105 variedades de frijol representativo de México, y se evaluó las características físicas, calidad nutricional y nivel de proteína. A los datos obtenidos se les realizó un análisis de conglomerados de K medias mediante el software SPSS Statistics 20. Los resultados obtenidos indicaron que se encontraron diferencias significativas en la calidad nutricional de las 105 variedades de frijol recolectados en México. El análisis de conglomerados arrojó 12 variedades sobresalientes con el mayor número de características favorables en cuanto al contenido de hierro, zinc y proteína. Las variedades sobresalientes en cuanto a su contenido de Fe y Zn fueron Pinto (#103) para Fe 136.417 ppm y Ojo de Cabra (#23) para Zn 52.122 ppm. La variedad con mayor cantidad de proteína 31.52 % fue el frijol ejotero (#82). Finalmente, resaltar que las 12 variedades de frijol sobresalientes son importantes incluirlas en un programa de biofortificación de Hierro y Zinc en frijol para mejorar la calidad nutricional y disminuir el problema de desnutrición con micronutrientes en México y en el mundo.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L.; biofortificación; frijol; micronutrientes; malnutrición;

Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa más significativa para consumo humano en el mundo, ya que es una fuente importante de proteína, calorías, vitaminas del complejo B y minerales (Maldonado *et al*., 2002; Suárez-Martínez *et al*., 2016).

La deficiencia de micronutrientes como Hierro (Fe), Zinc (Zn), Selenio (Se) y Iodo (I) es un problema de salud pública, que afecta a más de un tercio de la población mundial. La malnutrición por deficiencia de micronutrientes tiene grandes consecuencias socioeconómicas. Esto da como resultado el aumento de la mortalidad, baja talla y desarrollo infantil y problemas de aprendizaje en bebes y niños. Actualmente, una estrategia innovadora a la problemática de la desnutrición de micronutrientes en la dieta alimentaria es la "Biofortificación". La biofortificación ha sido definida como el proceso de incrementar las concentraciones biodisponibles de elementos esenciales en porciones comestibles de plantas cultivadas a través del manejo agronómico (fertilización) o mejoramiento genético (White y Broadley, 2005).

El frijol se considera un cultivo estratégico para biofortificar con Fe y Zn, debido a que es un alimento importante de la canasta básica ya que de este cultivo se obtiene la proteína de origen vegetal más utilizada por los diferentes estratos sociales. Para asegurar que la biofortificación con Fe y Zn resulte efectiva, deben establecerse las concentraciones en las cuales el grano de frijol pueda brindar al consumidor los niveles recomendados para evitar deficiencias nutricionales (Sánchez *et al.*, 2013).

Por otro lado, la producción de frijol en México para 2014 fue de 1, 273,957 toneladas compitiendo con países como la India, Brasil, China y Estados Unidos, países que en conjunto aportan el 65% de la producción mundial (FAO, 2015). México es el país con la mayor diversidad de frijol, ya que se considera el centro de origen de 47 de las 52 especies clasificadas en el género *Phaseolus* (Silva-Cristobal *et al.*, 2010). Sin embargo, hace falta realizar estudios profundos de las características físicas y químicas de las diferentes variedades de frijol existentes en México. Por lo que el objetivo de la presente investigación fue caracterizar nuticionalmente la agrobiodiversidad del frijol en México con potencial a ser biofortificadas con hierro y zinc.

Materiales y Métodos

Material vegetal

Se recolectaron 105 variedades de frijol representativos de todo el país en los estados de Chihuahua, Durango, Zacatecas, Sinaloa, Tabasco, Yucatán, Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Puebla, Jalisco, Morelos, Guanajuato, Michoacán y Estado de México (Cuadro 1).

Variables evaluadas

Características físicas del frijol.

Para cada variedad de frijol se determinó el peso, longitud, ancho y grosor de la semilla (Aguirre-Santos y Gómez-Aldapa, 2010). Así como, el color de la semilla en función de luminosidad, cromaticidad y tonalidad mediante un equipo Chroma Meter CR-400/410 (Konica Minolta) (Rettig y Ah-Hen, 2014).

Análisis nutricional del frijol

Se determinó el contenido de micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu y Ni), el contenido de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) y Proteínas (Calvo et al., 2008).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza, prueba de separación de medias por Tukey, y análisis de correlación. Así mismo, por la cantidad de información de las 105 variedades de frijol, se procedió a realizar un análisis estadístico por medio de componentes principales.

Resultados y Discusión

La gran biodiversidad de las variedades mexicanas de frijol, presentando diferencias significativas en las propiedades físicas del frijol (ancho, largo, grosor y peso), así como, en el color del grano (luminosidad, cromaticidad y tonalidad), y concentración de micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu y Ni), macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) y Proteína.

La variabilidad en la concentración de Fe (23.83 a 136.41 ppm), destacando las variedades de frijol: Pinto (103, Negro (104), Peruano (100), Negro (102) y Flor de Mayo (101) de Cuautla, Morelos; Pinto Saltillo (97) de Namiquipa, Chihuahua; Sangre de Toro (98) de Tlayacapan, Morelos; Negro (99) de Dzutoh, Yucatán; Ojo de Cabra (23) de San Francisco de Conchos, Chihuahua y Patol (105) de Canatlán, Durango.

Para Zn, las concentraciones variaron de 13.08 a 52.57 ppm, las variedades sobresalientes en Zn fueron: Pelón Rojo (63) de Teapa, Tabasco; Ojo de Cabra (23) de San Francisco de Conchos, Chihuahua; Tzama (61), X-Pelón (57), Negro Ix Pelón (53) y frijol Mejenives (54) de Dzutoh, Yucatán; Ejote silvestre (82) de Cuauhtémoc, Chihuahua; Negro (81) de Mapastepec, Chiapas; Bordales (96) de Guachochi, Chihuahua y Peruano (100) de Cuautla, Morelos.

Se encontraron varias variedades sobresalientes por su alto contenido de Fe y Zn como la variedad (103) la cual tiene la más alta cantidad de Fe (136.41 ppm) y la variedad Ojo de Cabra (23) con el más alto contenido de Zn (52.12 ppm). Guzmán-Maldonado *et al*. (2000) reportaron de 84 a 280 ppm de Fe en frijol cultivado y silvestre, mientras que Astudillo y Blair (2008) reportaron promedios de 26.3 y 23.1 ppm), respectivamente para Zinc por debajo de los resultados encontrados por nuestro grupo de investigación.

En relación al contenido de N y Proteína, indicar que en el caso del N, varió de 1.11 a 5.04%, en cuanto a la proteína osciló de 6.93 a 31.52% destacando las variedades de frijol, Ejote silvestre (82) de Cuauhtémoc, Chihuahua, Amarillo (83), Negro Guaca (84) de Tuxtepec, Oaxaca, Escumite o Tepari (80) de Mapastepec, Chiapas, Peruano (100) de Cuautla, Morelos, Frijol Mejenives (54), Negro, Ix Pelón (53) de Dzutoh, Yucatán, Jaracho (95) de Atlixco, Puebla, Azufrado (73) de Guadalajara, Jalisco y Pelón osbcuro (43) de Teapa, Tabasco.

Estos resultados fueron similares a los resultados de Guzmán-Maldonado *et al*. (2000) que reportaron un contenido de 22 a 33% de proteína total. Por otro lado, Pérez-Herrera *et al*. (2002) reportaron 23.5% de proteína total en promedio para frijol mexicano.

Análisis de Conglomerados

En el Cuadro 1, se puede observar las mejores variedades en cuanto a su contenido nutricional se refiere, seleccionadas mediante un análisis de conglomerados realizado para agrupar variedades conforme a su contenido mineral, en el cual se representan 4 grupos con el mayor número de características favorables en el que se puede observar que el grupo 1 tiene las mejores características conformado por un grupo de 12 variedades, de las cuales se seleccionaron las primeras 10, las cuales son:

Cuadro 1. Variedades de frijol seleccionadas por medio de análisis de conglomerados.

No. de Variedad	Nombre de la Variedad	Localidad donde se cultivo
23	Ojo de cabra	San Francisco de Conchos, Chihuahua
70	Negro	Calera, Zacatecas
82	Ejotero silvestre	Cuauhtémoc, Chihuahua
97	Pinto Saltillo	Namiquipa, Chihuahua
98	Sangre de toro	Tlayacapan, Morelos
99	Negro	Dzutoh, Yucatán
100	Peruano	Cuautla, Morelos
101	Flor de Mayo	Cuautla, Morelos
102	Negro	Cuautla, Morelos
103	Pinto	Cuautla, Morelos
104	Negro	Cuautla, Morelos
105	Patol	Canatlán, Durango

Conclusiones

Se encontró una gran variabilidad genética en las variedades de frijol estudiadas. El análisis de conglomerados arrojó 12 variedades sobresalientes con el mayor número de características favorables en cuanto al contenido de hierro, zinc y proteína: Ojo de Cabra (#23, San Francisco de Conchos, Chihuahua), Negro (#70, Calera, Zacatecas), Ejote Silvestre (82, Cuauhtémoc, Chihuahua), Pinto Saltillo (#97, Namiquipa, Chihuahua), Sangre de Toro (#98, Tlayacapa, Morelos), Negro (#99, Dzutoh, Yucatán), Peruano (#100, Cuautla, Morelos), Flor de Mayo (101, Cuautla, Morelos), Negro (#102, Cuautla, Morelos), Pinto (#103, Cuautla, Morelos); Negro (#104, Cuautla, Morelos); Patol (#105, Canatlán, Durango).
Las variedades sobresalientes en cuanto a su contenido de Fe y Zn fueron Pinto (103) para Fe 136.417 ppm y Ojo de Cabra (23) para Zn 52.122 ppm. La variedad con mayor cantidad de proteína

con 31.52 % fue el frijol ejotero (82). Estas 12 variedades sobresalientes son importantes incluirlas en un programa de biofortificación con micronutrientes en frijol para mejorar la calidad nutricional y disminuir el problema de desnutrición con micronutrientes en México y en el mundo.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT – México) por el apoyo otorgado a través de la Convocatoria de Atención a Problemas Nacionales: Proyecto 1529 "Biofortificación de cultivos agrícolas básicos, clave para combatir la desnutrición y seguridad alimentaria en México".

Referencias

Guzmán-Maldonado SH, Acosta Gallegos JA, Álvarez-Muñoz MA, García-Delgado S, Loarca-Piña G. (2002).Calidad alimentaria y potencial nutracéutico del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Agricultura Técnica en México 28(2): 159-173.

Suárez-Martínez SE, Ferriz-Martínez RA, Campos-Vega R, Elton-Puente JE, de la Torre Carbot K, García-Gasca T. 2016. Bean seeds: leading nutraceutical source for human health. CyTA-Journal of Food 14(1): 131-137.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2015. FAOSTAT Agriculture Data. http://www.fao.org.Statistics (FAOSTAT). http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC Fecha de consulta: Junio 26, 2017.

Silva-Cristobal, L., Osorio-Díaz, P., Tovar, J., & Bello-Pérez, L. A. 2010. Chemical composition, carbohydrate digestibility, and antioxidant capacity of cooked black bean, chickpea, and lentil Mexican varieties. CyTA–Journal of Food , 8, 7-14.

White PJ, Broadley MR. 2005. Biofortifying crops with essential mineral elements. Trends in Plant Science. 10(12): 586-593.

Sánchez E, Muñoz E, Sida-Arreola JP, García M. 2013. Estrategia de innovación para mejorar la calidad nutricional y capacidad antioxidante en frijol a través del proceso de biofortificación con hierro y Zinc. Ciencia, Tecnología e Innovación 2, pp. 14-15.

Aguirre-Santos EA, Goméz-Aldapa CA. 2010. Evaluación de las características fisicoquímicas en las especies de frijol Phaseolus vulgaris de las variedades: Pinto Saltillo, Bayo Victoria y Negro San Luis. Revista Salud Pública y Nutrición. Ed. Especial, 9-2010.

Rettig M, Ah-Hen K. 2014. El color en los alimentos un criterio de calidad medible. Agrosur 42 (2): 39-48.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

TÉCNICAS PARA GENERAR REQUERIMIENTOS Y DIAGNÓSTICOS NUTRIMENTALES EN PLANTAS

Valdez-Cepeda, R.D.[1*]; Blanco-Macías, F.[1]; Márquez-Madrid, M. [1]

[1] Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro Norte. Zacatecas, Zac., México.

*Autor responsable: *Valdez-Cepeda, R.D. vacrida@gmail.com; Calle Cruz del Sur Núm. 100, Col. Constelación, El Orito, Zacatecas, Zac. México. CP 98085; Tel. +52(492)-924-6147.

Resumen
El análisis químico de órganos de las plantas han permitido conocer su composición y sus requerimientos nutrimentales. Sin embargo, la interpretación de la composición y su relación con el crecimiento y el rendimiento es un aspecto dificil ya que la planta integra los efectos de todos factores ambientales. En este documento se describen brevemente algunos conceptos y métodos desarrollados con fines de diagnóstico del estado nutrimental de las plantas, sus principios y limitaciones. En la actualidad se reconoce que la planta y las partes que se usan con esos propósitos pueden ser considerados como sistemas complejos. Entonces, ello da lugar a la consideración de interacciones entre los nutrimentos esenciales. En ese sentido, las técnicas Sistema Integrado de Diagnóstico Recomendación y Diagnóstico de Nutrimento Compuesto son las mejor soportadas teórica y estadísticamente.

Palabras clave
Ley del mínimo; Nivel crítico; Nivel tóxico, Rango de suficiencia, Concentración óptima.

Introducción
El uso de los análisis químico de plantas como herramienta de diagnóstico nutrimental tiene una historia que data de los primeros años del siglo XVIII, principalmente para determinar el contenido de cenizas. Los químicos que han trabajado sobre la composición de las plantas reconocen las relaciones entre el rendimiento y las concentraciones de los nutrimentos en los tejidos vegetales (Smith, 1986). Sin embargo, la interpretación de la composición foliar es difícil debido a que la planta es el integrador de todos los factores (Sumner y Boswell, 1981). Esto significa que el efecto total se refleja en la composición química de la planta y se expresa en el rendimiento comercial o biótico. La composición foliar es más sensible a los cambios del ambiente que el rendimiento por lo que su interpretación ha recibido mucha atención con fines de diagnóstico y recomendación. En ese sentido, algunas técnicas se han desarrollado para identificar los requerimientos de los nutrimentos esenciales con el fin de maximizar el rendimiento. En este documento se pesentan algunas de esas herramientas, así como sus ventajas y limitaciones.

Leyes del Mínimo y de los Rendimientos Decrecientes o Marginales
La ley del mínimo fue formulada por Sprengel (1826, 1831, 1839) y popularizada por Liebig (1840) y Mitscherlich (1909). Esta ley establece que el crecimiento de las plantas es definido no por el total de recursos disponibles, sino por el recurso mas escaso (factor limitante). Entonces, conforme el factor limitante está mas disponible, la respuesta de la planta puede ocurrir hasta un crecimiento máximo (Figura 1).

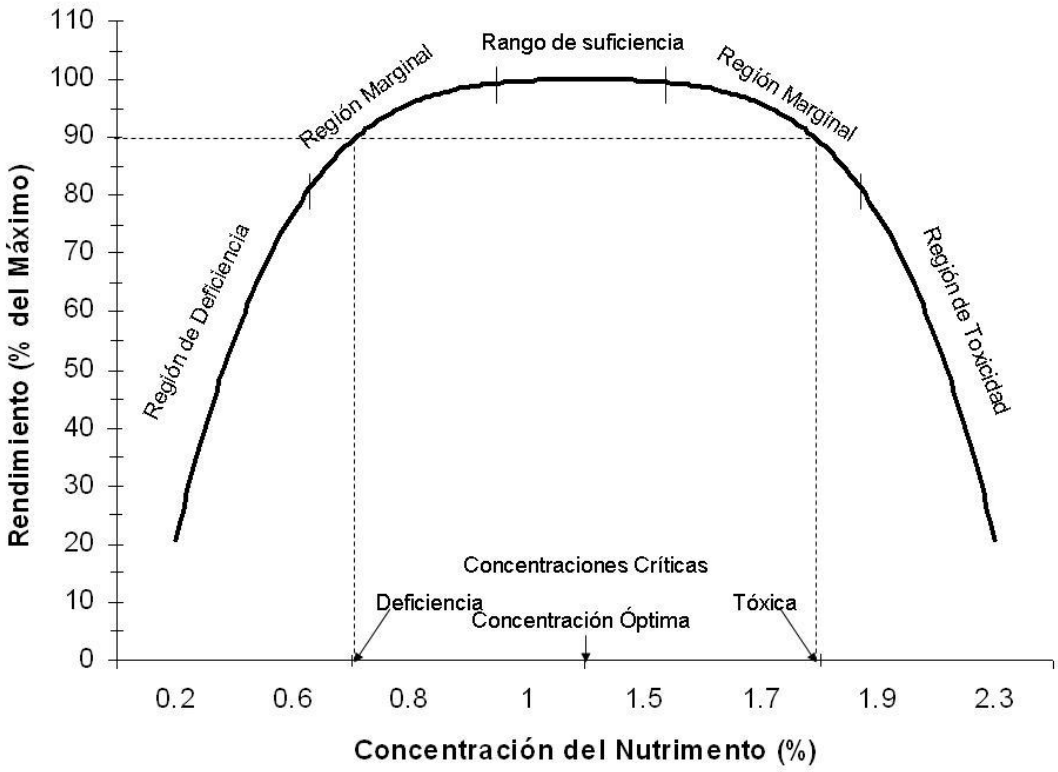


Figura 1. Diagrama de representación de concentraciones críticas y óptima, rangos de deficiencia, suficiencia o adecuancia, marginales y de toxicidad, asi como de las Leyes del Mímimo y Rendimientos Decrecientes o Marginales.

Al 90 % del crecimiento (o rendimiento) máximo corresponde la concentración crítica del nutrimento limitante, i.e. el valor al que pasa de ser insuficiente a ser suficiente. El crecimiento máximo ocurre durante un rango de concentraciones suficientes; de manera que puede haber un consumo de lujo, i.e. que no redunda en mas crecimiento. La concentración media del rango de suficiencia puede ser la concentración óptima, es decir, la concentración a la que se puede asociar, con mayor probabilidad, el crecimiento máximo.

A concentraciones mayores a las del límite mayor del rango de suficiencia se pueden asociar crecimientos o rendimientos menores al máximo debido a efectos tóxicos del nutrimento; por lo tanto, la concentración crítica tóxica corresponde al 90% del crecimiento (o rendimiento) máximo. El rango de concentraciones asociadas a concentraciones mayores a la concentración crítica tóxica se denomina rango de concentraciones tóxicas. De hecho la curva apreciable en la Figura 1 es conocida como Ley de los Rendimientos Decrecientes o Marginales propuesta por Malthus en 1817 en cuestiones económicas (Kaldor, 1975). Después, Mitscherlich (1909) la usó para describir el rendimiento de plantas cultivadas en respuesta a incrementos del principal factor limitante del crecimiento.

Las concentraciones críticas de deficiencia y tóxica, concentración óptima y rangos de suficiencia se refieren únicamente a la(s) concentración(es) de algún elemento mineral asociada(s) con el rendimiento (Figura 1). Las Leyes del Mínimo y de los Rendimientos Decrecientes excluyen el principio de que los rendimientos mayores se inducen cuando los nutrimentos y los demás factores responsables del crecimiento se encuentran en niveles favorables balanceados. En otras palabras, ellas omiten la posibilidad de la ocurrencia de interacciones (aditividad) y de que, cuando ocurren, es factible la obtención de respuestas mayores (sinergismos) o menores (antagonismos) que la suma de los efectos individuales de los factores (Sumner y Farina, 1986).

La Técnica de Cate y Nelson (Cate y Nelson, 1971; Nelson y Anderson, 1977) se usó originalmente para estimar concentraciones críticas de insuficiencia (i.e. valores críticos). La curva límite (CL) también ha sido usada para estimar valores críticos de los nutrimentos. Asimismo, la CL ha sido involucrada en la descripción de la relación entre las concentraciones de los nutrimentos en el suelo y el rendimiento de las plantas cultivadas. La CL se forma cuando todos los valores de dos variables se grafican y una línea que los envuelve o circunscribe se establece (Web, 1972; Blanco-Macías et al., 2010). Esta línea representa el efecto limitante de la variable independiente sobre la variable dependiente. El supuesto entonces es que los valores debajo de la CL resultan de la influencia de otra variable independiente o de la combinación de variables que limitan la variable dependiente.

Ley de los Factores Limitantes

Blackman (1905) estableció que la fotosintesis depende de un número de factores y que su tasa es limitada por el factor que actúa mas lentamente. Este principio aplica en el caso de los nutrimentos como factores limitantes; i.e. el nutrimento menos suplementado limitará tanto el crecimiento como el desarrollo de un organismo o una comunidad.

Ley de Tolerancia

Esta ley retoma la Ley de los Factores limitantes, pues establece que el éxito de un organismo está basado en un conjunto complejo de condiciones y que cada organismo tiene un cierto factor ambiental mínimo, máximo y óptimo o una combinación de factores que determinan el éxito (Shelford, 1931). Esta ley contempla que los factores actúan en conjunto y no aislados. El efecto de un factor a nivel pequeño puede ser compensado parcialmente algunas veces por niveles apropiados de otros factores; e.g. dos factores pueden tener efecto sinérgico. Un organismo puede tolerar factores limitantes con rangos (de suficiencia) amplios o estrechos.

Sistema Integrado de Diagnóstico-Recomendación

La técnica conocida como Sistema Integrado de Diagnóstico-Recomendación (SIDR; DRIS, por sus siglas en inglés) considera las Leyes del Mínimo, Rendimientos Decrecientes, Factores Limitantes y de Tolerancia y se soporta en el modelo de la Figura 2. En ella se aprecia una serie de curvas que describen la variable respuesta en función de un número diferente de factores limitantes (n, n-1, n-2,..). El SIDR involucra a un grupo integrado de normas representativas de factores del vegetal, del suelo, del clima y de prácticas de manejo (Sumner, 1986; Walworth y Sumner, 1987). La exactitud de los diagnósticos foliares depende de la validez de las normas en situaciones específicas (Walworth y Sumner, 1987) como las interacciones de nutrimentos. También se ha demostrado que las normas regionales derivadas en condiciones climáticas y edáficas locales pueden ser mas apropiadas (Beverly, 1991). El método contempla que la interpretación de la composición foliar se sustente en la estimación de un índice para cada factor en función de la diferencia entre los valores

de la forma de expresión (proporción entre dos nutrimentos) de la muestra en estudio y la norma correspondiente.

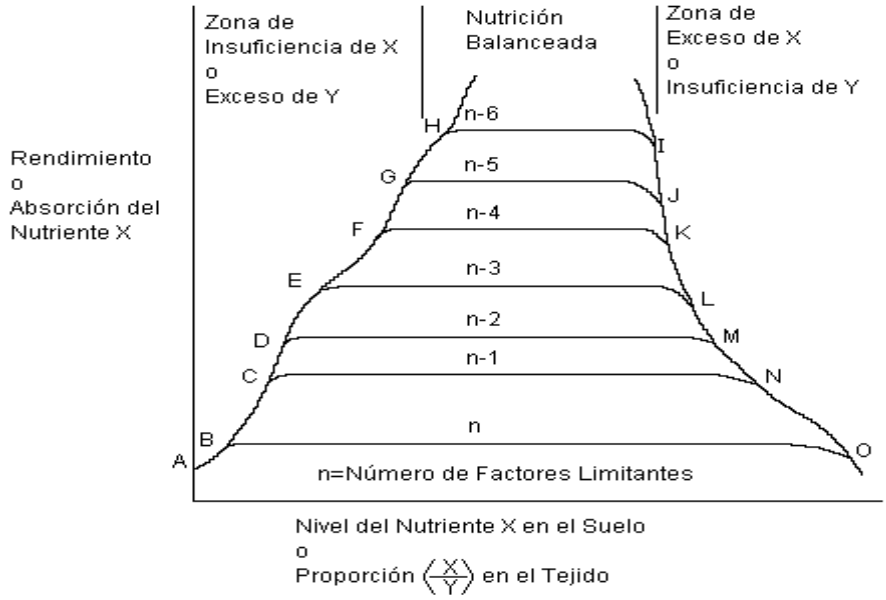


Figura 1. Diagrama representativo de la respuesta de las plantas a cantidades diversas de factores limitantes (Sumner y Farina, 1986). El punto A indica un rendimiento pequeño debido a una deficiencia de X o bien a un exceso de Y, lo cual puede corregirse al incrementar X, permitiendo obtener un rendimiento B determinado por n factores limitantes. Niveles grandes de X (o pequeños de Y) pueden provocar rendimientos relativamente estables como se aprecia con la línea BO. Valores de X mayores que el de O conllevan a reducir el rendimiento. Si el más limitativo de los n factores es incrementado a un nivel no limitativo, el rendimiento puede aumentarse a C como resultado de un incremento de X y depender de n-1 factores limitantes. Niveles grandes de X pueden causar respuestas estables hasta alcanzar el punto N, pero después del mismo causan un efecto negativo sobre el rendimiento. Situaciones similares a la de inducción a N y O corresponden a antagonismos, mientras que los incrementos de rendimiento (e.g. de B a C) resultan de la eliminación de la influencia de factores limitantes y el efecto del nuevo nivel de X y demás factores reflejan sinergismos. El incremento del rendimiento de C a D resulta de eliminar un factor limitante (Y) con poca o nula interacción con X, de manera que tal evento refleja una situación de aditividad. Conforme la influencia de los factores limitantes es eliminada, el rendimiento se incrementa en función de X.

$$f(A/B)=100\{[(a/b)/(A/B)]-1\}10/cv; \text{ cuando } a/b>A/B, \quad (1)$$

$$f(A/B)=100\{1-[(A/B)/(a/b)]\}10/cv; \text{ cuando } a/b<A/B, \quad (2)$$

donde f(A/B) es la función para la expresión A/B; A y B son los nutrimentos A y B; a/b es el promedio de la forma de expresión a/b de la muestra y, A/B y cv son la media y el coeficiente de variación asociado, respectivamente, considerados como la norma SIDR.

El que el método involucre proporciones entre cada par de nutrimentos significa que puede evaluar efectivamente la adecuancia de cada nutrimento en relación con los otros (Beverly, 1991). La

técnica, entonces, evita el efecto de incremento o decremento de las concentraciones de los nutrimentos conforme las plantas crecen (aunque es imprescindible seleccionar cuidadosamente las proporciones).

Posteriormente, los índices DRIS se calculan mediante la fórmula general

$$IA=\{\sum f(A/B)+f(A/C)...-f(B/A)-f(C/A)...]\}/n, \quad (3)$$

donde IA es el índice de A; A, B, C, etc. son los nutrimentos o factores involucrados y n es el número de formas de expresión en que interviene A. La suma de los índices debe ser igual a cero. La suma de los índices DRIS sin considerar el signo (índice de balance nutricional, IBN) indica el grado de desbalance entre los factores. En otras palabras, los índices carecen de un significado intrínseco (Beverly, 1991), pues solo proveen las bases para comparar la suficiencia de cada nutrimento con respecto a los demás en términos relativos, o bien el orden en que limitan el rendimiento.

Diagnóstico de Nutrimento Compuesto

La técnica del Diagnóstico de Nutrimento Compuesto (DNC) es una técnica inicialmente propuesta por Parent y colaboradores (Khiari *et al*., 2001abc; Parent y Dafir, 1992; Parent *et al*., 1993 y 1994; y Tremblay *et al*., 1993) y, posteriormente, aplicada en México por García-Hernández *et al*. (2004ab) y Magallanes Quintanar *et al*. (2004). Esta técnica se soporta en las leyes mencionadas dado que la composición del sujeto de estudio se considera como sistema complejo de *d* dimensiones (*d* = elementos involucrados para conformar el todo –sujeto o sistema–).

Esta técnica contempla la estimación de los índices individuales para cada elemento, al involucrar en su cálculo la proporción de todos los nutrimentos, incluyendo a R, con respecto a la media geométrica (*G*). Así, la ventaja con respecto al SIDR es que la técnica de DNC utiliza proporciones de nutrimentos de una composición total y no solo de proporciones entre dos nutrimentos. Además, los cálculos son sencillos, aún cuando se consideren todos los nutrimentos de la planta. Solo se requiere calcular la *G* para la muestra e índices para cada observación. Los índices de balance DNC global se relacionan mejor con el rendimiento que las sumas de índices de nutrimentos del SIDR. Aunque ésta técnica de diagnóstico aún no es muy conocida, puede aplicarse en lo inmediato ya que puede utilizar las mismas normas que el SIDR, si se conoce la desviación estándar de cada nutrimento.

Khiari *et al*. (2001abc), Parent y Dafir (1992), Parent *et al*. (1993 y 1994), Tremblay *et al*. (1993), García-Hernández *et al*. (2004ab) y Magallanes Quintanar *et al*. (2004) indican que la composición del tejido de la planta forma un arreglo de nutrimentos *d* dimensional, es decir, que el arreglo (S^d) está compuesto de *d*+1 proporciones de *d* nutrimentos incluyendo un valor de relleno R_d de la siguiente manera:

$$S^d = \left[(N, P, K,..., R_d): N>0, P>0, K>0,..., R_d>0, N+P+K+...+R_d=100\right], \quad (4)$$

$$R_d = 100-(N+P+K+...), \quad (5)$$

donde 100 es el porcentaje de concentración de materia seca (%); *N*, *P*, *K*, … son las concentraciones de los nutrimentos.

Las proporciones de nutrimentos se vuelven invariantes en escala después de dividirlas entre la media geométrica (*G*) de los *d* + 1 componentes, incluyendo R_d:

$$G = \left[N \cdot P \cdot K \cdot ... \cdot R_d\right]^{\frac{1}{d+1}}. \quad (6)$$

Posteriormente, los logaritmos de las proporciones centradas se determinan para cada observación:

$$V_N = \ln\left(\frac{N}{G}\right), V_P = \left(\frac{P}{G}\right), V_K = \left(\frac{K}{G}\right), ..., V_{R_d} = \left(\frac{R_d}{G}\right), \quad (7)$$

y

$$V_N + V_P + V_K + ... + V_{R_d} = 0, \quad (8)$$

donde V_X es la expresión del logaritmo de la proporción centrada para el nutrimento X. Esta operación permite asegurar que las estimaciones se hagan correctamente. Estas expresiones son proporciones múltiples, pues involucran a todos los nutrimentos considerados y el nutrimento complemento o relleno es considerado como tal. La suma de los componentes de un tejido es 100 % (Ecuación 4) y la suma de los logaritmos de las proporciones centradas de los *d* nutrimentos y del relleno R_d debe ser cero (Ecuación 8).

En una muestra, lo deseable es maximizar el número de observaciones que inequívocamente sean de la subpoblación de bajo rendimiento (Walworth y Sumner, 1987). Las experiencias con el SIDR demuestran que a mayores rendimientos corresponden rangos más estrechos de las proporciones entre dos nutrimentos. Por consiguiente, las proporciones de varianza de las expresiones nutricionales entre las subpoblaciones de rendimientos pequeños y grandes dependen de la partición de la muestra o población. La definición óptima de la partición, entonces, debe definirse entre dos subpoblaciones. Sin embargo, no se ha definido un formalismo para realizar tal partición. Adicionalmente, la partición óptima debe ser determinada al considerar funciones de proporción de varianza para índices de nutrición acotando un orden de valores de rendimiento asociado. En la técnica DNC, ello se contempla al definir un nivel crítico de rendimiento al cual se asocia un valor umbral de χ^2, porque la suma de los índices nutricionales, elevados al cuadrado, son descritos por una función de distribución χ^2.

Para estimar el punto de inflexión de la función cúbica entre el rendimiento y las funciones de proporción de varianza con la técnica DNC se siguen los siguientes pasos:

a) Las observaciones se ordenan considerando al rendimiento en orden decreciente. Cada observación consiste de las concentraciones de N, P, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} y otros elementos más el rendimiento comercial.

b) Los logaritmos de las proporciones centradas de los nutrimentos se estiman usando la Ecuación 7.

c) El procedimiento iterativo de Cate-Nelson (Nelson y Anderson, 1977) se usa para dividir a la población de valores de rendimiento, partiendo de que la primera subpoblación de rendimientos grandes consiste de las dos primeras observaciones y las restantes conforman la de rendimientos pequeños; después las tres primeras se consideraron de rendimiento alto y el resto de rendimiento bajo. El procedimiento se repite hasta que las dos observaciones de menor rendimiento forman un grupo y el resto el otro.

d). Para cada subpoblación obtenida se estima la varianza V_X. Esto permite estimar la proporción de varianza para el componente X, $f_i(V_X)$:

$$f_i(V_x) = \frac{Varianza\ de\ V_x\ n_1\ observaciones}{Varianza\ de\ V_x\ n_2\ observaciones}, \quad (9)$$

donde $f_i(V_X)$ es la función de proporción entre las dos subpoblaciones en la *i*ésima iteración ($i = n_1$-1).

e). La función de proporción de varianza acumulada se estima considerando que es la suma de las proporciones de varianza en la *i*ésima iteración desde el principio. La función de proporción de varianza acumulada para una iteración dada se estima como la proporción de la suma total de

proporciones de varianza de todas las iteraciones para comparar la fuerza discriminatoria de los V_X entre bajos y altos rendimientos sobre una escala común.

$$F_i^C(V_X) = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_1-1} f_i(V_X)}{\sum_{i=1}^{n_1-3} f_i(V_X)} \right] [100]. \quad (10)$$

f). Entonces, la función de proporción de varianza acumulada F_i^C (V_X) se relaciona con el rendimiento, *Y*, mediante un patrón cúbico:

$$F_i^C(V_X) = aY^3 + bY^2 + cY + d. \quad (11)$$

g). Dado que el punto de inflexión es aquel donde el modelo cúbico muestra un cambio en concavidad, éste se estima al obtener la segunda derivada de la Ecuación 11:

$$\frac{\partial F_i^C(V_X)}{\partial Y} = 3aY^2 + 2bY + C, \quad (12)$$

$$\frac{\partial^2 F_i^C(V_X)}{\partial Y^2} = 6aY + 2b. \quad (13)$$

Al igualar a cero se obtiene el valor del punto de inflexión $-b/3a$. El modelo cúbico en todos los casos se debe ajustar significativamente. El punto de inflexión marca el rendimiento de referencia en el caso particular de cada nutrimento compuesto. De esta manera se conoce cuantas observaciones corresponden a la subpoblación de alto rendimiento y cuantas a la de bajo rendimiento. Los valores medios de V_N, V_P, V_K, V_{Ca} y V_{Mg} ± la respectiva desviación estándar de las observaciones de rendimiento alto son considerados las normas de la técnica de DNC (y se denotan como V_X^*). La confirmación consiste en que la suma de los logaritmos de las proporciones centradas debe ser igual a cero (Ecuación 8), lo cual indica que los cálculos se realizaron correctamente.

Conclusiones

Las concentraciones críticas y rangos desarrollados dan soporte a varias leyes científicas aceptadas por la comunidad de investigadores especialistas en nutrición vegetal. Las técnicas Sistema Integrado de Diagnóstico Recomendación y Diagnóstico de Nutrimento Compuesto están soportadas teórica y estadísticamente.

Agradecimientos

Al Instituto de Horticultura y la Dirección de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo por el financiamiento del proyecto del que se derivó éste documento.

Referencias

Beverly, R. B. 1991. A practical guide to the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Micro-Macro Publishing. Athens, GA, USA. 87 p.

Blackman, F.F. 1905. Optima and limiting factors. Annals of Botany, 19(2), 281-296. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a089000

Blanco-Macías, F., Magallanes-Quintanar, R., Valdez-Cepeda, R.D., Vázquez-Alvarado, R., Olivares-Sáenz, E., Gutiérrez-Ornelas, E., Vidales-Contreras, J.A., Murillo-Amador, B. 2010. Nutritional reference

values for *Opuntia ficus-indica* determined by means of the boundary line approach. J. Plant Nutr. Soil Sci. 173: 927-934.

Cate, R.B., and Nelson, L.A. 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes 1. Soil Science Society of America Journal, 35(4), 658-660.

García-Hernández J.L., R.D. Valdez-Cepeda, N.Y. Avila-Serrano, B. Murillo-Amador, A. Nieto-Garibay, R. Magallanes-Quintanar, J. Larrinaga-Mayoral and E. Troyo-Diéguez. 2004a. Preliminary compositional nutrient diagnosis norms for cowpea (*Vigna ungiculata* (L.) Walp) grown on desert calcareous soil. Plant and Soil, 271(1-2), 297-307.

García-Hernández, J.L., R.D. Valdez-Cepeda, B. Murillo-Amador, A. Nieto-Garibay, L.F. Beltrán-Morales, R. Magallanes-Quintanar and E. Troyo-Diéguez. 2004b. Compositional nutrient diagnosis and main nutrient interactions in yellow pepper grown on desert calcareous soils. J. Plant Nutr. Soil Sci. 167: 509-515.

Kaldor, N. 1975. What is wrong with economic theory. The Quarterly Journal of Economics, 89(3), 347-357.

Khiari, L., L.E. Parent and N. Tremblay. 2001a. Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. Agron. J. 93: 802-808.

Khiari, L., L.E. Parent and N. Tremblay. 2001b. Critical compositional nutrient indexes for sweet corn at early growth stage. Agron. J. 93: 809–814.

Khiari, L., L.E. Parent and N. Tremblay. 2001c. The phosphorus compositional nutrient diagnosis range for potato. Agron. J. 93: 815-819.

Liebig, J. 1840. Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie (Organic chemistry in its applications to agriculture and physiology). Friedrich Vieweg und Sohn Publ. Co., Braunschweig, Germany.

Magallanes-Quintanar, R., R.D. Valdez-Cepeda, F. Blanco-Macías, B. Murillo-Amador, J.L. García-Hernández, R.R. Ruiz-Garduño, M. Márquez-Madrid and F.J. Macías-Rodríguez. 2004. Compositional nutrient diagnosis in nopal (*Opuntia ficus-indica*). J. Prof. Assoc. Cactus Development 6: 78-89.

Mitscherlich, E.A. 1909. The law ofthe minimum and the law of diminishing soil productivity (In German). Landwirtschafliche Jahrbuecher 38: 537-552.

Nelson, L.A. and R.L. Anderson. 1977. Partitioning of soil test-crop response probability. pp. 19-38. *In*: Stelly, M. (Ed.). Soil Testing: Correlating and Interpreting the Analytical Results. ASA Spec. Publ. No. 29. ASA, Madison, WI, USA.

Parent, L.E. and M. Dafir. 1992. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 117: 239-242.

Parent, L.E., A. Karam and S. A. Visser. 1993. Compositional nutrient diagnosis of greenhouse tomato. HortScience 28(10): 1041-1042.

Parent, L.E., D. Isfan, N. Tremblay and A. Karam. 1994. Multivariate nutrient diagnosis of the carrot crop. J. Am. Soc. Hort. Sci. 119(3): 420-426.

Shelford, V.E. 1931. Some Concepts of Bioecology. Ecology. 12 (3): 455-467. doi: 10.2307/1928991

Smith, F.W. 1986. Interpretation of plant analysis: Concepts and principles. In: Reuter, D. J. and J. B. Robinson (Eds.). Plant analysis: An interpretation manual. Inkata Press. Sydney Australia. pp. 1-12.

Sprengel, C. 1826. Ueber Pflanzenhumus, Humussäure und humussaure Salze (About plant humus, humic acids and salts of humic acids). Archiv für die Gesammte Naturlehre 8: 145-220.

Sprengel, C. 1831. Chemie für Landwirthe, Forstmänner und Cameralis ten (Chemistry for agronomists, foresters, and agricultural economists). Volume 1. Vandenhoeck und Ruprecht Publ. Co., Göttingen, Germany.

Sprengel, C. 1839. Die Lehre vom Dünger (Fertilizer science). Immanuel Müller Publ. Co., Leipzig, Germany.

Sumner, M. E. 1986. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) as a guide to orchard fertilization. Food and Fertilizer Technology Center. Taiwan, China. Ext. Bull. No. 231. 21 p.

Sumner, M. E. and F.C Boswell. 1981. Alleviating nutrient stress. In: Arkin, G. F. and H.M. Taylor (Eds.). Modyfing the root environment to reduce crop stress. ASAE. St. Joseph, MI, USA. pp. 99-137.

Sumner, M.E. and M.P.W. Farina. 1986. Phosphorus interactions with other nutrients and lime in field cropping systems. Adv. Soil Sci. 5: 201-236.

Tremblay, N., P. Auclair, L.E. Parent and A. Gosselin. 1993. A multivariate diagnosis approach applied to celery. Plant and Soil 154: 39-43.

Walworth, J.L., and M.E. Sumner. 1987. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Adv. Soil Sci. 6: 149-188.

Webb, R.A. 1972. Use of the boundary line in the analysis of biological data. Journal of Horticultural Science, 47(3), 309-319.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

TENSIÓMETROS Y SENSORES DE HUMEDAD DEL SUELO PARA EL MANEJO EFICIENTE DEL AGUA EN SISTEMAS DE RIEGO LOCALIZADOS EN HUERTAS DE CÍTRICOS DE TAMAULIPAS

García-Delgado, M.A.[1*]; Medina-Puente, A.[2]; Torres-Acosta, R.I.[3] Torres -De Los Santos, R.[4]

[1,3,4]Unidad Académica Multidisciplinaria Mante, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Cd. Mante, Tamaulipas. México.
[2]NFacultad de Ingeniería y Ciencias. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Cd. Victoria, Tamaulipas. México.

*Autor responsable: miagarci@uat.edu.mx; Anaya Núm. 526 Pte., Col. Gómez, Cd. Victoria, Tamaulipas. México. CP 87040; Tel. +52(834)-138-3632

Resumen

La citricultura es la principal actividad en el centro del estado de Tamaulipas, durante las últimas tres décadas el incremento en la superficie de riego de cítricos en la cuenca hidrológica ha sobrepasado el abastecimiento de los pozos profundos donde se alimentan los sistemas de riego, de aquí la necesidad de realizar un uso eficiente del agua aplicada a través de los sistemas de riego presurizados en esta región. Se realizaron dos estudios con tensiómetros y sensores medidores del potencial mátrico del suelo en las dos principales especies cítricas, el primer se realizó durante el periodo de 1999 al 2001, en una huerta de limón italiano, de 7 años de edad, en el municipio de Güemez, Tamaulipas. La huerta cuenta con un sistema de riego localizado por microaspersión; se determinaron las láminas de agua consumidas en los cítricos. Los tratamientos evaluados fueron: 30, 50 y 70 kPa como niveles de tensión de humedad del suelo para iniciar el riego y el testigo, los porcentajes de abatimiento de humedad del suelo permitidos fueron de 36.6, 50.0 y 60.6% cada tensión, respectivamente. El segundo estudio se realizó durante 2017-2018, se utilizaron tensiómetros y sensores de resistencia para monitorear la tensión y la humedad del suelo, en un sistema de riego por goteo instalado en naranjo Valencia de 25 años de edad, plantados a una distancia de 4 x 8 m. Los mejores rendimientos y calidades de frutas tanto en limón como en naranja lo presentaron los tratamientos de 30 y 50 kPa, el tratamiento de 70 kPa y el testigo no presentaron diferencias estadísticas significativas.

Palabras clave: Tensión de humedad del suelo; sensores de resistencia; cítricos.

Introducción

México ocupa el quinto lugar en la producción de cítricos, anualmente se producen en promedio de 6.2 millones de toneladas que representa el 5% de la producción mundial (FAO, 2017). Actualmente en México, la naranja ocupa el 67.9% de la superficie total establecida de este cítrico en todo el país. Las principales entidades productoras son Veracruz con un 44.5% del volumen nacional; Tamaulipas 14.6% y San Luis Potosí 8.8%. En el estado de Tamaulipas el limón italiano ocupa el segundo lugar en producción después de la naranja valencia que es el principal frutal establecido con 32,785 hectáreas de las cuales se obtiene una producción de 544,922 toneladas en la zona centro y sur del estado, siendo la citricultura una de las principales actividades económicas (INEGI, 2014). El agua destinada al riego agrícola está cada vez más limitada, el monitoreo del contenido de agua en el suelo es fundamental para apoyar a los agricultores a optimizar la producción de los cultivos, conservar el agua, reducir los impactos ambientales y reducir los costos de producción (Enciso *et al*., 2007; Levidow *et al*., 2014). El exceso de aplicación del riego promueve e induce las pérdidas de agua, y la energía potencialmente

productiva; agua y nutrientes, debido que estos pueden lixiviarse y drenarse profundamente al agua subterránea (Périard *et al*., 2012; Suresh *et al*., 2014; Nolz *et al.*, 2016).

Hasta la fecha, la mayoría de los citricultores del estado de Tamaulipas no miden la humedad del suelo para definir la lámina de riego y el tiempo de aplicación, para realizar una buena programación del riego (Zermeño *et al*, 2007). Los tensiómetros deben previamente calibrarse con el método gravimétrico en el sitio donde se usarán, para obtener la relación entre tensión y contenido de humedad del suelo y colocarse a la profundidad de mayor actividad radical de los árboles (Domínguez, 1993). Con la implementación del uso de tensiómetros y de sensores inalámbricos para determinar el momento oportuno y la lámina por aplicar, se podría incrementar hasta el 85% la eficiencia de la aplicación de riego localizado por microaspersión y goteo en las huertas de limón italiano y naranja valencia en la región citrícola del estado de Tamaulipas. Por lo tanto, en el presente documento se reportan los resultados de dos estudios realizados en las dos principales especies cítricas del estado de Tamaulipas, el primero se realizó durante el periodo de 1999 al 2001 en una huerta de limón italiano y el segundo se realizó durante 2017, en un sistema de riego por goteo instalado en naranjo Valencia, para el monitoreo de la humedad del suelo se utilizaron tensiómetros y sensores de resistencia para monitorear el potencial mátrico del suelo.

Materiales y Métodos

*Limón italiano (temporadas 1999-2001) en el sitio experimental uno***.**
La investigación se realizó en el período comprendido de noviembre de 1999 a septiembre de 2001, en una huerta de limón italiano (*Citrus limon* (L) Burmf), localizada en el municipio de Güemez, Tamaulipas. La ubicación geográfica de la huerta es 23° 51' 00" N y 99° 06´24" O, a una altitud de 211 m (INEGI, 1999). La investigación se realizó en árboles de limón de la variedad 'Limonaria 8A', de 7 años de edad, con un marco de plantación rectangular, arreglo de 8 m entre hileras y 5 m entre árboles (250 árboles por ha). El predio cuenta con un sistema de riego por microaspersión, con un emisor por árbol que aplica un gasto promedio de 45.5 l h^{-1} a una presión de operación de 0.18 MPa.
El agua de riego proviene de un pozo profundo es ligeramente alcalina (pH = 7.4), se clasifica como C3S1, de salinidad moderada baja en sodio. Se realizó una caracterización nutrimental foliar inicial, el 15 de noviembre de 1999, encontrándose niveles bajos de nitrógeno, fósforo y magnesio, y niveles deficientes de Zinc, el resto de nutrientes se encontraba en niveles óptimos.
Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con cuatro tratamientos de tensión de humedad del suelo medida a 0.30 m de profundidad y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron: Inicio del riego a una tensión de humedad del suelo de 30 kPa (T1), 50 kPa (T2), 70 kPa (T3), el testigo (T4) consistió en la programación siguiendo las normas de los productores de la región. Las variables agronómicas evaluadas en los dos ciclos de cultivo 1999-2000 y 2000-2001 fueron rendimiento (t ha^{-1}) y tamaño del fruto, expresado como diámetro ecuatorial, los parámetros de calidad de fruta medidos fueron: diámetros ecuatorial y polar, contenido de jugo, pH y la relación de sólidos solubles (RSS).
El volumen de riego aplicado a cada tratamiento (V_i) se calculó multiplicando la lámina de riego correspondiente al tratamiento "i" por el área de sombreo promedio de la copa de los árboles dividida por la eficiencia de aplicación de los microaspersores. El tiempo de riego (Tr) para reponer la humedad del suelo en cada tratamiento se calculó dividiendo Vi por el gasto nominal (q) de los microaspersores de riego. La humedad aprovechable del suelo y por lo tanto, el contenido de humedad a capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente

(PMP) de cada estrato de suelo (0-30, 30-60 y 60-90 cm) se obtuvo con el método de las ollas de presión. La lámina de agua aprovechable (mm agua / 30 cm de suelo) de los estratos se determinó con la siguiente ecuación.

$$Lam_apr = [CC - PMP]\frac{\rho a}{\rho w}Z \qquad (1)$$

Donde:
Z es el espesor del estrato "i" (300 mm), CC es la capacidad de campo; PMP es el punto de marchitez permanente; ρa es la densidad aparente; ρw es la densidad del agua. La fracción de humedad aprovechable consumida del perfil de 0 a 0.90 m de suelo, correspondiente a los tres valores de tensión (30, 50 y 70 kPa) se obtuvo, dividiendo la suma de la lámina de agua por reponer en los tres estratos para cada valor de tensión entre la suma de la lámina de agua aprovechable de 0 a 0.90 m de profundidad.
Los valores de contenido de humedad promedio para cada valor de tensión en cada estrato se muestran en el Cuadro 1. Con esta información y la ecuación 1, se determinó la lámina de agua retenida para cada valor de tensión (Cuadro 2).

Cuadro 1. Contenido de humedad promedio en el suelo para los diferentes registros de tensión evaluadas con los tensiómetros en cada estrato de suelo en una huerta de limón italiano

Tensión (kPa)	Contenido de humedad promedio (g agua/ g suelo)		
	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
10	0.2061	0.1756	0.1765
30	0.1459	0.1492	0.1547
50	0.1240	0.1235	0.1255
70	0.1065	0.1048	0.1105

.

El diámetro promedio de la copa de los árboles fue de 4.6 m, que correspondió a un área promedio de sombreo de 16.62 m^2. Con esta información se determinó la lámina total por aplicar, el volumen de agua y el tiempo de riego correspondiente para cada valor de tensión (Cuadro 2). La fracción de la humedad aprovechable consumida del perfil de suelo de 0 a 0.90 m, para cada valor de tensión fue: 16.46, 29.22, y 37.38% para 30, 50 y 70 kPa respectivamente. Los tiempos y frecuencias de riego en el tratamiento testigo fueron muy irregulares, con una variación de 6 a 18 h de tiempo de riego e intervalos o frecuencias de riego muy variables, mientras que en los tratamientos de tensión los intervalos de riego fluctuaron entre 5 y 15 días.

Cuadro 2. Lámina de agua por reponer al suelo (mm) para cada valor de tensión, lámina total, volumen de agua por aplicar y tiempos de riego.

	Lámina (mm)					
Tensión (kPa)	0-30	30-60	60-90	Lámina total (mm)	Volumen (l)	Tiempo de riego (h)
30	11.99	8.33	8.53	28.85	564	12.4
50	20.82	14.47	14.82	50.12	980	21.54
70	26.64	18.52	19.97	64.12	1254	27.56

Naranja Valencia (temporada 2017-2018) en el sitio experimental dos

El estudio se realizó durante la temporada de cultivo 2017 en una huerta citrícola de naranja valencia. Se instalaron 8 sensores de resistencia-tensión Watermak®, 4 sensores de temperatura y cuatro tensiómetros Irrometer en cada uno de los tratamientos establecidos por el experimento. Los sensores fueron instalados a diferentes profundidades de 0.30 m y 0.60 m dentro del perfil de suelo. Se utilizaron sensores de humedad de suelo Watermark® modelo 200SS. La variable medida fue el potencial mátrico del suelo (Ψm) expresado como tensión de humedad del suelo, parámetro que es común en la programación de la aplicación eficiente del riego. En todos los casos, los sensores se instalaron de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes, y todos los instrumentos fueron operados de acuerdo con las instrucciones en sus respectivos manuales y procedimientos. Se realizó en el periodo comprendido de mayo-noviembre del 2017, en la huerta el "Anhelo", municipio de Victoria, Tamaulipas. El cual se localiza geográficamente en la porción centro oeste de la entidad, a una altitud de 247 m, a 23°46'46.7" de latitud norte 99°04'35.3" de longitud oeste (INEGI, 2017). Con el propósito de comparar el riego tradicional del agricultor en huerto de naranja valencia y la programación de riego en base a mediciones potencial mátrico del suelo. Se utilizaron arboles de naranja valencia (*Citrus sinensis L. Osbeck*) de 25 años de edad y plantados a una distancia de 4 x 8 m y se regaron a partir de un sistema de riego por goteo con dos líneas porta emisores por hilera y 4 goteros por árbol de 2.0 l h⁻¹. La instalación de los sensores fue a una profundidad de 0.30 y 0.60 m, a 0.25 m del emisor, así como a 1 m del tronco y a una distancia entre sensores de 0.10 m de acuerdo con (Zermeño *et al*., 2007; Leib y Matthews, 2003; Ortíz *et al*., 2010).

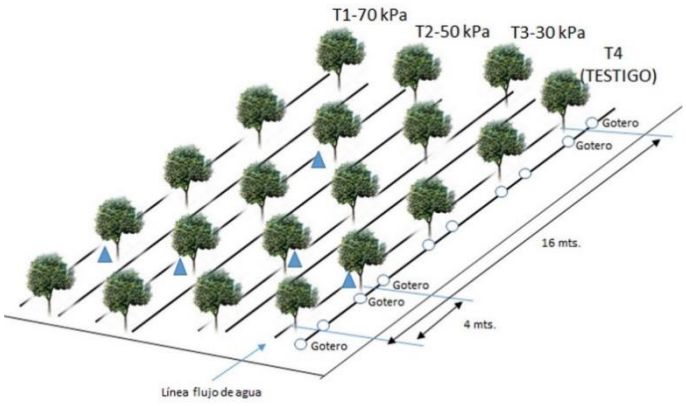


Figura 1-A. Distribución de tratamientos en la huerta ubicación de tensiómetros y los sensores Watermark 200SS a 0.30 y 0.60 m de profundidad del suelo, en Ejido El Olivo, Victoria, Tamaulipas (Medina, 2018).



Figura 1-B. Zona de bulbo de mojado del emisor de un gasto de 2.0 l h^{-1}, en naranja valencia en el municipio de Victoria, Tamaulipas (Medina, 2018).

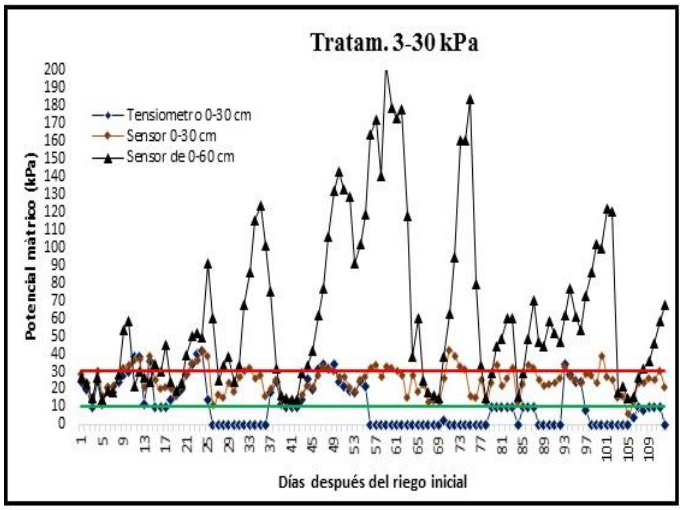


Figura 2-A. Tensión de humedad del suelo en el tratamiento de 30 kPa registrada en los sensores de 0.30 y 0.60 m de profundidad, monitoreo de tensión de humedad del suelo en el municipio de Victoria, Tamaulipas (Medina, 2018).

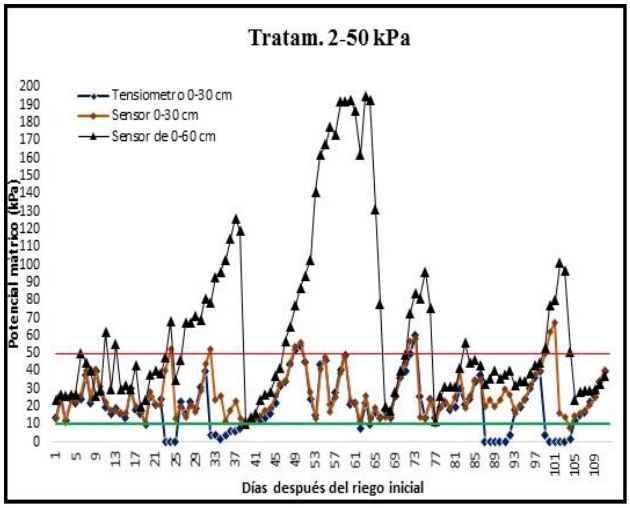


Figura 2-B Tensión de humedad del suelo en el tratamiento de 50 kPa registrada en los sensores de 0.30 y 0.60 m de profundidad, monitoreo tensión de humedad del suelo en el municipio de Victoria, Tamaulipas (Medina, 2018).

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones por tratamiento de tensión de humedad, medidas a 0.30 m de profundidad en cada árbol representa una unidad experimental, la parcela se integró de un total de 16 árboles (Figuras 1-A y 1-B). Los tratamientos evaluados fueron: Para el inicio de riego se adoptaron tres niveles de tensión de humedad del suelo de 70 kPa (T1); 50 kPa (T2); 30 kPa (T3); y el testigo (T4) que consistió en el manejo del riego utilizado por el propietario de la huerta, basados en una apreciación visual (cuando las hojas empiezan a doblarse) de los requerimientos hídricos de los árboles. Variables de respuesta: tasa de crecimiento, tamaño del fruto y rendimiento de frutos, esta última variable se realizó mediante la contabilización del número total de frutos y se recolectaron 100 frutos por árbol en cada repetición por tratamiento, para obtener el rendimiento (Medina, 2018). En las Figuras 2-A y 2-B se muestran las curvas de tensión que se observaron en los tratamientos 3 y 2 de 30 y 50kPa de tensión, respectivamente.

Resultados y Discusión

Limón italiano (2000-2001) en Güemez, Tamaulipas.

La cosecha de fruto correspondiente a los dos ciclos de cultivo 2000 y 2001 tanto el rendimiento como calidad de fruta presentaron la misma tendencia en los tratamientos. El rendimiento de fruto entre los tres tratamientos de tensión fue estadísticamente igual, pero todos mayores que el testigo. El diámetro ecuatorial de frutos y la relación de sólidos solubles también fue estadísticamente igual entre los tres tratamientos de tensión, pero todos ellos mayores que el testigo (Cuadros 3 y 4), se observó una relación inversa entre el incremento de la tensión y el rendimiento de fruto. Los resultados indican que el rendimiento y calidad de frutos se puede mejorar cuando se utilizan los tensiómetros en la irrigación, e iniciando los riegos a tensiones que oscilan de 30 a 50 kPa (con 16.5 y 29.22 % de abatimiento de la humedad aprovechable del suelo), para un mejor uso de agua, energía, mano de obra

e insumos, sin una reducción significativa del rendimiento y calidad de frutos. Zekri *et al.* (2003) encontraron que el riego incrementa el tamaño y peso de los frutos cítricos Holzapfel *et al.* (2001) indican que los parámetros de calidad del fruto como peso promedio, diámetro ecuatorial y contenido de jugo, muestran un incremento en función de la aplicación del riego a contenidos de humedad próximos a capacidad de campo.

Cuadro 3. Rendimiento y tamaño de fruto (diámetro ecuatorial) de limón italiano en los tratamientos de tensión (y % de abatimiento de humedad aprovechable) y el testigo, cosechados el 13 de septiembre de 2000.

Tratamiento	Abatimiento de humedad aprovechable (%)	Rendim. de fruto (t ha^{-1})*	Diámetro ecuatorial (cm)*
T1 (30 kPa)	16.46	22.87^{a}	6.12^{a}
T2 (50 kPa)	29.22	20.46^{a}	6.11^{a}
T3 (70 kPa)	37.38	18.16^{a}	5.83^{ab}
Testigo	--------	20.20^{a}	5.73^{b}

*Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Cuadro 4. Rendimiento de fruto, diámetro ecuatorial y relación de sólidos solubles de limón italiano en los tratamientos de tensión (y % de abatimiento de humedad aprovechable) y el testigo, cosechados el 28 de agosto de 2001.

Tratamiento	Rendim. de fruto (t ha^{-1})*	Abatimiento de humedad aprovech. (%)	Diámetro ecuatorial (cm)*	Relación de sólidos Solubles*
T1 (30 kPa)	43.93^{a}	16.46	6.19^{a}	20.93^{a}
T2 (50 kPa)	41.02^{a}	29.22	6.18^{a}	21.83^{a}
T3 (70 kPa)	40.40^{a}	37.38	6.17^{a}	20.63^{a}
Testigo	25.60^{b}		5.50^{b}	16.03^{b}

*Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$)

Naranja valencia (2017-2018) en Victoria, Tamaulipas

En el rendimiento y calidad de fruta determinado con el diámetro polar se demostró que hubo un efecto estadístico altamente significativo entre los tratamientos (Cuadro 5); al realizar la prueba de Tukey (α=0.05) en la comparación de medias, se encontró que los mejores rendimiento con respecto al Testigo lo presentaron los tratamientos T3 (30 kPa) y T2 (50 kPa) con un rendimiento de 35.045 y 30.522 t ha^{-1} respectivamente, se presentó una diferencia estadística significativa en el rendimiento entre ambos tratamientos, mientras que en el Tratamiento de 70 kPa no presenta diferencia estadística significativa con respecto al Testigo. De la misma manera los mayores diámetros polares del fruto lo presentaron los tratamientos de T3 (30 kPa) y T2 (50 kPa) respectivamente.

Cuadro 5. Rendimiento de fruto y diámetro ecuatorial de naranja valencia cosechado el 22 de abril del 2018, en cuatro tratamientos de potencial mátrico en un sistema de riego por goteo en el Ejido El Olivo, Victoria, Tamaulipas.

Tratamiento	Rendim. de frutos (t ha^{-1})*	Diámetro ecuatorial (cm)*
T3 30 kPa	35.05^{a}	7.36^{a}
T2 50 kPa	30.52^{b}	7.22^{a}
Testigo	22.68^{c}	6.85^{b}
T1 70 kPa	22.08^{c}	7.01^{b}

*Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$)

Conclusiones

En limón italiano con riego por microaspersión se pueden programar los riegos cuando la tensión indicada en los tensiómetros colocados a una profundidad de 0.30 m marquen 50 kPa, a un 30% de abatimiento de la humedad aprovechable del suelo. Con respecto a la tensión de 30 kPa, no existe una reducción significativa del tamaño y rendimiento de fruto, y permite disminuir costos de producción y obtener mayor producción que la obtenida con la forma tradicional del manejo del riego en la región citrícola del estado de Tamaulipas. Mientras que en la comparación de los tensiómetros y de sensores de humedad para la medición de la tensión en tiempo real en huerta de naranja Valencia, cuando se manejan tensiones de humedad de 30 y 50 kPa, se obtienen los más altos rendimientos y mejores calibres de diámetro ecuatorial del fruto respectivamente.

Referencias

Domínguez, V. A. 1993. Fertirrigación. Ed. Artes Gráficas Palermo, Madrid, España. 161 p.

Enciso J., D. Porter, X. Peries. 2007. Irrigation Monitoring with Soil Water Sensors (Spanish). Available electronically from http: / /hdl .handle .net /1969 .1 /87470.

Fraga, H., Malheiro, A.C., Moutinho-Pereira, J. and Santos, J.A. 2012. An overview of climate change impacts on European viticulture. Food and Energy Security, 1(2): 94-110.

Holzapfel, E. A., C. López, J. P. Joublan y R. Matta. 2001. Efecto del agua y fertirrigacion en el desarrollo y producción de naranjos cv. Thompson Navel. *Agric. Téc*., 61(1): 51-60; ISSN 0365-2807.

Leib**,** B.G., Jabro J., & Matthews**,** G. (2003). Field Evaluation and Performance comparison of Soil Moisture Sensors. Soil Science 168(6):396-408.

Levidow, L., Zaccaria, D., Maia, R., Vivas, E., Todorovic, M., & Scardigno, A. 2014. Improving water-efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovative practices. Agricultural Water Management, 146, 84-94. doi:https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.012

Medina, P.A. 2018. Manejo de la humedad del suelo mediante sensores inalámbricos en un cultivar de naranja valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck) en Victoria, Tamaulipas. Tesis de Doctorado en Gestión y Transferencia del Conocimiento, Universidad Autónoma de Tamaulipas. 128 p.

Nolz, R., Cepuder, P., Balas, J., y Loiskandl, W. 2016. Soil water monitoring in a vineyard and assessment of unsaturated hydraulic parameters as thresholds for irrigation management. Agricultural Water Management, 164, 235-242. doi:https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.030.

Ortíz, E.J.E., Ramírez, D.J.M., Valdez, G.B. y Félix, V. (2010). Monitoreo de la Humedad del suelo y Programa de Riegen Naranja (Citrus sinensis) bajo Riego por Goteo en el Valle del Yaqui, Sonora. INIFAP. México.

Périard, Y., Caron, J., Jutras, S., Lafond, J.A. y Houlliot, A. 2012. Irrigation management of romaine lettuce in histosols at two spatial scales: Water, energy, leaching and yield impacts. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 168:171-188.

Suresh A. y Rajy. S.S. 2014. Poverty and Sustainability Implications of Groundwater Based Irrigation: Insights from Indian Experience. Economic Affairs, 59: 311-320.

Tarantino, A., Ridley, A. M., & Toll, D. G. 2008. Field measurement of suction, water content, and water permeability. Geotechnical and Geological Engineering, 26(6), 751-782.

Zekri, M., T. A. Obreza and R. Koo. 2003. Irrigation, Nutrition, and Citrus Fruit Quality. University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences (UF/IFAS). (http://edis.ifas.ufl.edu/SS426)

Zermeño-González A., M.A. García-Delgado, B.I. Castro-Meza, H. Rodríguez-Rodríguez. 2007. Tensión de humedad del suelo y rendimiento de fruto de limón italiano. Revista Fitotecnia Mexicana 30:295-303.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

RIEGO Y NUTRICION EN LÍNEA Y TIEMPO REAL EN AGUACATE DEL ESTADO DE MICHOACÁN

Tapia-Vargas, L. M.[1*]; Larios-Guzmán A[1]; Vidales-Fernández I.[1]; Hernández-Pérez A.[1]

[1]Campo Experimental Uruapan CIRPAC-INIFAP.

*Autor responsable: tapia.luismario@inifap.gob.mx

Resumen

Michoacán es el estado líder en la producción y exportación de aguacate en México y el mundo. La superficie sembrada es cercana a las 147,000 ha de las cuales un 40% utilizan el riego de baja presión para suministrar las necesidades de agua del cultivo, además se utiliza esta infraestructura para nutrir el cultivo en los minerales y mejoradores de suelo que requiere durante el ciclo productivo. El objetivo de este trabajo fue controlar la aplicación del fertirriego en línea y tiempo real en relación con el contenido de humedad del suelo, el fertilizante y la respuesta del cultivo en la eficiencia del uso del agua. El experimento se estableció en la Huerta "Arroyo Colorado", en el sureste de la ciudad de Uruapan, Mch., con clima A(C)W_1, la huerta de seis años, está establecida en Camellones de 1.2 m de altura, separados a 7 m y sembrada la planta en el lomo del camellón a 4 m de separación entre plantas. Los tratamientos de estudio fueron 1. Control del riego en línea (CRL) con sensores de humedad del suelo FDR (Frequency Domain Reflectrometry) 2. Testigo del productor (T), riego fijo mensual. Ambos tratamientos fueron aplicados a 10 árboles durante el ciclo de riego Diciembre 2016-Junio 2017, con goteros de 2 LPH insertados a 0.5 m de separación y doble regante. Sólo el tratamiento 1 contó con sensores FDR para monitoreo de humedad del suelo, por razón presupuestal. Se registró la evapotranspiración de referencia (ETo), lluvia (R), lámina de riego aplicada (Lr) y contenido de agua del suelo (HS). Mediante el balance de humedad se calculó la evapotranspiración real del cultivo (ETr), el coeficiente de cultivo (Kc) y la eficiencia del uso del agua evapotranspirativa (EUA_t) y de agua aplicada (EUA_r). Los resultados indican que ETo fue de 909.2 mm, se pudo efectuar el fertirriego en base a la información en línea de la humedad del suelo y se determinó que en CLR, ETr= 620.6 mm y EUA_r= 15.7 Kg de fruto/m^3 de agua aplicada, mientras que en T fue de 11.4 y el Kc medio del aguacate fue de 0.67. El CRL permitió conocer que es factible implementar esta tecnología para mayor productividad del agua y el fertilizante en la región aguacatera de Michoacán.

Palabras clave: dosificación; fenología; nutrición.

Introducción

En las necesidades de mejoramiento continuo de la calidad de fruto producido de aguacate en Michoacán, las prácticas simultáneas de cultivo como el manejo del agua y la nutrición en el árbol son fundamentales tanto para conservar y mantener los espacios de comercialización actuales, así como para la posible apertura de nuevos nichos de mercado que actualmente se encuentran en reducidos márgenes de consumo del aguacate michoacano. El aguacate es un cultivo que se desarrolla en 150,000 ha tan solo en Michoacán (Tapia *et al.*, 2011), representa la actividad agrícola más importante desde el punto de vista económico con más de 40,000 millones de pesos anuales lo

que proporciona el 50% del producto interno bruto primario estatal y que para 19 municipios, representa su principal sostén económico al carecer de otro pilar económico como la industria o los servicios.

El aguacate se cultiva en suelos de muy baja fertilidad "tupure" o en "arenales" o "charandas" que se clasifican de acuerdo a la nomenclatura de la FAO como Andosoles, Regosoles y Luvisoles, respectivamente, de muy variadas propiedades químicas y físicas, aún dentro de un mismo orden (Alcalá *et al*., 2002). Ello los hace especiales para el manejo del agua y de los nutrimentos necesarios para la obtención de fruto de calidad y en rendimientos adecuados de redituabilidad económica. La medición de humedad del suelo ha sido relevante para optimizar el uso del agua, por lo que diversos métodos de medición se han implementado en campo, desde medición discreta (Abrisqueta *et al*., 2011), hasta medición continua en línea (Mouazen *et al*., 2005), para áreas extensas (Preston y McBride, 2004), o a nivel de una planta (Mounzer *et al*., 2008). Actualmente, la evaluación y seguimiento en línea y en tiempo real de la humedad del suelo es reduce las pérdidas por percolación, la fuga de nutrientes (Vera *et al*., 2009), pero requiere una alta inversión en el equipo tecnológico. La tecnología electrónica actual permite evaluar en línea y tiempo real el desempeño del fertirriego, el consumo del agua y de los fertilizantes, con el fin de tener el cultivo en mejores condiciones de nutrición y humedad del suelo. El objetivo de este trabajo fue controlar la aplicación del fertirriego en línea y tiempo real en relación con el contenido de humedad del suelo, el fertilizante y la respuesta del cultivo en la eficiencia del uso del agua, bajo condiciones controladas y en bajas dosis y alta frecuencia.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en los años 2016-2017, en el sitio experimental de "Arroyo Colorado" situado al sur de la ciudad de Uruapan, a una altura de 1600 msnm en una huerta de alta densidad sembrada a 7 m entre hileras y 4 m entre árboles con aguacate variedad "Hass", de 5 años de edad. El clima durante el ciclo de riego es A(C)W1 semicálido húmedo con baja cantidad de lluvia en invierno (Gutiérrez *et al*, 2010). El suelo es conocido como "charanda" el cual es de textura franco-arcillosa (Alcalá *et al*., 2002), para evitar el daño que este tipo de suelo produce en el aguacate se construyeron camellones de 1.2 m de altura y 1m de ancho, la plantación fue realizada en el lomo del camellón para favorecer el drenaje y evitar enfermedades fungosas radiculares. La plantación está bajo riego por goteo insertado a 0.5 m de separación en la manguera, a doble hilera y un caudal de 2.0 litros por hora. El sistema de riego incluye un equipo de bombeo sumergible de 10 HP y 440 VAC, con un inyector venturi de 50 mm colocado antes del sistema de filtración de discos, con dos filtros de 75 mm y 120 mesh, apropiado al riego por goteo. Se colocó a 30 y 60 cm de profundidad, un sensor cProbe® modelo 5TE, el cual incluye sensor de humedad del suelo y de conductividad eléctrica. El sensor está conectado a un almacenador meteorológico de datos iMetos® el cual almacena y trasmite en línea y tiempo real datos climáticos y el contenido de humedad del suelo (ɵ), así como la conductividad eléctrica del suelo (mS/m), ambas variables se monitorearon durante el ciclo diciembre-mayo de cada año para aplicar el agua necesaria al cultivo por encima de 0.25 de la capacidad de campo y fertilizar de acuerdo a la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

La determinación del consumo de agua del cultivo (ETr) se determinó por medio del balance de humedad (Mounzer *et al*., 2008), de acuerdo a la expresión:

$P+R-(ET+D+E) = \pm\Delta S$

Donde:

P= lluvia o precipitación (mm)

R= riego (mm)

E= Escurrimiento (mm)

ΔS= cambio en el almacenamiento de humedad del suelo

ET= Evapotranspiración real del cultivo (mm)

Los valores de consumo de agua (ETr), de cada mes se relacionaron con la evapotranspiración de referencia (ETo), evaluada en el iMetos ya referido, para obtener el coeficiente de cultivo (Kc) del aguacate, bajo fertirrigación, además se obtuvieron gráficamente la conductividad eléctrica del suelo debido a la adición de fertilizantes en el suelo para cada evento de fertilización. Por último se calculó la eficiencia de uso de agua (Covarrubias *et al*., 2010) del cultivo del aguacate en términos de rendimiento de fruto/agua evapotranspirada (EUA_t=Kg fruto/ET) y rendimiento/agua aplicada (EUA_r=Kg fruto/m^3).

Resultados y discusión

En el Cuadro 1, se muestran los resultados de la evaluación del clima y el manejo del agua en el cultivo del aguacate, en la región de "Arroyo Colorado" en Uruapan, Mich., durante el ciclo de riego de 2016 a 2017 (noviembre a Junio). Como se puede apreciar la lluvia registrada es prácticamente nula, pues el mes más lluvioso que es noviembre con 56.1 mm, ocurre al final de la temporada normal de lluvias de Junio a Octubre y que en este año se extendió un poco más hasta después de Octubre. Por tanto desde mediados de Diciembre se iniciaron los riegos en ambos tratamientos considerando mantener un nivel de humedad del suelo adecuado como se pretende en CRL y el testigo del productor.

Las láminas de riego aplicadas fueron relativamente semejantes en ambos tratamientos pues existe sólo una diferencia de 16.7% mayor en el testigo con riegos fijos mensuales, aunque como se aprecia, en el testigo se aplican 176 mm más de agua que en el CRL, por lo que se puede argumentar que existe un ahorro importante en la cantidad de agua aplicada que puede llegar a 0.7 m^3/árbol, durante el ciclo de riego, ésta cantidad equivale a el agua aplicada durante el mes más cálido que como se observa es cualquier mes de primavera, por tanto, es importante considerar esta aspecto, pues el agua ahorrada con CRL equivale a un mes de riego con el esquema tradicional, al respecto, Mounzer *et al*., (2008), también pudieron obtener una reducción en la cantidad de agua suministrada a cultivos frutales en España meridional, por su parte, Amórtegui *et al*., (2001), refieren un suministro de 2.5 m^3/árbol mensuales en plantaciones de 300 a 400 árboles/ha en climas subhúmedos, lo cual es una cantidad bastante alta de agua.

Cuadro 1. Variables relacionadas con el clima y el riego en dos tratamientos de manejo de fertirriego en el estado de Michoacán.

Mes	Lluvia (mm)	Control de riego en línea (CLR)		Testigo	
		Lámina de riego (mm)	Volumen de riego (m^3/árbol)	Lámina de riego (mm)	Volumen de riego (m^3/árbol)
Noviembre	56.1				
Diciembre	14.2	16	0.064	32	0.128
Enero	0.4	48	0.192	128	0.512
Febrero	4.4	168	0.672	128	0.512
Marzo	0.0	144	0.576	192	0.768
Abril	0.2	216	0.864	192	0.768
Mayo	5.8	216	0.864	192	0.768
Junio	20.8	72	0.288	192	0.768
suma	101.9	880	3.52	1056	4.22

La dinámica de la humedad del suelo y de la concentración de fertilizante aplicado con el riego, pudo ser estudiada con los sensores FDR aplicados en el cultivo del aguacate (Figura 1). Se puede observar de manera clara que en la profundidad del suelo 0-30 cm (línea continua), la humedad del suelo se agota rápidamente, lo que indica que el aguacate absorbe rápidamente la humedad en esta profundidad y que a mayor profundidad (30-60 cm) la capacidad de absorción de agua de las raíces del aguacate es muy limitada, aunque si existe se aprecia la proporción. Se aprecia también que fue difícil mantener el nivel de humedad por encima del 25% de depleción de humedad aprovechable del suelo pues el contenido de agua en el suelo, con frecuencia bajaba hasta valores cercanos al 23% casi en niveles de marchitez permanente (Hs=21%), esto fue debido a un tiempo de retraso entre la apreciación de la humedad a umbral permisible (Hs=25%) y la ejecución del riego, sin embargo, se observa que desde abril hasta junio si fue posible mantener este límite con mayor diligencia. En este mismo sentido Pérez *et al*, (2004), refieren las dificultades para mantener la humedad en condiciones deseables por el efecto de histéresis del suelo.

Con el monitoreo en línea y tiempo real de la humedad del suelo, se pudo también verificar la conductividad eléctrica del suelo (dS/m), para verificar la presencia de fertilizante en la zona de las raíces y evaluar su consumo (Figura 1), así, después de agregar el fertilizante en la zona radicular se pudo observar que éste eleva inmediatamente la CE del suelo 0.29 dS/m a partir de una línea base de 0.12 dS/m de CE del suelo, esto indica que el fertilizante es consumido en su totalidad entre 12 a 18 días y que debido a la escasa lixiviación de agua a la siguiente profundidad del suelo (30-60 cm), el fertilizante, se puede asumir, que no existen pérdidas por lixiviados o bien son muy bajos.

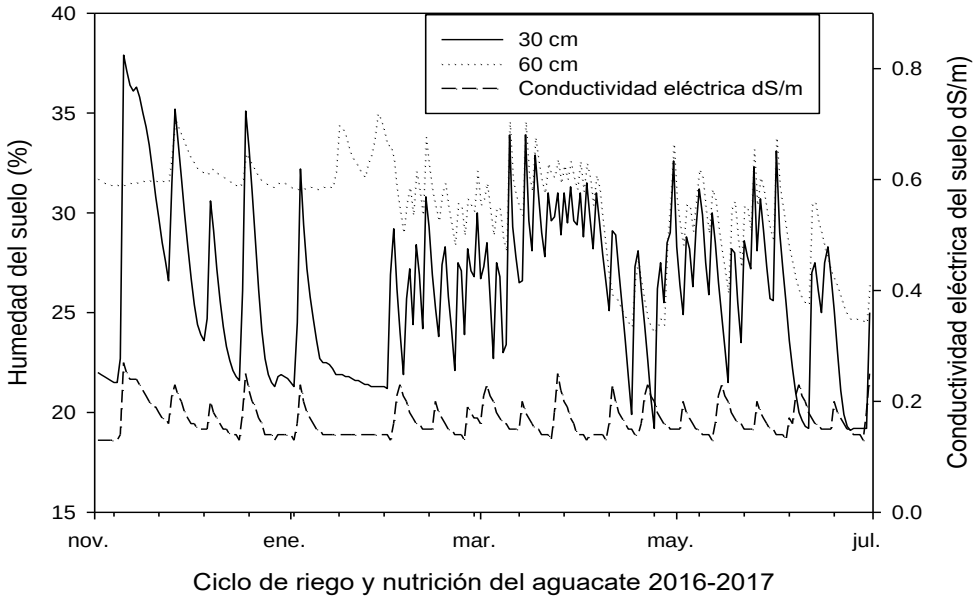


Figura 1. Dinámica de la humedad del suelo (%) y de la conductividad eléctrica (dS/m) por el manejo del fertirriego en aguacate de Michoacán.

Una vez determinada la factibilidad de programar la aplicación del fertirriego en base al monitoreo de las condiciones de humedad y de salinidad del suelo, se obtuvieron los valores de las variables ETr, ETo y Kc (Cuadro 2). Como puede ser notado, el aguacate presenta valores de consumo de agua de 620 mm lo cual es un poco más alto que lo reportado para este mismo ciclo por otros autores que presentan valores cercanos a 500 mm (Tapia et al., 2011), sin embargo es importante notar la elevada demanda evapotranspirativa del medio (ETo), que tuvo un valor de 909 mm, esto debido al tipo de clima donde está la huerta y su posición más cercana a la Tierra Caliente de Michoacán. Asimismo, los valores de coeficiente de cultivo (Kc), alcanzan valores de hasta 0.88, que coincide con el máximo crecimiento del fruto y junto con abril y marzo, los meses más cálidos del año. El promedio de Kc=0.65 es ligeramente mayor a lo reportado en otras latitudes como Chile y USA (Amórtegui *et al*, 2001).

Finalmente, fue posible obtener la EUA_t y EUA_r (Cuadro 3), determinada en ambos tratamientos en los que se observa que el tratamiento CRL es superior en EUA_r en un 28% pues produce más de 4 kilogramos de fruto de aguacate por cada m3 de agua aplicado por cada árbol plantado (Cuadro 3). En relación con la EUA_t, determinada sólo para el tratamiento CRL, se logró determinar un valor de 0.089 kg de fruto por milímetro de agua evapotranspirada.

Cuadro 2. Evapotranspiración real (ETr) y de referencia en el cultivo del aguacate de Michoacán

Mes	Evapotranspiración real (ETr) (mm)	Evapotranspiración de referencia (ETo)	Kc
Noviembre	54.0	89.8	0.60
Diciembre	55.4	95.85	0.58
Enero	39.6	101.0	0.39
Febrero	66.2	122.0	0.54
Marzo	106.5	141.3	0.75
Abril	103.3	125.8	0.82
Mayo	108.3	123.5	0.88
Junio	87.1	110.2	0.79
Suma	620.6	909.3	
Promedio			0.65

Cuadro 3. Eficiencia de uso de agua transpirada (EUA_t) y aplicada (EUA_r) en el cultivo del aguacate de Michoacán.

Tratamiento	Eficiencia de uso de agua transpirada (Kg fruto/ mm agua evapotranspirada)	Eficiencia de uso de agua aplicada (kg fruto/ m^3agua aplicada)
Control del riego en línea	0.089	15.7
Testigo	No determinado	11.4

Conclusiones

El manejo del fertirriego mediante el control en línea y tiempo real permitió conocer que es factible implementar esta tecnología para mayor productividad del agua y el fertilizante en la región aguacatera de Michoacán, ya que con esta tecnología, es factible incrementar la eficiencia del uso del agua en términos de la productividad evapotranspirativa y del agua suministrada.

Agradecimientos. Los autores expresan su agradecimiento a APEAM A.c. por el financiamiento parcial de este proyecto de investigación.

Referencias

Abrisqueta I., R. Quezada, J. Munguia, M. C. Ruiz, J.M. Abrisqueta, J. Vera. 2011. Nutrientconcentration of peach-tree leaves under deficit irrigation. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 174(6):871-873

Amórtegui F.I., E. Carpera D. y J.V. Godoy A. 2001. El Cultivo del Aguacate. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, PRONATA. 1ª Edición. Ibague, Colombia. 50 p.

Alcalá J. M., C. A. Ortiz S., M. C. Gutiérrez C. 2002. Clasificación de suelos de la meseta Tarasca, Michoacán. Terra 19: 227-239.

Covarrubias, R. J. M., D. Sánchez A. y M. Alvarado C. 2010. Eficiencia en la aplicación del agua en melón bajo riego por goteo y acolchado. *In*: Cueto-Wong, J. A.; Macías-García, L. V. y Ortiz Rivas, O. E. (comp). Memoria de la V Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. San Francisco de Campeche, Cam. p 82.

Gutiérrez M., B. N. Lara, H. Guillén, A. T. Chávez. 2010. Agroecología de la franja aguacatera en Michoacán, México. Interciencia 35(9):647-653

Mouazen A. M., J. D. Baerdermaker, H. Ramon. 2005. Towards development of on-line moisture content sensor using a fibre-type NIR spectrophotometer. Soil and Tillage Research 80(1-2):171-183

Mounzer O. H., R. Mendoza, I. Abrisqueta, L. M. Tapia, J. M. Abrisqueta, J. Vera, M. C. Ruiz. 2008. Soil water content measured by FDR probes and thresholds for drip irrigation management in peach trees. Agric. Téc. México 34(3):313-322

Pérez Z., O.; Cigales R., M. R.; Orozco S., M. y Pérez C., K. G. 2004. Tensión de humedad del suelo y fertilización nitrogenada en melón cantaloupe: Segunda parte. Agrociencia 34(3):261-274.

Preston G. M., R. A. McBride. 2004. Assessing the use of popular tree systems as landfill evapotranspiration barrier with Shaw model. Waste Management & Research 22(4):291-305

Tapia V. L. M., A. Larios, I. Vidales, M. E. Pedraza, V. L. Barradas. 2011. El cambio climático en la zona aguacatera de Michoacan: análisis de la precipitación y la temperatura a largo plazo. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol. Esp. (2):35-42

Vera, J., O. Mounzer, M. C. Ruiz, I. Abrisqueta, L. M .Tapia, J. M. Abrisqueta. 2009. Soil water balance trial involving capacitance and neutron probe measurements. Agric. Water Management. 96(6):905-911

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

IMPACTO DE LA PROGRAMACIÓN DEL RIEGO SOBRE LA LIXIVIACIÓN DE NITRATOS

Orozco-Corral, A.L.[1*]

[1]**Grupo La Norteñita, Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Cuauhtémoc, Chihuahua. México.**

*Autor responsable: alfonsoorozco@gpoln.com; Km. 98.5 Carretera Chihuahua-Cuauhtémoc, Fraccionamiento Real del Monte, Cuauhtémoc, Chihuahua. México. C.P 31552; Tel. +52(625)-590-2500

Resumen

La contaminación de los acuíferos por nitratos (NO_3) es un problema medioambiental de gran importancia. En México existen pocos estudios sobre los niveles de NO_3 en agua para consumo humano y del origen de esta contaminación. La contaminación por NO_3 del agua subterránea está relacionada con el uso de fertilizantes sintéticos y con sistemas sépticos. El objetivo fue evaluar el impacto ambiental que ejerce la programación del riego optimizada con el monitoreo de la humedad con sondas de capacitancia FDR, comparado con el manejo tradicional, sobre la contaminación de acuíferos por NO_3. Este estudio se llevó a cabo durante 2015-16 y 2016-17, en la región manzanera de Chihuahua, en dos huertas: 1) Rosario (570 has) con programación de riegos; 2) Macetas (253 has) con riego tradicional. En cada huerta se instalaron 20 tubos de succión con cápsulas de porcelana porosa a 150 cm de profundidad. El agua lixiviada se extrajo semanalmente de marzo-septiembre y mensualmente de octubre-febrero, analizándose el contenido de $N\text{-}NO_3$ por colorimetría. Mensualmente se analizó el contenido de $N\text{-}NO_3$ en 38 pozos. En ambas huertas se aplicaron dos fertilizaciones anuales (primavera y otoño). Los resultados mostraron existe una alta confiabilidad (R^2=0.99) entre la humedad volumétrica del suelo y las lecturas del sensor de la sonda de capacitancia FDR. La programación de riegos y el uso de sondas de capacitancia FDR para monitorear continuamente la humedad volumétrica del suelo impactaron significativamente sobre los volúmenes de agua de riego de extracción profunda. Dichos ahorros fueron 5,330 m^3ha^{-1} (54.9 %) y 5,140 m^3ha^{-1} (76.7 %) para cada ciclo agrícola. Las láminas de riego (LR) aplicadas con programación de riegos, la lixiviación de NO_3 fue significativamente menor que con riego tradicional, lo que pone de manifiesto que si las LR superan las necesidades hídricas los NO_3 se lixivian.

Palabras clave

Lixiviación de nitratos; Contaminación de acuíferos; Contaminación difusa; Sonda de capacitancia; FDR; Manejo del agua de riego; Impacto ambiental; Zona no saturada del suelo.

Introducción

El manejo apropiado del agua debe estar en relación con el sistema de irrigación utilizado. En la irrigación de los huertos manzaneros, el ajuste de las cantidades de agua a aplicar, el tiempo de riego apropiado, el drenaje del suelo, la operatividad de labores culturales y medioambientales, constituyen las características más importantes que deben ser optimizadas. La utilización de tecnología apropiada es una herramienta para superar las limitaciones que puedan surgir de una demanda creciente de agua. El control del riego permite aumentar la eficiencia de uso del agua de

irrigación y reducir o eliminar las pérdidas por lixiviación y escurrimientos y consecuentemente hacer un mejor manejo del recurso agua (Orozco-Corral, 2010).

En los últimos años se ha prestado especial atención al estudio de la contaminación de aguas subterráneas por el uso de agroquímicos. La utilización de productos químicamente complejos constituye una importante fuente de contaminación en zonas de intensa actividad agrícola. En México existen pocos estudios sobre los niveles de nitratos (NO_3) en aguas de consumo humano, sobre la magnitud del problema ni del origen de esta contaminación. Si se sobrepasa el contenido máximo permisible de nitrato como nitrógeno ($N\text{-}NO_3$) para agua potable de 10 mg L^{-1} establecidos por la NOM-127-SSA1-1994, puede llegar a ser un problema de salud si el agua es destinada para consumo humano.

En el riego por microaspersión se pueden suministrar nutrientes disueltos en el agua, con lo que se permite su distribución uniforme en el tiempo y en el espacio. De esta forma, se puede reducir el uso de fertilizantes mejorando la calidad del agua drenada (Hartz y Hochmuth, 1996).

Un buen manejo de irrigación se basa en optimizar la distribución espacial y temporal del agua aplicada con objeto de incrementar la producción y calidad de los frutos y en consecuencia obtener el máximo retorno económico. Las buenas prácticas de irrigación, están diseñadas para mantener un adecuado nivel de humedad en esta zona y minimizar la contaminación difusa hacia los acuíferos (Fares y Alva, 2000).

El potencial contaminante de los agroquímicos está dado por su movilidad y persistencia en el suelo. Estas dos características están controladas principalmente por los procesos de adsorción y degradación. La adsorción se manifiesta como un retardo del movimiento del contaminante respecto de la velocidad del agua. Este proceso no afecta a la cantidad total del agroquímico presente en el suelo pero puede disminuir e incluso eliminar la cantidad disponible para el transporte. La magnitud de este fenómeno dependerá de la composición físico-química del suelo, en particular de su contenido en materia orgánica y arcillas (Morell y Candela, 1998).

Los NO_3 actualmente constituyen la principal fuente de contaminación difusa (lixiviación) de las aguas subterráneas. La contaminación difusa tiende a adquirir cada vez mayor protagonismo en la degradación de los recursos hídricos, sobre todo si se tiene en cuenta que en determinadas cuencas hidrográficas la aportación de nitrógeno de origen difuso representa más del 50% del total de la cuenca. La máxima preocupación en torno a la contaminación del agua por NO_3 estriba en el efecto que puede tener sobre la salud humana su ingestión disueltos en el agua (Ayers y Westcot, 1985).

Aunque los NO_3 son un producto normal del metabolismo humano, el agua con altas concentraciones representa un riesgo para la salud, especialmente en los niños. Si se bebe agua con elevadas concentraciones, la acción de determinados microorganismos en el estómago puede transformar los NO_3 en nitritos (NO_2), que al ser absorbidos en la sangre convierten a la hemoglobina en metahemoglobina, la cual se caracteriza por inhibir el transporte de oxígeno en la sangre. Aunque la formación de metahemoglobina es un proceso reversible, puede llegar a provocar la muerte, especialmente en niños por lo que es conocido como el síndrome del bebé azul (Comly, 1945; Magee y Barnes, 1956). Es posible que los NO_3 causen otras enfermedades como el cáncer o defectos de nacimiento, debido a que pueden formar nitrosaminas y nitrosamidas, compuestos que pueden ser cancerígenos, pero no hay estudios definitivos. Los procesos normales en el organismo de algunos infantes son interrumpidos cuando hay altas concentraciones de NO_3 (Gschwend, 2005; Volkmer *et al*., 2005; Ward *et al*., 2005).

Para poder evaluar y predecir el estado de los recursos hidrogeológicos, es imprescindible identificar el origen del NO_3 y entender los procesos que controlan la cantidad de N-NO_3 en el agua subterránea. La reducción del efecto contaminante de los NO_3 procedentes de fuentes agrícolas se está persiguiendo en muchas zonas agrícolas del mundo. Para hacer frente a la problemática que supone la contaminación por NO_3 muchos países se han visto obligados a iniciar cambios en su ordenamiento legislativo, configurando normativas que regulen las explotaciones agrícolas y ganaderas, así como la eliminación de los residuos ganaderos (Kendall *et al*., 2007).

Aunque la lixiviación de NO_3 tiene una gran importancia medioambiental, su medida no es fácil. Los métodos de medida más directa se basan en el muestreo de la solución del suelo a la profundidad a la que se quiere efectuar la medición, la determinación de la concentración de nitrato de esta solución y la medida del drenaje (Madramootoo *et al*., 1997).

La determinación de la cantidad de N-NO_3 lixiviado en un suelo agrícola es compleja puesto que precisa conocer la cantidad de agua de drenaje (balance de agua) y su concentración media en NO_3. Para ello se puede recurrir a métodos de medida en campo o modelos de simulación (Brisson *et al*., 2002; García-Linares *et al*., 2003; Ramos y Kücke, 1999; Simunek *et al*., 2006).

Los compuestos nitrogenados son los fertilizantes más ampliamente usados en todo el mundo. Su utilización en condiciones normales es considerada de bajo riesgo para la salud humana, sin embargo la presencia de una de sus sales, el NO_3, ha sido detectada en varios acuíferos de todo el mundo, por lo que se hace necesario realizar estudios en todas las zonas agrícolas de México.

El objetivo fue evaluar el impacto que ejerce la programación de riegos, optimizada con el monitoreo de la humedad con sondas de capacitancia FDR, comparado contra el manejo tradicional (por apreciación visual), sobre la lixiviación y contaminación de acuíferos por NO_3.

Se formuló la hipótesis de que la programación del riego y el monitoreo del contenido de humedad del suelo mediante sondas de capacitancia FDR podría no incidir positivamente sobre la lixiviación y la contaminación de acuíferos por NO_3.

Materiales y Métodos

Este estudio se llevó a cabo durante los ciclos agrícolas 2015-16 y 2016-17, en la región manzanera de Chihuahua, en dos huertas localizadas en el municipio de Guerrero cuyas coordenadas son: Latitud 28° 27’ Norte y Longitud 107° 12’ Oeste; altitud de 2,136 msnm, temperatura media de 14.4 °C y precipitación pluvial media de 380 mm. Los riego fueron por microaspersión con una sola manguera al centro de la línea de árboles y dos microaspersores por árbol (596 microaspersores/ha), trabajando a una presión de 20 lbs./pulg² con gasto de 65 lph. 1) Rosario con 570 ha irrigadas con 25 pozos, se realizo una programación de riegos y se monitoreó la humedad del suelo con sondas de capacitancia FDR, sin sistema de drenaje agrícola. 2) Macetas, con 253 ha irrigadas con 13 pozos y un manejo tradicional del riego y con un sistema de drenaje con neumáticos fuera de uso (NFU).

En cada huerta se instalaron 20 tubos de succión con cápsulas de porcelana porosa a 1.50 metros de profundidad. El agua lixiviada se extrajo con una periodicidad igual al monitoreo de la humedad (semanalmente de marzo a septiembre y mensualmente de octubre a febrero) y se analizó su contenido de N-NO_3 por colorimetría, previa reducción en columna de cadmio (Keeney *et al*., 1982). Así mismo, mensualmente se analizó por el mismo método el contenido de los 38 pozos. El sistema de riego fue por microaspersión, método habitualmente usado en la zona.

Al inicio y al final del estudio se analizó el contenido de N-NO_3 del suelo en un metro de

profundidad, tomándose las muestras de 0-30, 30-60 y 60-90 cm. Se hizo un extracto y se analizó el contenido de N-NO_3 por colorimetría, previa reducción en columna de cadmio (Keeney *et al*., 1982).

Se aplicaron dos fertilizaciones anuales a dosis iguales en ambas huertas (cuadro 1).

Cuadro 1. Fertilizantes utilizados durante los ciclos agrícolas 2015-16 y 2016-17.

Fertilizante	Fórmula	2015-16		2016-17	
		Kg ha^{-1}			
		Primavera	Otoño	Primavera	Otoño
Urea	$(NH_2)_2CO$	0	79	0	131
Sulfato de Potasio	K_2SO_4	80	240	40	160
Fosfato Diamónico	$(NH_4)_2HPO_4$	65	130	43	109
Azufre	S	0	100	0	54
Sulfato de Zinc	$ZnSO_4$	50	0	50	0
Sulfato de Amonio	$(NH_4)_2SO_4$	187	0	157	0

Se calculó el volumen de agua aplicada en cada riego. La evapotranspiración de referencia (ETo) se estimó según el método de Penman-Monteith (FAO, 1998) y la evapotranspiración de cultivo (ETc) se calculó según Doorenbos y Pruit (1974). Los coeficientes de cultivo (Kc) aplicados fueron calculados según método de la FAO (1998) y son los que se utilizan en el modelo para programación de riegos. El monitoreo de la humedad del suelo se efectuó con el equipo FDR antes mencionado.

El drenaje fue calculado en base al balance de agua del suelo mediante la siguiente ecuación (Arauzo *et al*., 2003).

$$D = Pp + LR - ETo \pm HS \qquad (1)$$

Dónde: D=Drenaje; Pp=Precipitación pluvial; LR=Lámina de riego; ETo= Evapotranspiración de referencia; HS = Reserva de agua entre 0 y 90 cm de profundidad, medidos mediante la sonda de capacitancia FDR.

El diseño experimental utilizado fue de dos tratamientos con 20 repeticiones cada uno, con las mismas dosis de fertilizante, donde la diferencia fue el manejo del riego.

Para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS versión 15.0. Se realizó un análisis de correlación de Pearson para identificar el nivel de asociación entre el NO_3 lixiviado y la variación de las LR y Drenaje (volumen de agua drenada por debajo de la zona radicular). Se efectuó un análisis de regresión (R^2) para identificar el comportamiento de la lixiviación de NO_3 en cada huerto al variar las LR y el Drenaje.

Resultados y Discusión

La cantidad y el estado del agua en el suelo y sus cambios, pueden impactar dramáticamente sobre los cultivos y la absorción de fertilizantes. El desarrollo de mejores prácticas de manejo para hacer los cultivos más eficientes y reducir el impacto sobre las aguas superficiales y subterráneas, requiere gran conocimiento de los factores que afectan la dinámica del agua en el suelo. Por ello es necesario conocer con precisión, cuales son las variaciones de las reservas de agua en la zona radicular, medidas en continuo desde el comienzo del ciclo y determinar su evolución. Sin embargo, muchos de los métodos conocidos para medir las variaciones del agua en el suelo, presentan varias limitaciones que impiden cumplir todos los requerimientos (Orozco-Corral, 2010).

En la Figura 1 vemos que existe una alta confiabilidad (R^2=0.99) entre la humedad volumétrica

del suelo y las lecturas del sensor de la sonda de capacitancia FDR previamente calibrada a las texturas del suelo a las profundidades de 0-30, 30-60 y 60-90 cm, lo que pone de manifiesto la eficiencia de esta metodología.

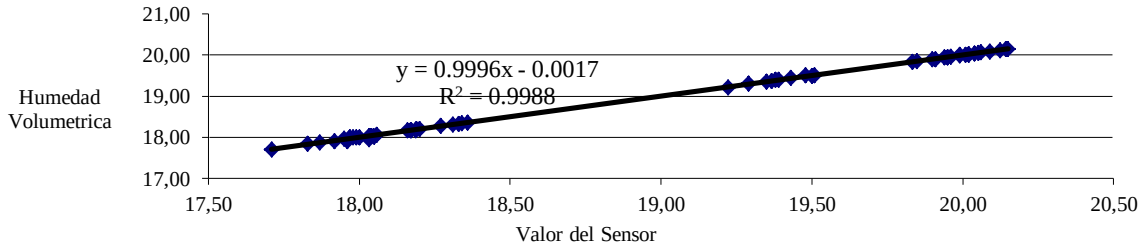


Figura 1. Respuesta del sensor de la sonda de capacitancia FDR a la humedad volumétrica del suelo.

En el cuadro 2 se observan los requerimientos hídricos (RH), precipitación pluvial efectiva (PPe), láminas de riego calculadas (LRc), número de riegos (NR) y el tiempo de riego por sección de cinco hectáreas (TR) obtenidos para la programación de riegos en Rosario. La sumatoria de los RH mensuales (1,156 mm), representa el uso consuntivo del manzano en la región. Para complementar dichos RH, se uniformizaron las LR en 23.12 mm y los TR en 6 horas. La PPe fue de 212 mm y 592 mm para los ciclos 2015-16 y 2016-17 respectivamente lo que influyó significativamente en el NR, 42 y 29 riegos para los ciclos 2015-16 y 2016-17 y por lo tanto en las LR procedentes de extracción profunda (LRr), siendo de 971 mm (9,710 m3 ha^{-1}) y 670 mm (6,700 m3 ha^{-1}) para los ciclos agrícolas antes citados. La sumatoria de las LRr y la PPe representa la lámina de riego total (LRt) y están altamente correlacionadas con los RH calculados para el cultivo manzano (Malus domestica Borkh) en la región manzanera de Chihuahua.

Cuadro 2. Programación del riego para Rosario en los ciclos agrícolas 2015-16 y 2016-17.

Mes	RH	PPe		LRc	NR		TR	LRr		LRt (Riegos + PPe)	
	mm				2015-16	2016-17	Horas	mm		mm	
		2015-16	2016-17					2015-16	2016-17	2015-16	2016-17
Octubre	69.24	2.00	14.78	23.12	3	1	6	69.36	23.12	71.36	37.90
Noviembre	41.28	2.50	2.50	23.12	2	2	6	46.24	46.24	48.74	48.74
Diciembre	19.27	0.60	0.60	23.12	1	1	6	23.12	23.12	23.72	23.72
Enero	18.56	0.50	23.74	23.12	1	0	6	23.12	0.00	23.62	23.74
Febrero	30.52	1.40	0.09	23.12	1	1	6	23.12	23.12	24.52	23.21
Marzo	60.11	0.00	0.03	23.12	3	3	6	69.36	69.36	69.36	69.39
Abril	106.37	0.00	0.00	23.12	5	5	6	115.60	115.60	115.60	115.60
Mayo	168.08	0.00	0.53	23.12	7	7	6	161.84	161.84	161.84	162.37
Junio	208.31	4.70	26.68	23.12	9	7	6	208.08	161.84	212.78	188.52
Julio	181.94	74.30	177.26	23.12	5	1	6	115.60	23.12	189.90	200.38
Agosto	147.94	74.40	265.26	23.12	3	0	6	69.36	0.00	143.76	265.26
Septiembre	104.48	51.70	80.75	23.12	2	1	6	46.24	23.12	97.94	103.87
TOTAL	1,156	212.10	592.22		42	29		971	670	1,183	1,262

RH = Requerimientos hídricos del manzano. PPe = Precipitación pluvial efectiva. LRc = Lámina de riego calculada.. NR = Número de riegos. TR = Tiempo de riego por sección. LRr = Lámina de riego (solo de riegos). LRt = Lámina de riego total (riegos + precipitación).

En el cuadro 3 se presenta la distribución de los riegos para Macetas. Se pueden observar las láminas de riego aplicadas (LRa), número de riegos (NR) y el tiempo de riego por sección de cinco hectáreas (TR) que el productor aplica empíricamente. En base a la cantidad de emisores por hectárea y al TR por sección de cinco hectáreas de 8 horas, se determinó que las LRa fueron de

30.00 mm. La PPe fue igual a Rosario (212 mm y 592 mm para los ciclos 2015-16 y 2016-17), teniendo influencia sobre el NR (47 y 37 riegos para cada ciclo). Las LRr fueron de 1,504 mm (15,040 m^3 ha^{-1}) y 1,184 mm (11,840 m^3 ha^{-1}) para los ciclos agrícolas antes citados.

Cuadro 3. Distribución del riego para Macetas en los ciclos agrícolas 2015-16 y 2016-17.

Mes	RH	PPe		LRa	NR		TR	LRr		LRt (Riegos + PPe)	
	mm				2015-16	2016-17	Horas	mm		mm	
		2015-16	2016-17					2015-16	2016-17	2015-16	2016-17
Octubre	69.24	2.00	14.78	32.00	3	2	8	96.00	64.00	98.20	78.78
Noviembre	41.28	2.50	2.50	32.00	2	2	8	64.00	64.00	64.00	66.50
Diciembre	19.27	0.60	0.60	32.00	2	2	8	64.00	64.00	64.00	64.60
Enero	18.56	0.50	23.74	32.00	2	2	8	64.00	64.00	64.50	87.74
Febrero	30.52	1.40	0.09	32.00	3	3	8	96.00	96.00	97.40	96.09
Marzo	60.11	0.00	0.03	32.00	4	4	8	128.00	128.00	128.00	128.03
Abril	106.37	0.00	0.00	32.00	5	5	8	160.00	160.00	160.00	160.00
Mayo	168.08	0.00	0.53	32.00	5	6	8	160.00	192.00	160.00	192.53
Junio	208.31	4.70	26.68	32.00	8	5	8	256.00	160.00	260.70	186.68
Julio	181.94	74.30	177.26	32.00	6	2	8	192.00	64.00	266.30	241.26
Agosto	147.94	74.40	265.26	32.00	4	2	8	128.00	64.00	202.40	329.26
Septiembre	104.48	51.70	80.75	32.00	3	2	8	96.00	64.00	147.70	144.75
TOTAL	1,156	212.10	592.22		47	37		1,504	1,184	1,713	1,776

RH = Requerimientos hídricos del manzano. PPe = Precipitación pluvial efectiva. LR = Lámina de riego. NR = Número de riegos. TR = Tiempo de riego por sección. LRr = Lámina de riego (solo de riegos). LRt = Lámina de riego total (riegos + precipitación).

La programación de riegos y el uso de sondas de capacitancia FDR para monitorear continuamente la humedad volumétrica del suelo impactaron significativamente sobre los volúmenes de agua de riego de extracción profunda. Dichos ahorros fueron 5,330 m^3ha^{-1} (54.9 %) y 5,140 m^3ha^{-1} (76.7 %) para cada ciclo agrícola, lo cual lo podemos observar en el cuadro 4.

Cuadro 4. Volúmenes de agua de extracción profunda aplicados (LRr) en Rosario my Macetas en los ciclos agrícolas 2015-16 y 2016-17.

Ciclo Agrícola	Rosario *	Macetas **	Ahorro
		m^3 ha^{-1}	
2015-16	9,710	15,040	5,330
2016-17	6,700	11,840	5,140
Total	16,410	26,880	10,470

** Programación de Riegos. ** Riego Tradicional.*

En el Cuadro 5 se muestra el volumen de agua por drenaje natural en el Rosario, en 570 has fue de 1.5 Mm^3 en los dos ciclos y en las Macetas fue de 1.1 Mm^3 en 253 has, los cuales fueron captados por el sistema de drenaje agrícola con neumáticos fuera de uso (NFU) para su reutilización en los riegos. Dichos volúmenes fueron muy similares en ambas localidades, sin embargo la superficie irrigada en Rosario fue de 570 ha. y 253 ha. en Macetas.

Cuadro 5. Volumen de agua captada por drenaje durante los ciclos agrícolas 2015-16 y 2016-17.

Ciclo Agrícola	Rosario *	Macetas **
2015-16	0.513	0.496
2016-17	0.940	0.612
Total	1.5 Mm^3	1.1 Mm^3

** Programación de Riegos y Drenaje Natural. ** Riego Tradicional y Drenaje con NFU.*

Estas pérdidas no son uniformes a lo largo del periodo de cultivo. En la Figura 2 se observan los puntos de inflexión hacia arriba en ambos ciclos agrícolas en la etapas de control de heladas tardías o primaverales, en los meses de abril y mayo, originado por los riegos nocturnos usados como método húmedo para la protección de la flor, la cual es muy susceptible a daño por descensos térmicos. La curva ascendente de drenaje acumulativo del ciclo agrícola 2015-16 en las Macetas (figura 2) desde los primeros riegos de abril, es un indicativo de que las reservas de agua en el suelo al comienzo de los riegos, eran más elevadas que las del Rosario. Los picos de junio y julio son originados por las lluvias. Los picos observados en septiembre se originan no solo por las lluvias sino también por la reducción en el consumo de agua por el cultivo en esta etapa fenológica y las moderadas temperaturas acontecidas en este periodo.

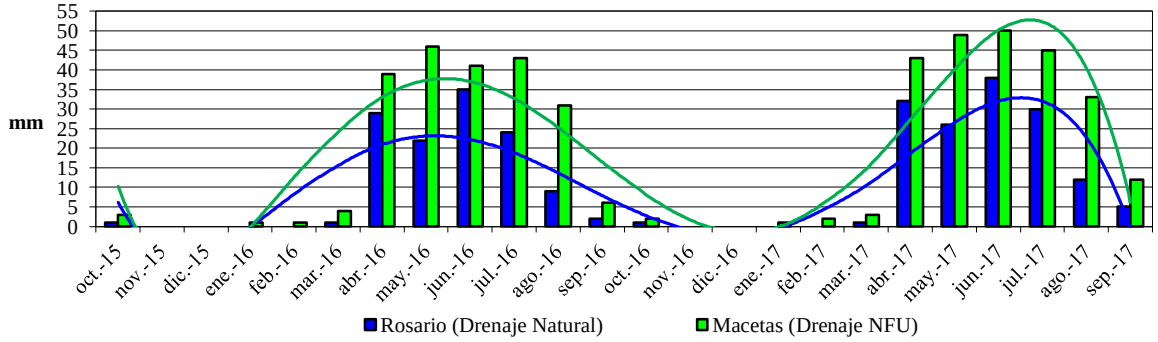
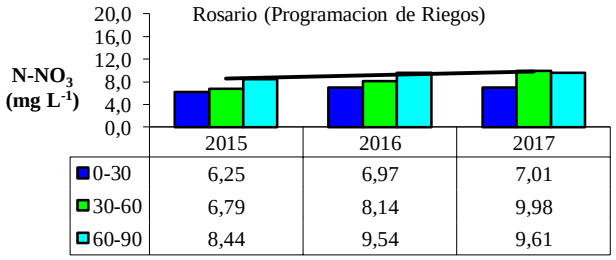
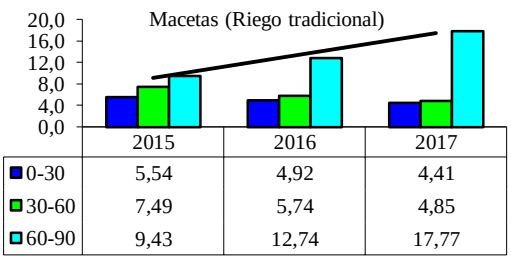


Figura 1. Contenido de nitratos del suelo en la zona radicular en Rosario (programación del riego) con monitoreo de la humedad con sondas de capacitancia FDR y en Macetas (riego tradicional).

Los resultados indicaron que al incrementarse el número de riegos, la concentración de NO_3 en los pozos también va en aumento. Dicha concentración es mayor en donde el riego se lleva a cabo de manera tradicional. En las figuras 2 y 3 se muestra el contenido de NO_3 del suelo en las profundidades de 0-30, 30-60 y 60-90 cm en Rosario y Macetas. En Rosario (figura 2), se pone de manifiesto la influencia que ejerce la programación del riego sobre la lixiviación de NO_3 a través de la ZNS, manteniéndose estable. En contraste, en Macetas (figura 3), se observa el notable incremento del contenido de NO_3 en la profundidad de 60-90 cm, lo que evidencia que un manejo tradicional del riego bajo ninguna programación incide directamente sobre la lixiviación de NO_3 a través de la ZNS.



	2015	2016	2017
0-30	6,25	6,97	7,01
30-60	6,79	8,14	9,98
60-90	8,44	9,54	9,61



	2015	2016	2017
0-30	5,54	4,92	4,41
30-60	7,49	5,74	4,85
60-90	9,43	12,74	17,77

Figuras 2 y 3. Contenido de nitratos del suelo en la zona radicular en Rosario (programación del riego) con monitoreo de la humedad con sondas de capacitancia FDR y en Macetas (riego tradicional).

Los NO_3 se filtrarán por debajo de la zona radicular en la misma proporción que el agua drenada por el suelo. Si hay nitrógeno disponible para un crecimiento óptimo del cultivo, la pérdida de NO_3 será una función lineal del volumen de agua infiltrada. Estos modelos simples se basan en el supuesto de que la solubilidad no es una limitante y no están en equilibrio. Esta relación lineal se mantiene a pesar de la variabilidad del suelo y de la uniformidad en el riego. Mientras haya nitrógeno disponible cualquier exceso de agua moverá NO_3 (Jury y Nielson, 1989).

La figura 4 muestra la evolución del NO_3 lixiviado por debajo de la zona radicular durante los ciclos 2015-16 y 2016-17. Los resultados indican que al aumentar el número de riegos y en la temporada de lluvias, inciden sobre el aumento en la concentración de NO_3 en las capas subsuperficiales, de donde son transportados a través de la ZNS hacia el acuífero. Dicha concentración es mayor en donde el riego se lleva a cabo de manera tradicional debido a las altas LR aplicadas.

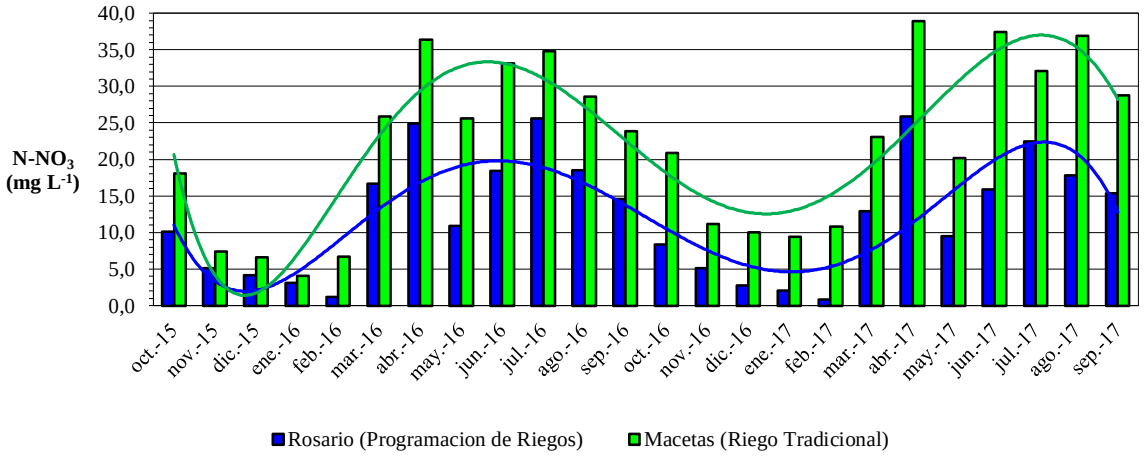


Figura 4. Concentración de nitrato lixiviado en los tubos de succión durante los ciclos 2015-16 y 2016-17.

Aquellos fertilizantes que se presentan en forma de NO_3, de elevada movilidad, son fácilmente arrastrados por el agua de infiltración procedente de la lluvia, riego o de ambos. El paso de la urea y de los compuestos amoniacales a la forma de NO_3 se realiza con rapidez, cuando las condiciones de temperatura y humedad son adecuadas lo que aumentará el riesgo de contaminación (Ramos, 1996). En la figura 5 se presenta el comportamiento del contenido de NO_3 en los 38 pozos en la zona de estudio. Podemos observar que las variaciones no son uniformes, los puntos de inflexión hacia arriba en ambos ciclos agrícolas coincide con la etapas de control de heladas tardías de marzo a mayo. Los picos de junio a agosto coinciden con la temporada de lluvias de la región. Las reducciones observadas de septiembre a marzo se originan no solo por la ausencia de lluvias sino también por la reducción en el consumo de agua por el cultivo en esta etapa fenológica y las moderadas temperaturas acontecidas durante los ciclos agrícolas 2015-16 y 2016-17.

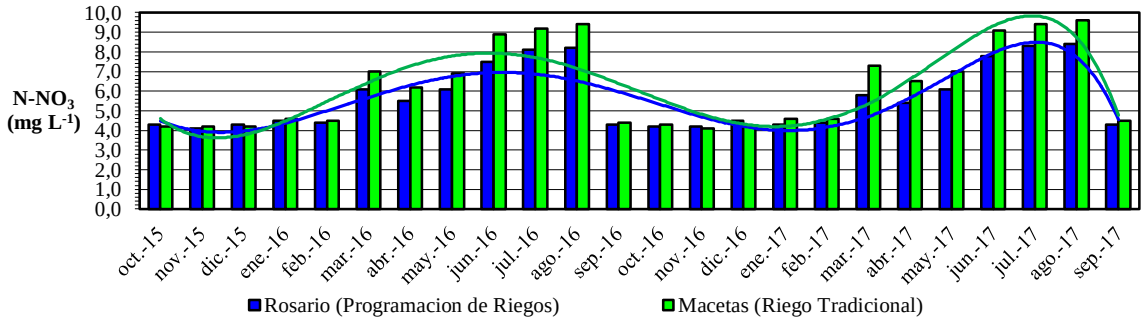


Figura 5. Contenido promedio de nitratos en los pozos durante los ciclos agrícolas 2015-16 y 2016-17.

En el cuadro 6 se puede apreciar que en Rosario hay baja correlación entre las LR y el Drenaje (0.24), el NO_3 lixiviado por debajo de la zona radicular (0.26) y el NO_3 lixiviado al acuífero (0.31), debido a que las LR aplicadas con programación de riegos fueron adecuadas. En las Macetas se aprecia una mayor correlación entre todas las LR y Drenaje (0.70), el NO_3 lixiviado por debajo de la zona radicular (0.55) y el NO_3 lixiviado al acuífero (0.46), debido a los riegos excesivos del manejo tradicional del riego.

El sistema de drenaje agrícola con NFU captó una gran cantidad de los excesos de agua, lo que disminuyó considerablemente la lixiviación de los NO_3 por debajo de la zona radicular (0.62) y hacia el acuífero (0.59), mientras que el drenaje natural tuvo menor impacto sobre la lixiviación de los NO_3 por debajo de la zona radicular (0.54) y hacia el acuífero (0.33).

Los NO_3 captados en los tubos de succión con cápsula de porcelana porosa tuvo una mayor correlación en Macetas (0.57) que en Rosario (0.48), sin embargo, dicha correlación podría ser mayor sin el impacto del drenaje agrícola con NFU.

Cuadro 6. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables estudiadas en Rosario y Macetas durante los ciclos 2015-16 y 2016-17.

Variables	LR		Drenaje		NO_3 (tubos)		NO_3 (pozos)	
	Rosario (PR/DN)	Macetas (RT/NFU)	Rosario (PR/DN)	Macetas (RT/NFU)	Rosario (PR/DN)	Macetas (RT/NFU)	Rosario (PR/DN)	Macetas (RT/NFU)
LR	------	------	0.24	0.70	0.26	0.55	0.31	0.46
Drenaje	**0.24**	**0.70**	------	------	0.54	0.62	0.33	0.59
NO_3 (tubos)	**0.26**	**0.55**	**0.54**	**0.62**	------	------	0.48	0.57
NO_3 (pozos)	**0.31**	**0.46**	**0.33**	**0.59**	**0.48**	**0.57**	------	------

PR/DN = Riego Programado con Drenaje Natural. RT/NFU= Riego Tradicional con Drenaje con Neumáticos Fuera de Uso.

Conclusiones

La programación de riegos y el monitoreo de la humedad del suelo mediante sondas de capacitancia FDR, conduce a LR ajustadas que se traducen en una reducción apreciable de pérdidas por lixiviación de NO_3, al tiempo que se genera un importante ahorro de agua de extracción.

El riego tradicional conduce a pérdidas por drenaje considerablemente más elevadas debido principalmente a LR excesivas, lo que se traduce en un aumento significativo de pérdidas de NO_3 por lixiviación en la zona radicular, un aumento de los mismos en el agua lixiviada por debajo de dicha zona (1.50 m) y un incremento significativo en la concentración de NO_3 en el acuífero.

El drenaje agrícola con NFU influyó positivamente sobre la lixiviación de NO_3 por debajo de la zona radicular y al acuífero, ya que captó un volumen considerable de agua.

Referencias

Arauzo, M., J.A. Díez y P. Hernáiz, 2003. Estimación de balances hídricos y lixiviación de nitratos en sistemas agrícolas. En: Investigación de la zona no saturada, Vol. VI, ZNS'03 (J. Álvarez-Benedí y P. Marinero, eds.). Instituto Técnico Agrario de Castilla León, Universidad Europea Miguel de Cervantes. Valladolid, 2003, 408 pp.

Ayers, R.S. and Westcot, D.W. 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rome.

Brisson N., F. Ruget, P. Gate, J. Lorgeou, B. Nicoullaud, X. Tayot, D. Plenet, M.H. Jeuffroy, A. Bouthier, D. Ripoche, B. Mary and E. Justes. 2002. STICS: A generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balance. II. Assessment by comparing with experimental reality for wheat and corn. Agronomie, 22:69-93

Comly, H.H. 1945. Cyanosis in infants caused by nitrates in well water. J. Amer. Med. Assoc. 129, 112-116.

Doorembos J., y W.O. Pruitt. 1974. Las necesidades de agua de los cultivos. FAO Irrigation and Drainage Paper 24. Roma, Italia.

F.A.O. 1998. Crop evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Roma, Italy.

Fares A. y A.K. Alva. 2000. Soil water components based on capacitance probes in sandy soil. Soil Sci. Soc. Amer. J. 64, pp. 311-318.

García-Linares, C., M. Martínez, J.M. Sánchez-Pérez, E. Justes y I. Antigüedad. 2003. Aplicación del modelo STICS para la determinación de la lixiviación de nitratos bajo cultivo de remolacha azucarera en la zona no saturada del suelo. Estudio en la Zona no Saturada del Suelo. Vol. VI.

Gschwend, J.E. 2005. Influence of nitrate levels in drinking water on urological malignancies: A community-based cohort study. Br. J. Urol. Int. 95, 972-976.

Hartz, T.K and G.J. Hochmuth. 1996. Fertility management of drip irrigated vegetables. HortTechnology 6: 168-172.

Jury, W.A. and D.R. Nielson. 1989. Nitrate transport and leaching mechanisms. Chap 5 in Follet, R. F. (editor) Nitrogen management and ground water protection. Elsevier, Amsterdam.

Keeney, D.R. and D.W. Nelson. 1982. Nitrogen-inorganic forms. En A. L. Page et al. (ed.) Methods of analysis, Part 2. Agronomy 9: 643-698. ASA and SSSA, Madison, WI, EEUU.

Kendall, C., E.M. Elliott and S.D. Wankel. 2007. Tracing anthropogenic inputs of nitrogen to ecosystems. En Stable isotopes in ecology and environmental science. Michener, R.H., y Lajtha, K. (eds.), Blackwell Publishing, pp. 375-449.

Madramootoo, C.A., W.R. Johnston and L.S. Willardson. 1997. Management of agricultural drainage water quality. FAO water report 13, ICID/FAO, Rome, Italy.

Magee, P.N. and J.M. Barnes. 1956. The production of malignant primary hepatic tumors in the rat by feeding dimethylnitrosamine. Br. J. Cancer. 10, 114-122.

Morell, I. y L. Candela. 1998. Comportamiento de los plaguicidas en suelos. En: Plaguicidas. Aspectos ambientales, analíticos y toxicológicos, Ed. Univ. Jaume I. pp. 9-23.

Orozco-Corral, A.L. 2010. Uso eficiente del agua de riego mediante sondas de capacitancia. Aqua-LAC: UNESCO, Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe; 2, 1. p. 56-66. Montevideo, Uruguay.

Ramos, C. 1996. Efectos de las prácticas agrícolas en las pérdidas de nitrógeno y el medio ambiente. Fertilizer. Res. 43 183-189.

Ramos, C. y M. Kücke. 1999. Revisión crítica de los métodos de medida de la lixiviación de nitrato en suelos agrícolas. En: Estudios en la Zona no Saturada del Suelo, vol. IV. Eds.: Muñoz-Carpena, R., Ritter, A. y Tascón, C. 25-32 pp. ICIA: La Laguna.

Simunek, J., M. Sejna and M.T. van Genuchten. 2006. The HYDRUS software package for simulating the two- and three-dimensional movement of water, heat and multiple solutes in variably-saturated media. U.S. Salinity Laboratory. Riverside, California.

Volkmer, B.G., B. Ernst, J. Simon, R. Kuefer, G. Bartsch Jr, D. Bach and J.E. Gschwend. 2005. Influence of nitrate levels in drinking water on urological malignancies: A community-based cohort study. Br. J. Urol. Int. 95, 972-976.

Ward, M.H., T.M. deKok, P. Levallois, J. Brender, G. Gulis, B.T. Nolan and J. vanDerslice, J. 2005. Workgroup report: Drinking-water nitrate and health-recent findings and research needs. Environ. Health Perspect. 113, 1607-1614.

Gupta, R.K., C.P. Singh and I.P. Abrol. 1985. Dissolution of gypsum in alkali soils. Soil Sci. 140: 382-386.

Giese, M., Y.Z. Gao, S. Lin and H. Brueck. 2011. Nitrogen availability in a grazed semi-arid grassland is dominated by seasonal rainfall. Plant Soil 340: 157-167.

Watson, C.A., D. Atkinson, P. Gosling, L.R. Jackson and F.W. Rayns. 2002. Managing soil fertility in organic farming systems. Soil Use Manag. 18: 239-247.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

DRENAJE AGRICOLA CON NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU) Y SU EFECTO SOBRE LA SALINIDAD DEL SUELO

Orozco-Corral, A.L.[1*]

[1]**Grupo La Norteñita, Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Cuauhtémoc, Chihuahua. México.**

*Autor responsable: alfonsoorozco@gpoln.com; Km. 98.5 Carretera Chihuahua-Cuauhtémoc, Fraccionamiento Real del Monte, Cuauhtémoc, Chihuahua. México. CP 31552; Tel. +52(625)-590-2500

Resumen

Según FAO (1990), el riego deteriora una superficie de suelo igual a la que entra en servicio bajo irrigación debido a la salinización y saturación causada por drenaje inadecuado y riego excesivos. Los NFU son un problema ambiental por su lenta descomposición, riesgos de incendios y contribución a la propagación de enfermedades infecciosas y cancerígenas. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del drenaje agrícola con NFU sobre la salinidad del suelo, además de la captación de agua. Este estudio se llevó a cabo en 2015-2017, en la región manzanera de Cuauhtémoc, Chihuahua: 1) Huerta Macetas, donde se implementó un sistema de drenaje agrícola con NFU con una extensión de 10.5 Km, en un lote de 75 has, para lo cual se utilizaron 55 mil neumáticos. 2) Huerta Rosario (570 ha) con drenaje natural como testigo. Mensualmente se tomaron muestras de las profundidades de 0-30, 30-60 y 60-90 cm, se analizó la conductividad eléctrica (CE) y se determinó la humedad volumétrica (Hv). Los resultados indicaron que el drenaje con NFU captó 1.1 Mm³ de agua. Donde se implementó el drenaje con NFU hubo una significativa reducción de la CE en la profundidad 60-90 comparado con el testigo. El porcentaje de Hv fue altamente significativa en las tres profundidades, lo que pone de manifiesto que el drenaje con NFU favorece el lavado de las sales. Se reducen los impactos ambientales negativos sobre el suelo, además de influir para un aprovechamiento integral del agua.

Palabras clave

Aprovechamiento integral del agua; Neumáticos fuera de uso; NFU; Drenaje agrícola; Conductividad eléctrica del suelo.

Introducción

En determinadas condiciones no es posible el desarrollo de un cultivo rentable sin los beneficios del riego, tampoco es posible sin la ayuda del drenaje y un aprovechamiento integral del agua. La necesidad del drenaje agrícola y los beneficios que aporta para la agricultura siempre han sido difíciles de entender. Las razones de esto se explican por el hecho de que las obras de drenaje requieren de trabajos especializados e implica plazos en los cuales no se ve de inmediato el beneficio que aportan. Ha sido más fácil ver la necesidad e importancia del riego que la del drenaje agrícola (Abdel-Dayem *et al*., 1989).

Las tierras con exceso de humedad favorecen la disolución de las sales perjudiciales que por ascenso capilar se acumulan en la superficie del suelo, causando gran afectación o la muerte del cultivo. Los conductos de drenajes permiten eliminar estas sales con la evacuación de las aguas en

exceso. La penetración de las raíces en el suelo asegura una mayor superficie de captación de nutrientes y un mejor anclaje de la planta en el terreno (Cavelaars *et al*., 1994; Madramootoo *et al*., 1997).

La cantidad y el estado del agua en el suelo y sus cambios, pueden impactar dramáticamente sobre los cultivos y la absorción de nutrientes. El desarrollo de mejores prácticas de manejo para hacer los cultivos más eficientes y reducir el impacto sobre las aguas superficiales y subterráneas, requiere gran conocimiento de los factores que afectan la dinámica del agua en el suelo (Martínez Beltrán, 1978; Orozco-Corral, 2010).

Uno de los residuos que más caracterizan a las sociedades desarrolladas modernas, tan dependientes del automóvil, son los neumáticos fuera de uso (NFU). Representan un serio problema ambiental por su lenta descomposición, los riesgos de incendios y su contribución a la propagación de enfermedades infecciosas.

Los neumáticos han sido diseñados para resistir condiciones mecánicas y meteorológicas extremas, son resistentes al ozono, la luz y las bacterias, lo que les hace prácticamente indestructibles por el paso del tiempo. El almacenamiento de los NFU en basureros no permite recuperar ni energía ni materia, son refugio ideal de insectos y roedores, además acumulan gases y otras sustancias frecuentes en los basureros (Vogler, 1974).

El riego incrementa los problemas de salinidad, principalmente en las zonas áridas y semiáridas donde la evaporación superficial es más rápida y los suelos más salinos. La saturación concentra las sales absorbidas de los niveles más bajos del perfil del suelo, en la zona de arraigamiento de las plantas. La alcalinización (acumulación de sodio en los suelos) es una forma perjudicial de salinización que es difícil de corregir. Aunque los suelos de las zonas áridas y semiáridas tienen una tendencia natural de sufrir salinización, muchos de los problemas relacionados con el suelo podrían ser atenuados si se instalan sistemas adecuados de drenaje (Martínez Beltrán, 1978; Smedema y Rycroft, 1983).

Se formuló la hipótesis de que el drenaje agrícola con neumáticos fuera de uso podría no incidir positivamente sobre la disminución del contenido de sales en el suelo, debido a que no hay antecedentes sobre drenajes de este tipo.

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto que ejerce la implementación de un sistema de drenaje agrícola utilizando neumáticos fuera de uso sobre la concentración de sales en el suelo y la captación de agua para su aprovechamiento.

Materiales y Métodos

Este estudio se llevó a cabo entre el 2015-2017, en la región manzanera de Chihuahua en dos huertas (Macetas y Rosario) localizadas en el municipio de Guerrero cuyas coordenadas son: Latitud 28° 27’ norte y longitud 107° 12’ oeste; altitud de 2,136 msnm, temperatura media de 14.4°C y precipitación pluvial anual promedio de 380 mm.

En huerta las Macetas, se implementó un sistema de drenaje agrícola con NFU con una extensión de 10.5 Km, distribuidos en una área de 75 has de plantación con manzanos, para lo cual se utilizaron 55 mil NFU (Figuras 1-3). El riego es por microaspersión y es manejado de manera tradicional. Como testigo se tomó a la huerta el Rosario de 570 has plantadas con manzanos, donde el drenaje del suelo es natural. El riego es por microaspersión manejado mediante la programación basada en estudios del suelo, clima y necesidades hídricas del cultivo y es optimizado a través del uso de sondas de capacitancia FDR.



Figuras 1,2 y 3. Drenaje agrícola con neumáticos fuera de uso (NFU) y Aprovechamiento integral del agua.

En cada huerta se marcaron 20 sitos para la toma mensual de muestras de suelo a las profundidades de 0-30, 30-60 y 60-90 cm durante los ciclos agrícolas 2015-16 y 2016-17. Las medidas de conductividad eléctrica (CE) se realizaron por el método de extracción acuosa en las muestras del suelo, con un probador Hanna Instruments modelo HI-98303 con sensores de grafito.

El drenaje fue calculado en base al balance de agua del suelo mediante la siguiente ecuación (Arauzo *et al*., 2003).

$$D = Pp + LR - ETo \pm Hv \qquad (1)$$

Donde: D = Drenaje; Pp = Precipitación pluvial; LR = Lámina de riego; ETo = Evapotranspiración de referencia; Hv = Humedad volumétrica del suelo a las profundidades de 0-30, 30-60 y 60-90 cm.

El diseño experimental utilizado fue de dos tratamientos con 20 repeticiones en cada localidad. Para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS versión 15.0. Se realizó el análisis de Pearson para identificar el nivel de asociación entre la CE y Hv del suelo a las profundidades de 0-30, 30-60 y 60-90 cm, la variación de las dosis de riego aplicadas (LR) y Drenaje (volumen de agua drenada por debajo de la zona radicular). Se efectuó un análisis de regresión lineal para identificar el comportamiento de las sales en el suelo de cada huerto según el contenido de humedad a las tres profundidades de la zona radicular de 0-30, 30-60 y 60-90 cm y las variaciones de las LR y Drenaje.

Resultados y Discusión

El suelo es de origen aluvial, poco profundo con un drenaje de moderado a deficiente y se determinaron seis diferentes clases texturales. La textura de 0-30 cm es variable predominando la arena. En la profundidad 30-60 cm predominan las arcillas, constituyendo una capa impermeable por lo que se dificulta el drenaje y en la profundidad 60-90 cm predominan las arenas con bastantes elementos finos. Conforme aumenta la profundidad, el contenido de arcilla asciende considerablemente hasta los 70 cm, luego desciende paulatinamente. Por debajo de 1.5 m se encuentra una capa de grava de espesor variable.

En el cuadro 1 se muestran las LR de los ciclos agrícolas 2015-16 y 2016-17 en la zona de estudio.

Cuadro 1. Láminas de riego (mm) aplicadas en la zona de estudio durante los ciclos 2015-16 y 2016-17.

Ciclo Agrícola	Rosario (Drenaje Natural)	Macetas (Drenaje NFU)
2015-16	948	1,720
2016-17	564	1,570

En el Cuadro 2 se muestra el volumen de agua por drenaje natural en el Rosario, en 570 has fue de 1.5 Mm³ en los dos ciclos y en las Macetas fue de 1.1 Mm³ en 75 has, los cuales fueron captados por el sistema de drenaje con NFU para su reutilización en los riegos (Figura 3).

Cuadro 2. Volumen de agua por drenaje (Mm^3) durante los ciclos agrícolas 2015-16 y 2016-17.

Ciclo Agrícola	Rosario	Macetas
2015-16	0.513	0.496
2016-17	0.940	0.612
Total	1.5 Mm³	1.1 Mm³

El cuadro 3 muestra que la correlación entre las LR y el drenaje es más alta en Macetas que en Rosario. Esto pone de manifiesto que donde los riegos no fueron programados y el drenaje es con NFU, hay una mayor captación de agua por drenaje.

Cuadro 3. Coeficientes de regresión lineal entre las variables LR y Drenaje en Rosario y Macetas durante los ciclos agrícolas 2015-16 y 2016-17.

Huerta	LR / Drenaje
Macetas (Drenaje NFU)	0.70
Rosario (Drenaje natural)	0.24

En el cuadro 4 se muestra La comparación entre la CE y Drenaje en Rosario y Macetas observándose una alta correlación en el Rosario, lo que explica que los volúmenes de agua drenada en la zona radicular (0-90 cm) fue menor que en las Macetas cuya correlación es alta en las profundidades de 0-30 y 30-60 cm, descendiendo significativamente en la profundidad de 60-90 cm, debido al mayor volumen de agua captada por el drenaje con NFU.

Al asociar la CE y la humedad volumétrica (Hv) del suelo, se puede apreciar que en el Rosario hay una correlación medianamente alta a las tres profundidades. En las Macetas, la correlación es medianamente alta en las profundidades 0-30 y 30-60 cm, pero a la profundidad de 60-90 cm, las diferencias son significativas. Esto pone de manifiesto que la concentración de sales es menor en las profundidades de 60-90 debido a que el drenaje con NFU permite el lavado de las sales.

Así mismo, vinculando la CE con las LR, se observa que en el Rosario, las LR ajustadas a las necesidades hídricas del cultivo mostraron una correlación medianamente baja con la concentración de sales a las tres profundidades. En las Macetas se observa que la correlación es alta en la profundidad 0-30 debido a las altas dosis de riego aplicadas, descendiendo significativamente conforme el agua es lixiviada y captada por el drenaje con NFU.

Cuadro 4. Coeficientes de regresión lineal entre la concentración de sales (CE) y su asociación con el Drenaje, Hv y LR durante los ciclos agrícolas 2015-16 y 2016-17.

Variables	Conductividad Eléctrica (CE)					
	Rosario (Drenaje Natural)			Macetas (Drenaje NFU)		
	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90
Drenaje	0.89	0.92	0.90	0.86	0.78	0.51
Hv	0.59	0.59	0.69	0.66	0.63	0.27
LR	0.44	0.33	0.35	0.72	0.52	0.25

En la figura 4 se muestra la variabilidad de la CE en las profundidades 0-30, 30-60 y 60-90 cm entre Rosario y Macetas, observándose que en las Macetas, al inicio y al final del estudio, la

concentración de sales fue muy similar en las tres. En el Rosario hubo un incremento en las tres profundidades debido a las dosis de riego ajustadas que no permitió el lavado de dichas sales. Esto pone de manifiesto que el drenaje agrícola con NFU influye directamente sobre la concentración de sales en el suelo.

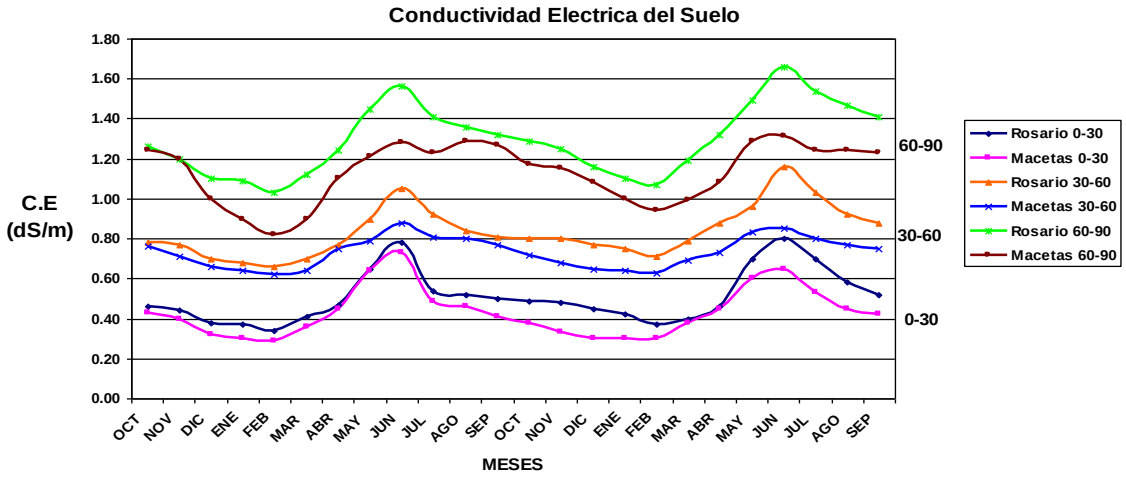


Figura 4. Variación de la concentración de sales en las profundidades de 0-30, 30-60 y 60-90 cm, durante los ciclos 2015-16 y 2016-17en el Rosario (drenaje natural) y Macetas (drenaje NFU).

Esto nos indica que es necesario tomar en consideración el incremento de las sales bajo una programación del riego, por lo que deben aplicarse riegos profundos en huertos manzaneros durante la época de dormancia (diciembre, enero y febrero), que permitan contrarrestar este efecto negativo.

En el cuadro 5 se muestra la asociación entre la Hv con las LR y drenaje, comparando el Rosario y Macetas. Se aprecia una correlación medianamente baja entre la Hv y la LR en el Rosario a las tres profundidades de la zona radicular, lo que nos indica que las LR aplicadas fueron ajustadas de acuerdo a las necesidades hídricas del cultivo. Así mismo, la correlación entre la Hv y drenaje es medianamente alta a las tres profundidades descritas, lo que sugiere que el drenaje natural fue menos eficiente que en las Macetas, donde las altas correlaciones de la Hv con las LR y drenaje en las tres profundidades del suelo nos indican que las LR fueron excesivas pero el drenaje captó esos excesos eficientemente.

Cuadro 5. Coeficientes de regresión lineal entre la Hv y su asociación con las LR y Drenaje durante los ciclos agrícolas 2015-16 y 2016-17.

Variables	Humedad Volumétrica (Hv)					
	Rosario (Drenaje Natural)			Macetas (Drenaje NFU)		
	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90
LR	0.49	0.40	0.50	0.57	0.70	0.74
Drenaje	0.74	0.61	0.62	0.78	0.77	0.82

En la región de Cuauhtémoc, Chihuahua, se generan anualmente 45 mil NFU. Durante los 2 años que se ha llevado a cabo, la cantidad existente en tiraderos se ha abatido considerablemente.

Conclusiones

El sistema de drenaje con NFU captó el 13% del volumen total de agua aplicada por riego durante los ciclos 2015-16 y 2016-17 (1.1 Mm^3), la cual fue rebombeada para la irrigación generando un significativo impacto ambiental sobre el acuífero y reflejando significativamente un aprovechamiento integral del recurso.

Los excesos de agua del suelo al ser evacuado por los drenes arrastraron nutrientes (nitratos) los cuales también fueron reincorporados a través del sistema de riego, disminuyendo la lixiviación de dichos nitratos al acuífero.

El drenaje con NFU disminuyó los riesgos de salinización ya que favoreció el lavado de las sales perjudiciales acumuladas en el suelo.

Se redujo la saturación del suelo lo que disminuyó los riesgos de aparición de plagas y enfermedades agrícolas asociadas a los excesos de agua.

El uso de NFU impacta positivamente sobre la calidad del aire y salud pública, ya que se evita que dichos neumáticos puedan ser utilizados indebidamente evitando emisiones de gases de efecto invernadero a la atmosfera. Anualmente se utiliza el 55 % de los neumáticos desechados en el municipio.

Implementar este tipo de drenaje requiere técnicas constructivas muy sencillas, el material que se utiliza es de desecho y la inversión es baja.

El análisis realizado sobre drenaje agrícola con NFU nos indica que es una práctica que se debe de implementar

Referencias

Abdel-Dayem, M.S., Ritzema, H.P., El-Atfy, H.E. and Amer, M.H. 1989. Pilot areas and drainage technology. In: Land Drainage in Egypt. M.H. Amer and N.A. de Ridder (eds.). DRI, Cairo, pp. 103-161.

Arauzo, M., J.A. Díez, P. Hernáiz, 2003. Estimación de balances hídricos y lixiviación de nitratos en sistemas agrícolas. En: Investigación de la Zona no Saturada, Vol. VI, ZNS'03 (J. Álvarez-Benedí y P. Marinero, eds). Instituto Técnico Agrario de Castilla León, Universidad Europea Miguel de Cervantes. Valladolid, p. 408.

Cavelaars, J.C., Vlotman, W.F. and Spoor, G. 1994. Subsurface drainage systems. In: Drainage Principles and Applications. H.P. Ritzema (ed.). Publ. 16, 2nd ed. (completely revised), ILRI, Wageningen, The Netherlands, pp. 827-929.

EPA, 2009. Enviromental Protection Agency, USA. www.epa.gov

FAO. 1990. Guidelines for soil profile description. Soil Resources, Management and Conservation Service. Land and Water Development Division. 3rd ed. Rome.

ITRA, 2009. Tire and Rubber Recycling Advisory Council, USA. www.itra.com

Madramootoo, C.A., Johnston, W.R. and Willardson, L.S. 1997. Management of agricultural drainage water quality. FAO Water Report 13, ICID/FAO, Rome.

Martínez Beltrán, J. 1978. Drainage and reclamation of salt-affected soils. Publ. 24, ILRI, Wageningen, The Netherlands.

Orozco-Corral, A.L. 2010. Uso eficiente del agua de riego mediante sondas de capacitancia. Aqua-LAC: UNESCO, Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe; 2, 1. p. 56-66. Montevideo, Uruguay.

Smedema, L.K. and Rycroft, D.W. 1983. Land drainage: Planning and design of agricultural drainage systems. Batsford, London.

Vogler, J. 1974. Standard recommended practice for inspection of pneumatic tires prior to retreading. ASTM Book of Standards, Volume 38, F393-74.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA DEL CULTIVO DE TOMATE (*Solanum Lycopersicum*) CON EL MÉTODO DEL BALANCE HÍDRICO Y SU RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO, EN UN SISTEMA SEMI-HIDROPÓNICO.

Munguía- López, J.P.[1*]-; Zermeño-González, A.[2]; Baylon-Palomina, A[1]

[1]Departamento de Plásticos en la Agricultura, Centro de Investigación en Química Aplicada. Blvd Enrique Reyna H 140, Saltillo, Coah. México CP 25253
[2]Departamento de Riego y Drenaje UAAAN, Av, Antonio Narro 1923, Saltillo, Coahuila. México

[*]Autor responsable: juan.munguia@ciqa.edu.mx

Resumen
Cultivar en invernaderos permite controlar parámetros climáticos, con lo cual se puede influir artificialmente en el control del balance hídrico, permitiendo así establecer las necesidades de riego incrementando el uso eficiente del agua, con el auxilio del sistema de riego localizado y de alta frecuencia. Se evaluaron tres niveles de drenaje con la finalidad de hacer un uso eficiente del agua de riego en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y semi hidroponia. Con base a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se puede concluir lo siguiente. La cantidad de agua aplicada al cultivo influye directamente en el rendimiento del cultivo, ya que el mayor porcentaje de drenaje presenta el mayor rendimiento de producción de tomate, así como en la altura de las plantas. Para el uso eficiente del agua se tiene que aplicar la cantidad de agua al cultivo que se manejó en el tratamiento T2 con 27.29% de drenaje, debido que no presenta diferencia significativa al comparar con el T1 con 30.31 % de drenaje, considerando que el desarrollo de la planta no se vea afectado en su altura, en área foliar y diámetro del tallo.

Palabras Claves: Hidroponía; Invernadero; Requerimientos Hídrico.

Introducción
Cultivar en invernaderos permite controlar parámetros climáticos, con lo cual se puede influir artificialmente en el control del balance hídrico, permitiendo así establecer las necesidades de riego incrementando el uso eficiente del agua, con el auxilio del sistema de riego localizado y de alta frecuencia. La hidroponía, que a nivel mundial ha tomado gran auge, sobre todo en países como Estados Unidos de Norteamérica, Canadá, Holanda, Japón e Israel (FIRA.2007, 2001), es uno de los métodos alternativos para el mejor aprovechamiento del agua. La hidroponía se define como la ciencia del crecimiento de las plantas sin utilizar suelo, aunque usando un medio inerte, tal como la grava, arena, perlita, turba, vermiculita, pumita o aserrín, a los cuales se añade una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales necesitados (Cadahia, 2001).
Un aspecto de la irrigación que ha tomado gran importancia en la actualidad, es la programación de riegos, una herramienta valiosa para solucionar una parte del problema del mal manejo del agua en la agricultura. Los requerimientos hídricos de los cultivos bajo condiciones de invernadero son diferentes de los de a campo abierto. Por eso el manejo adecuado del riego en el invernadero es muy importante para conseguir altos rendimientos y alta calidad del producto; esta actividad adquiere

mayor relevancia con el uso de sustratos, ya que la cantidad de agua que estos pueden almacenar es muy reducida. En tales condiciones es necesario suministrar con mucha precisión, láminas de riego muy pequeñas y frecuentes. Además, la dinámica del consumo de agua por las plantas en el interior del invernadero está sujeta a cambios de corto plazo en el clima. En los sistemas de producción semi-hidropónico, es necesario establecer un balance hídrico muy preciso para determinar el consumo de agua de las plantas y los volúmenes de agua diario que se deben suministrar. Mejorando su productividad con el mínimo consumo de agua. Requejo, R. 2008, afirma que los porcentajes de drenaje no se ven influidos por las distintas dotaciones de riego, o lo que es lo mismo, por los distintos porcentajes de agotamiento de la reserva, lo cual desvanece la falsa creencia de que tiempos de riego largos producen mayores porcentajes de drenaje. (Mazariegos, 2006) considera que la aplicación de riego a un nivel de drenaje entre el 10 y 20% es la más adecuada por ser más eficiente en el uso del agua, que el nivel entre el 20 – 30%. La frecuencia de riego y la dotación de cada Fertirriego dependen, en primer lugar, de la capacidad de retención de agua disponible del sustrato (agua fácilmente disponible más agua de reserva) y, en segundo lugar, de la demanda del cultivo que a su vez depende del ambiente. En general, se debe regar cuando el sustrato ha perdido entre un 5 a un 10% del agua total disponible (Martínez, 2007). Siguiendo ese criterio, el volumen suministrado aumentará a medida que las plantas crecen y que la transpiración aumenta según demanda por factores climáticos. El objetivo de este trabajo de investigación fue aplicar el balance hídrico, para determinar el volumen de agua diario que se debe suministrar al cultivo de tomate (*Solanum Lycopersicum*),

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló dentro de las instalaciones del Campo Agrícola Experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), localizado al noreste de la ciudad de Saltillo-Coahuila; con las coordenadas de 25° 27’ Latitud Norte, 101° 02’ Longitud Oeste y una altitud de 1610 m. El experimento se realizó durante el ciclo primavera-verano-otoño, 2008. El experimento se realizó en un invernadero de tipo túnel, con una superficie de 105.36 m^2, de 14.20 m de largo (este-oeste), y 7.42 m de ancho (norte-sur).La frecuencia de riegos y el consumo de agua se estableció definiendo tres porcentajes de drenaje (tres tratamientos): 30, 20 y 10%. Esto considerando que se mantuvo flujo estable, de tal forma que el contenido de agua en el sustrato es constante y que no existe aporte por lluvia. De esta forma, la diferencia entre el agua aplicada por riego y el agua drenada corresponde al agua consumida por las plantas. El efecto de los tratamientos en el desarrollo y rendimiento del cultivo se evaluó con un diseño completamente al azar con tres repeticiones. La unidad experimental consistió de 3 sacos de 6 plantas cada uno.

Resultados y discusión

De acuerdo los tratamientos definidos desde el inicio de la investigación, se establecieron los siguientes porcentajes de drenaje; tratamiento uno (T1) con 30% de drenaje, tratamiento dos (T2) con 20% de drenaje y tratamiento tres (T3) con 10% de drenaje. Pero finalmente, resultaron los siguientes porcentajes de drenaje promedio de cada uno de los tratamientos; T1 (30.31% de drenaje), T2 (27.29 % de drenaje) y T3 (17.04% de drenaje). En la Figura 1, se muestra que al inicio del ciclo de desarrollo del cultivo, el volumen drenado está muy cercano al volumen de riego, pero a medida que transcurre el tiempo, ocurre un ligero aumento en el volumen de riego y disminución del volumen drenado, hasta llegar a los 45 días después del transplante (DDT). A medida que la planta empieza a desarrollar área foliar y raíces, aumenta el requerimiento hídrico, tal como se

observa después de los 45 DDT. Las variaciones bruscas se deben al efecto de nubes, descomposición de equipos de riego y el ajuste del programa de riego.

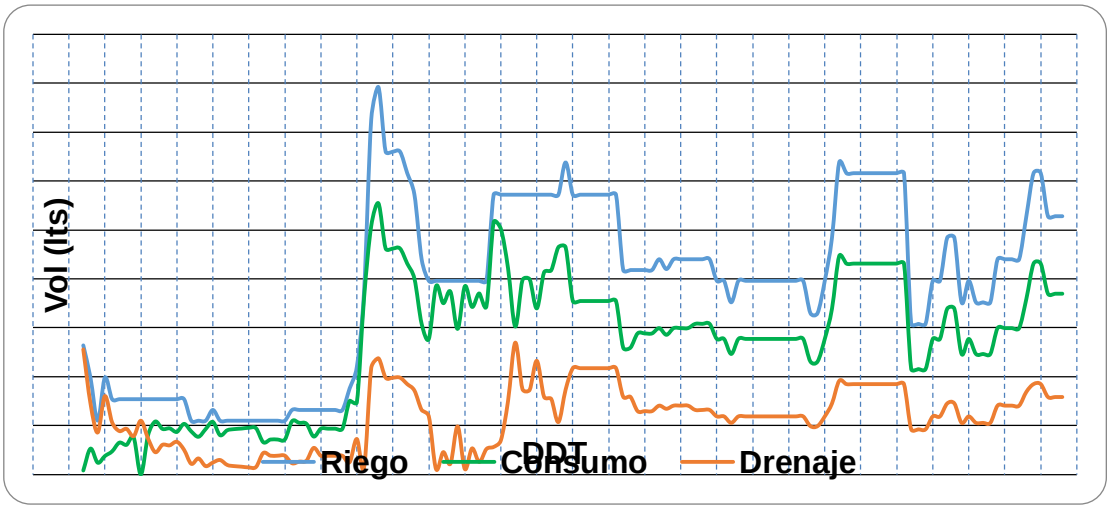


Figura 1.-Riego, drenaje y consumo de agua por tratamiento del 7 al 143 días después del trasplante (DDT), correspondiente al tratamiento uno con 30.31% de drenaje.

Para el tratamiento dos (Figura 2), ocurre lo mismo que en el tratamiento uno, que al inicio del cultivo el volumen drenado es muy cercano al volumen de riego, ya que las plantas recién trasplantadas no consumen mucha agua, debido que no han desarrollado hojas y raices que permita la mayor cantidad del consumo de agua. Después de los 45 DDT, el volumen de agua aplicada al cultivo se incrementó, debido a que el desarrollo de la planta va en aumento a medida que transcurre el tiempo. Notese que para este porcentaje de drenaje, la diferencia entre la linea de drenaje y la de consumo es menor que para el drenaje del tratamiento uno.

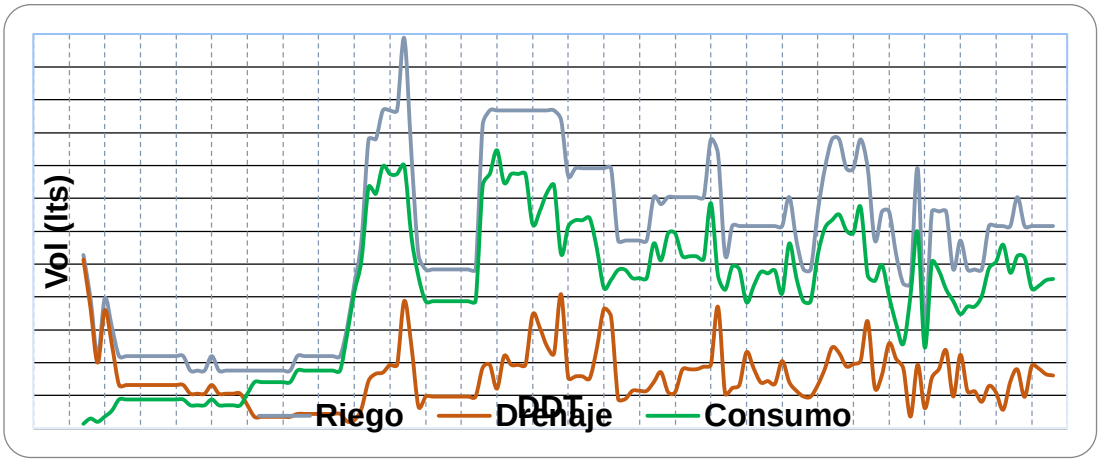


Figura 2.-Riego, drenaje y consumo de agua por tratamiento del 7 a 143 día después del trasplante (DDT), correspondiente al tratamiento dos con 27.29 % de drenaje.

En el tratamiento tres (17.04% de drenaje) la linea de drenaje es mucho menor que las lineas de riego y de consumo (Figura 4.13). También se observa que la diferencia entre la línea de riego y de consumo es mucho menor que la que se observa en los tratamientos uno y dos. Esto indica que la mayor parte del agua aplicada en el riego se consume (trasnpiración) por las plantas.

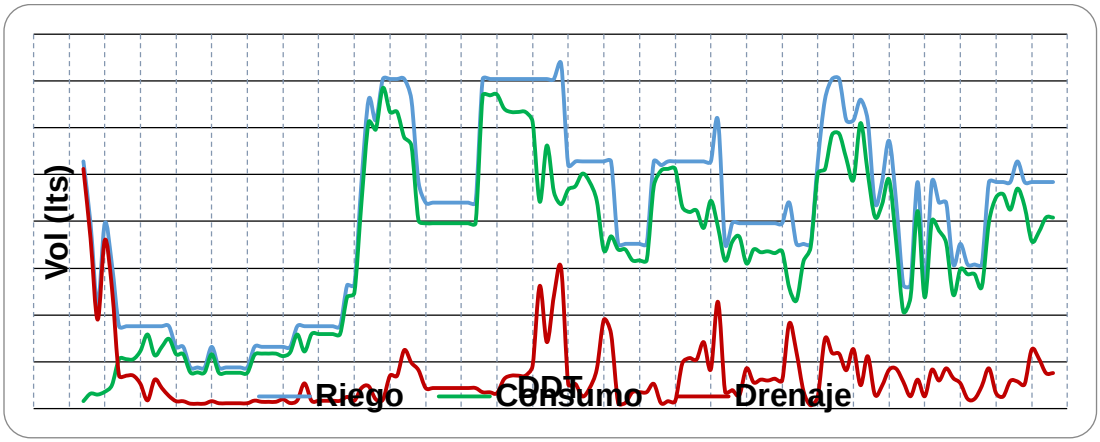


Figura 3.-Riego, drenaje y consumo de agua por tratamiento del 7 al 143 días después del trasplante (DDT), correspondiente al tratamiento tres con 17.04% de drenaje.

Cuando se analiza la columna de productividad mostrado en el Cuadro 1, el tratamiento tres con 17.04% de drenaje presenta un total de 30.08 g de tomate por cada litro de agua aplicada al cultivo.

Cuadro 1. Rendimiento de producción del tomate por superficie cosechado durante dos meses.

Tratamiento	Rendimiento		Productividad
	kg/m^2	ton/ha	g/L
T1 (30.31%)	15.93	159.31	28.23
T2 (27.29%)	15.26	152.64	28.08
T3 (17.04%)	12.97	129.72	30.08

Conclusiones

Con base a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se puede concluir lo siguiente:
La cantidad de agua aplicada al cultivo influye directamente en el rendimiento del cultivo, ya que el mayor porcentaje de drenaje presenta el mayor rendimiento de producción de tomate, así como en la altura de las plantas.
Para el uso eficiente del agua se tiene que aplicar la cantidad de agua al cultivo que se manejó en el tratamiento T2 con 27.29% de drenaje, debido que no presenta diferencia significativa al comparar con el T1 con 30.31 % de drenaje, considerando que el desarrollo de la planta no se vea afectado en su altura, en área foliar y diámetro del tallo.

Referencias

Cadahia, López C. 2005. Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. 3A ED. MUNDI-PRENSA. Madrid, España. 475 P.

FIRA.2007. Agricultura protegida; cultivo de tomate en invernadero. Dirección de consultoría en agronegocios. Dirección regional del norte.

Martínez, Martínez C. 2007. Estimación del consumo de agua en el cultivo de tomate (*lycopersicon esculentum* mill.) en dos sistemas de producción sustrato y suelo, bajo condiciones de invernadero. Tesis de Licenciatura. UAAAN. BuenaVista, Saltillo, Coahuila, México.75 P.

Mazariegos, Suarez S. 2006. Programación de riego en base a diferencias térmicas entre el follaje y el aire en el cultivo de tomate (*lycopersicon esculentum* mill.) bajo invernadero en dos medios de producción (suelo y perlita). Tesis de Licenciatura. UAAAN. BuenaVY, SY, CY MY. 88 P.

Requejo, López R. 2008. Acondicionamiento nutricional de plántulas y optimización de sustratos en tomate (*lycopersicon esculentum* mill) bajo invernadero. Tesis de Doctorado, Facultad de Agronomía de la Universidad de Nuevo León, 148 P.

Urrestarazu, Gavilán M. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. 3A ED. MUNDI-PRENSA, Madrid, España.

Vázquez, Pérez R. 2004. Producción de tomate bola (*lycopersicon esculentum*, mill) bajo diferentes sustratos hidropónicos. Tesis deLlicenciatura. UAAAN. Buena Vista, Saltillo, Coahuila, México. 65 p.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

SIG Y METODOLOGÍA PFAFSTETTER PARA DELIMITACIÓN DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS. CASO DEL ARROYO LA ENCANTADA

Cortés-Bracho, J. J.[1*]; Juárez-Gómez, M.[2]

[1]**Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.**
[2]**Tesista de Licenciatura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.**

*Autor responsable: Cortés-Bracho Javier de Jesús jjcortesb@yahoo.es Calle Calzada Antonio Narro Núm. 1923, Col. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. CP. 25315 Tel. +52(844)-4110353

Resumen

Los sistemas de información geográfica (SIG) y la hidrología, son dos campos de trabajo que comparten muchos intereses, y que, debido al avance científico y tecnológico, es posible representar digitalmente la superficie de una cuenca a través de una estructura numérica de datos, que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Cuando la variable a representar es la cota o altura del terreno, se denomina Modelo Digital de Elevación (MDE), estos grandes aportes ayudan en las diferentes aplicaciones del estudio de la cuenca, siendo fundamental para delimitar la cuenca y para la determinación de parámetros morfométricos.

El presente trabajo, muestra la delimitación y codificación de las unidades hidrográficas de la cuenca del arroyo La Encantada, utilizando técnicas de análisis espacial para la delimitación y el método Pfafstetter para la división y codificación de estas unidades hidrográficas.

La delimitación de las unidades hidrográficas se desarrolló mediante procesos semiautomatizados con el uso de ArcGIS versión10.1 de Esri ® y el análisis espacial con MDE, creando redes de drenaje hasta la obtención de las cuencas.

En este trabajo, se han determinado características morfométricas de una cuenca hidrográfica, las cuales definen las propiedades particulares de cada cuenca, tales como: Parámetros de forma, drenaje y relieve.

Palabras clave: Subcuencas; Intercuencas; Confluencia; Codificación.

Introducción

La unidad más adecuada para la planificación y gestión de los recursos naturales es la cuenca hidrográfica (Cotler, 2010). Este concepto se expresa como un área delimitada por la dirección de sus cursos de agua y la superficie del terreno definida por el contorno topográfico a partir del cual la precipitación drena por esa sección (López, 1998). De manera tradicional, la delimitación de cuencas se ha realizado mediante la interpretación de los mapas cartográficos. Este proceso ha ido evolucionando con la tecnología.

Hoy en día, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) proporcionan una amplia gama de aplicaciones y procesos que permiten realizar de una forma más sencilla y rápida el análisis y

delimitación de una cuenca. Con el desarrollo de estas técnicas y metodologías, se generan cambios en innovaciones conceptuales con el objeto de que puedan ser aplicados en cualquier latitud y se formulen nuevas propuestas que incorporen criterios de delimitación y estándares en métodos de clasificación y codificación para la demarcación de cuencas hidrográficas.

El Sistema de Codificación Pfafstetter, fue desarrollado por Otto Pfafstetter en 1989, difundido a partir de 1997 por Verdín y adoptado a partir de entonces por la United States Geological Survey (UGS – Servicio Geológico de los Estados Unidos), como estándar internacional.

Es una metodología para asignar Identificadores (Ids) a unidades de drenaje basado en la topología de la superficie o área del terreno; asigna Ids a una unidad hidrográfica para relacionarla con las unidades hidrográficas que contiene y de las unidades hidrográficas con las que limita. Proceso, que va desde la determinación del río principal, selección de las cuatro redes de drenaje de mayor tamaño, hasta la generación de las cuencas.

El sistema Pfafstetter describe tres clases de unidades de drenaje: cuenca, intercuenca y cuenca interna.

Cuenca: área que no recibe drenaje de ninguna otra área, pero sí contribuye con flujo a otra unidad de drenaje a través del curso del río, considerando como principal, al cual confluye. Intercuenca: área que recibe drenaje de otra unidad aguas arriba, exclusivamente, del curso del río considerado como el principal, y permite el paso de éste hacia la unidad de drenaje contigua hacia aguas abajo. En otras palabras, una intercuenca, es una unidad de drenaje de tránsito del río principal. Cuenca interna: área de drenaje que no recibe flujo de agua de otra unidad ni contribuye con flujo de agua a otra unidad de drenaje o cuerpo de agua.

La distinción entre río principal y tributario, está en función del criterio del área drenada. Así, en cualquier confluencia, el río principal será siempre aquel que posee la mayor área drenada entre ambos. Denominándose cuencas a las áreas drenadas por los tributarios e intercuencas a las áreas restantes drenadas por el río principal (Ruiz y Torres, 2008).

Materiales y Métodos

Para iniciar el proceso de codificación se debe en principio determinar el curso del río principal de la unidad que se va codificar. Una vez determinado el curso del río principal, se determinan las cuatro unidades hidrográficas de tipo cuenca, que son las cuatro unidades de mayor área que confluyen al río principal.

Las cuatro unidades tipo cuenca se codifican con los dígitos pares **2, 4, 6 y 8**, desde aguas abajo hacia aguas arriba; es decir, desde la desembocadura hacia la naciente del río principal. Las otras áreas de drenaje se agrupan en unidades hidrográficas de tipo intercuenca, y se codifican, también desde aguas abajo (desde la confluencia) hacia aguas arriba, con los dígitos impares **1, 3, 5, 7 y 9**. (Figura 1).

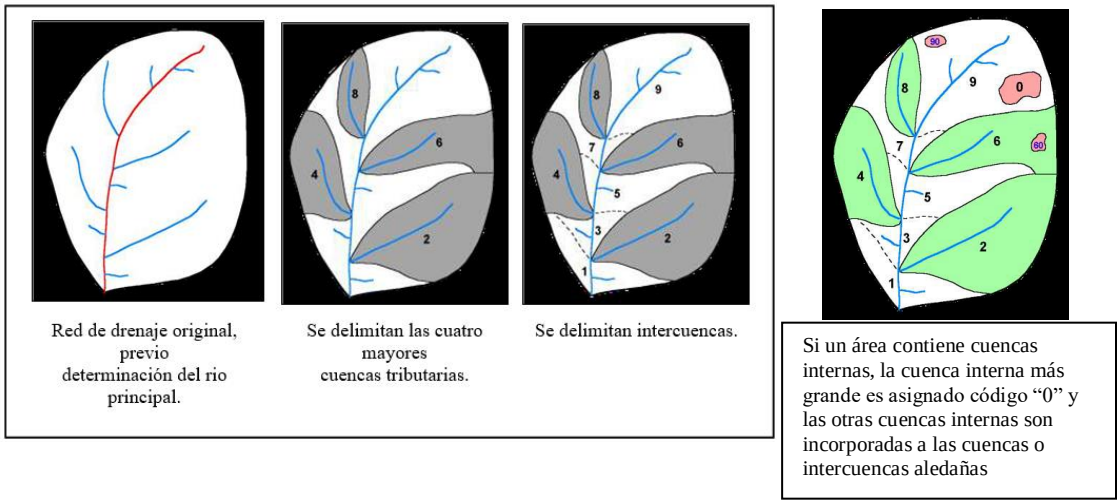


Figura 1. Proceso de codificación del Sistema Pfafstetter

Delimitación de la cuenca

La selección del área de estudio se realizó con las cartas topográficas escala 1:50,000 G14C23 San Miguel, imagen digital, Coordenadas: O 101°00 - O 101°20/N 25°30 - N 25°45. G14C24 Ramos Arizpe, imagen digital, Coordenadas: O 100°40 - O 101°00/N 25°30 - N 25°45. Carta G14C33 – Saltillo, imagen digital, Coordenadas: O 101°00 - O 101°20/N 25°15 - N 25°30. Carta G14C34 – Arteaga, Imagen digital, Coordenadas: O 100°40 - O 101°00/N 25°15 - N 25°30. Las cuales se delimitaron las 4 unidades tipo subcuencas y 5 unidades intercuencas se delimitaron en pantalla con el programa ArcGIS 10.1 y se realizó los 9 polígonos de las unidades hidrográficas y los cauces de la cuenca del arroyo La Encantada.

Método semiautomático para delimitación de cuencas y obtención de parámetros

Para la delimitación de cuencas hidrográficas es necesario contar con Modelos Digitales de Elevación de la zona de estudio, para ello se procesaron cuatros archivos (cartas digitales MDE) correspondientes a las cartas que cubre el territorio de estudio. Creando un mosaico de raster mediante el programa ArcGIS.10.1 y con el área de la cuenca ya digitalizada se realizaron los cálculos de área, perímetro, y longitud de la cuenca. El coeficiente de compacidad (Kc) se calculó de acuerdo a la fórmula de Gravelius (1914). La relación de elongación (R) se obtuvo aplicando la fórmula de Schumm (1977). El factor forma (F) se calculó mediante la ecuación propuesta por Horton (1945). El patrón de drenaje se determinó mediante la clasificación de Howard (1967). El número de orden de cauce se realizó para la cuenca total del arroyo La Encantada y para las cuatro unidades tipo subcuenca a través de la herramienta Stream Order de ArcGIS.10.1 usando el método propuestos por Strahler (1957). En el método de Strahler, se asigna un orden de 1 a todos los vínculos sin afluentes y se los conoce como de primer orden. La pendiente media de la cuenca se calculó a través de un mapa de pendientes interpolado con datos de altimetría de la cuenca, las herramientas utilizadas para este proceso fueron Slope y Zonal Statistics as Table de ArcGIS.10.1, donde se obtuvo el resultado en porcentaje de la pendiente media de la cuenca. La pendiente del cauce principal se obtuvo con la relación entre la altura total del cauce principal (cota máxima menos cota mínima) entre la longitud del cauce principal. La curva hipsométrica se obtuvo a través de ArcGIS.10.1 con la generación de un archivo TIN del área de cuenca, del cual se creó un raster

que se reclasificó con 8 clases y curvas a cada 300 metros para el área total de la cuenca empezando con la cota menor a la cota más alta de la cuenca. Para determinar el área que hay en las curvas clasificadas a cada 300 metros se usó la herramienta Zonal Statistics as Table, donde se tomó dato del área que se pasó a Km^2 para generar la tabla de construcción de la curva hipsométrica. El polígono frecuencias de altitudes, se realizó con tabla de construcción de la curva hipsométrica graficando Área/Área Total [por ciento] y alturas. Las Alturas características se calcularon con la ayuda de la curva hipsométrica y del polígono de frecuencias de altitudes tomando en cuenta que la altura media es la ordenada media de la curva hipsométrica, la altura más frecuente es la altitud cuyo valor porcentual es el máximo de la curva de frecuencia de altitudes y la altitud de frecuencia media es la altitud correspondiente al punto de abscisa media (50 % del área) de la curva hipsométrica.

Resultados y Discusión

Para el presente estudio, se partió con base al mapa elaborado por el Eros Data Center (USGS, 1997) a nivel mundial, que da inicio de la delimitación continental separando el continente en América del Norte y América del Sur; por lo tanto, América del Norte se delimita para el Nivel 1 en 9 cuencas, correspondiéndole a México y Centroamérica el digito 9, correspondiente a una intercuenca tal como se muestra en la Figura 2.

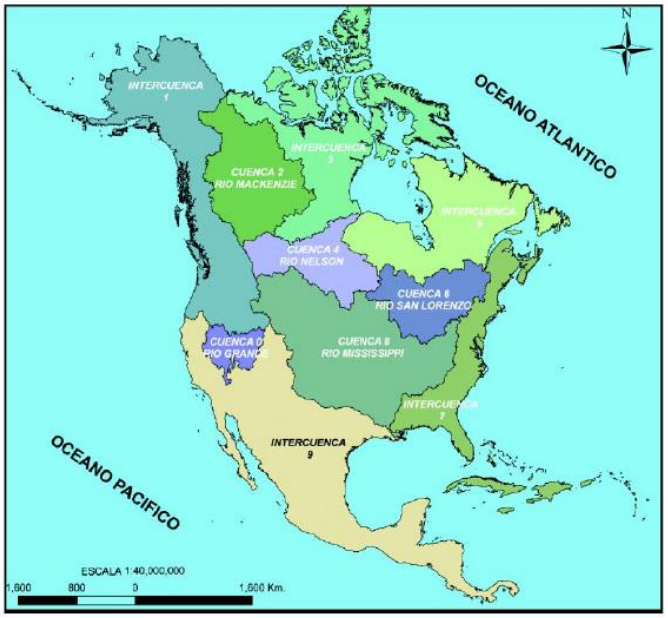


Figura 2. Delimitación continental de las cuencas de América del Norte, Nivel 1, Método Pfafstetter.

Para el nivel 2 el USGS delimita a nivel continental 80 cuencas, para nuestro caso se observa área delimitada correspondiente a la intercuenca con el código 9 correspondiente a México y

Centroamérica donde se encuentra el área de estudio de la cuenca el arroyo La Encantada la cual se ubica en la cuenca con código 92 como se muestra en la Figura 3.

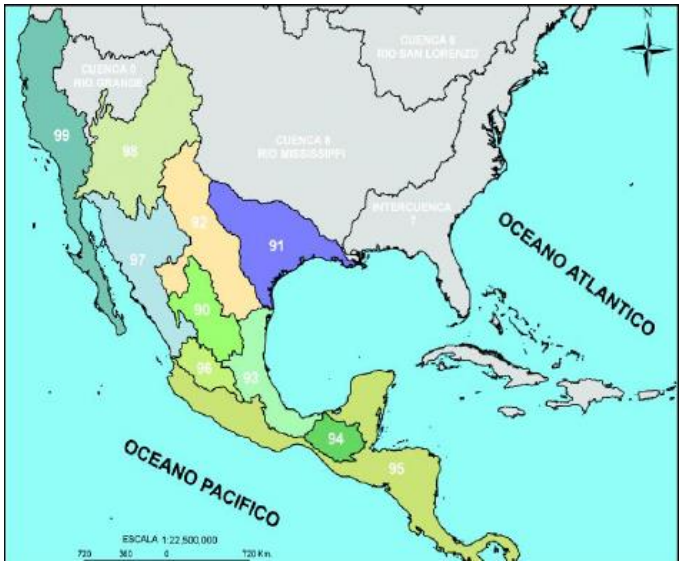


Figura 3. Delimitación continental de las cuencas de América del Norte, Nivel, 2 Método Pfafstetter.

Dando que México no utiliza el método Pfasftetter para la delimitación de su cuencas se parte asumiendo que área del arroyo La Encantada es de nivel 3 para ejemplificar la aplicación del método, ya que para realizar su aplicación a nivel continental y generar los códigos correspondientes, se necesita delimitar el área correspondiente con el código 92 hasta llegar al área del arroyo La Encantada generando así, niveles mayores que representarían mosaicos cada vez más finos de la superficie del terreno en unidades de drenaje más pequeñas.

El resultado de la delimitación del área de estudio consistió en subdividir el territorio llamado cuenca del arroyo La Encantada, ubicando las cuatro confluencias en la desembocadura de los cuatro tributarios más importantes sobre el río principal, y a partir de ahí, como indica la metodología, se generó nueve territorios que de acuerdo con su ubicación respecto a éste serán intercuencas o subcuencas, se obtuvieron 9 unidades hidrográficas 4 cuencas y 5 intercuencas como se observa en la Figura 4.

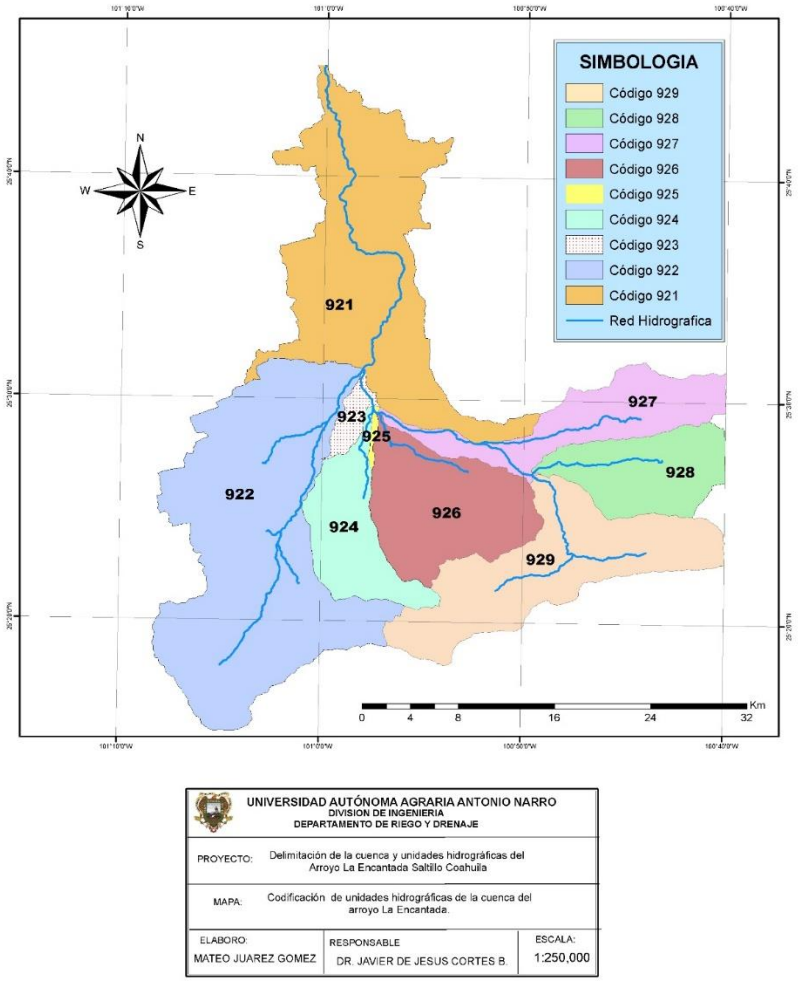


Figura 4. Codificación las cuencas del arroyo La Encantada, Método Pfafstetter

Cuadro 1 Resumen de resultados de valores morfológicos para la cuenca del arroyo La Encantada

Cuenca	Área (km^2)	Perímetro (km)	Longitud de la cuenca (km)	Cota Inicial del cauce (msnm)	Cota Finalde cauce (msnm)	Índice de Compacidad (K):	Relación de elongación (R):	Factor de forma (F):	Patrón de drenaje (Pd)
Arroyo la Encantada	1169.81	242.80	49.45	2100	1000	1.99	0.78	0.48	Dendrítico
Cuenca	**Número de orden de cauce.**	**Longitud total de los causes (km)**	**Densidad de drenaje**	**Longitud total Cauce Principal (km)**	**Pendiente media de la cuenca (%)**	**Pendiente cauce principal (%)**	**Altitud media de la Cuenca (msnm)**	**Altitud más frecuente: (msnm)**	**Altitud de Frecuencia media (msnm)**
Arroyo la Encantada	3	171	0.14617716	64	14	17	1900	1750	1832

Conclusiones

La interpretación de los parámetros morfométricos debe tomarse con cautela por que pueden representar valores subjetivos; sin embargo, la información aportada ofrece un panorama general que puede ayudar a formar diversos escenarios necesarios para prevenir contingencias y tomar medidas para preservar los recursos naturales de la zona.

Referencias

Cotler H. 2010. Las cuencas hidrográficas de México: Diagnóstico y priorización. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT-Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P., México D.F. 231 pp.

Gravelius, H. 1914. Flusskunde: Grundriss des gesamten Gewasserkunde. Goschenesche Verlagshandlung, Berlin, En: S.I. Munguía y A.M.

Horton, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Geol. Soc. America Bull. Págs. 275-280.

Howard, A.D. 1967. Drainage Analysis in geologic interpretation: A summation. Am Assoc. Petr. Geol. (AAPG), vol 51/11. Págs. 2246-2259.

INE 2005. Instituto Nacional de Ecología: Dirección en Manejo Integral de Cuencas: Instructivo para la revisión de la delimitación de las Cuencas Hidrográficas de México a escala 1:250 000. www.inecc.gob.mx. 4 pp.

INEGI 2015. Instituto Nacional de Geografía e Informática, Continuo de Elevaciones Mexicano CEM

López Cadenas de Llano, F. 1998. Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión. Ingeniería medioambiental. TRAGSATEC. Min. Medio Ambiente. Ed. Mundi. Prensa. Madrid España. Págs. 319-945.

Pfafstetter, O. 1989. Classificação de bacias hidrográficas. Rio de Janeiro, RJ: Departamento Nacional de Obras de Saneamento. (Manuscrito não publicado).

Ruiz, R y Torres, H. 2008. Manual de Procedimientos de Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas: Caso América del Sur. UICN Quito, Ecuador. Págs. 10-16.

Schumm, S. A. 1977. The fluvial system, Ed. J. Wiley & Sons, N.Y., U.S.A.

Strahler, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Am. Geophys. Union Trans. Págs.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

SENTINEL 2B: PROCESO DE REGIONES ESPECTRALES COMO FUENTE RELEVANTE DE INFORMACIÓN PARA CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS GEOFÍSICOS

Mariano Norzagaray- Campos[1]

[1]**Instituto Politécnico Nacional. CIIIDIR-Unidad Sinaloa. Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes 250. San Joachín, P 81049. Guasave Sinaloa, México.**

Email: mnorzacam@yahoo.com.mx

RESUMEN

Cada vez el número de sistemas satelitales de observación de la Tierra aumenta, al igual que la disposición de imágenes para los usuarios; lo que facilita con diferentes satélites la interpretación y procesos numéricos del conjunto de datos de series temporales/periódicas de la mejor calidad para obtener las frecuencias específicas filtradas del espectro electromagnético y definir anomalías (comportamientos atípicos) asociadas a comportamientos intrínsecos de las propiedades superficiales y dinámicas inherentes a diversos sistemas terrestres. En la actualidad el uso de indicadores para describir dinamismos superficiales de sistemas de forma precisa p.e tipo de suelo, calidad de agua, vegetación, variación geológica, actividades socioeconómicas, rendimientos de cultivos, temperatura ambiental, entre otros; son muy comunes por lo que es indispensable, una imagen de alta resolución, la cual es una función de las características del diseño del satélite del cual ésta se obtuvo. Hace apenas unos años los satélites en órbita no contaban con una alta resolución y el uso de indicadores era limitado. Recientemente en apoyo a planes emergentes de las economías mundiales, a fin de solucionar esta problemática, la ESA (del idioma inglés, European Space Agency) en el marco del Programa Cópernico dentro del proyecto multi-satélite Sentinel; el 23 de junio de 2015 lanzó el primer satélite de los programados a desarrollar y que ahora es el Sentinel-2 (S2). El segundo Sentinel-2B fue lanzado el 7 de marzo de 2017, ambos a bordo del vehículo de lanzamiento Vega, desde el Puerto espacial de Kourou, en Guayana Francesa y que cuenta con la más alta resolución (10 m) nunca obtenida. El objetivo de esta investigación fue realizar a través de imágenes del nuevo satélite de la ESA “El Sentinel-2B”, la configuración espacial de la distribución de algunos de los parámetros físicos (*Pf*) en suelos costeros del noroeste del estado de Sinaloa. Se consideró que las 13 bandas del 2B procedían de la reflexión superficial como ondas electromagnéticas, y de las que se podía obtener una alta resolución en los resultados reduciendo ruidos y disminuir limitaciones durante el proceso espectral producidos por problemas relacionados con la nubosidad y limites en el tiempo de revisita. El eliminar incertidumbres daría paso al uso de indicadores que describirían la dinámica inherente al sistema estudiado. A través de una toolbox que la ESA pone a disposición la imagen super-espectral a procesar se visualizó y obtuvo a una de resolución (*R*) de 10 m. Diversos filtros de frecuencias espectrales obtuvieron a las frecuencias óptimas (*Foi*) para las mejores imágenes que resaltaron en falso color las tonalidades asociadas a altas y bajas anomalías de los parámetros físicos del suelo. Los resultados espectrales fueron corroborados en campo a través de un análisis en laboratorio en muestras de suelo

procedentes de 2 campañas de monitoreo. Los resultados de la correlación [*Pf* vs. *Foi] y [Pf* vs. *R]* respectivamente con valores de $R^2=0.93$ y $R^2=0.89$ dan a conocer la eficiencia de resolución del 2B para describir propiedades inherentes al suelo superficial y que al ser representadas en forma matricial, numéricamente pueden ser utilizadas en la descripción de en el monitoreo de eventos que cambian en períodos relativamente cortos en innumerables sistemas terrestres.

Palabras clave: *suelo, indicadores, sistemas terrestres, Sentinel-2B, series temporales/periódicas.*

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

USO DE SENSORES REMOTOS EN EL MAPEO DE LA COBERTURA TERRESTRE

Ma. Eréndira Murillo Sánchez

Departamento de Actualización de Cartografía Temática, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI),

Resumen

El estudio de la cobertura terrestre es un descriptor crítico que nos permite obtener datos espaciales imprescindibles para la toma de decisiones acerca de la gestión de los recursos naturales a escalas local, nacional e internacional. Básicamente, nos permite determinar las distintas clases de cobertura de una región como bosques, humedales, construcciones humanas, agricultura y otros tipos más. En este sentido, los Sensores Remotos son una gran herramienta ya que nos permiten obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre. Durante la detección remota óptica, un satélite recibe energía electromagnética que ha sido emitida por el Sol y reflejada desde la superficie de la Tierra. Esta información se transmite luego a una estación receptora en forma de datos que se procesan en una imagen. Este proceso suele sufrir alteraciones al atravesar la atmósfera de la Tierra, ya que es dispersada y absorbida por partículas y gases. Conocer la naturaleza del espectro electromagnético es muy útil, pues cada clase de cobertura tiene una determinada respuesta espectral, es decir; la energía reflejada se encuentra dentro un rango específico del espectro electromagnético. Tal es el caso de la vegetación, que tiene una respuesta muy alta en el rango del infrarrojo cercano y medio. Los incendios son detectados en el rango del infrarrojo térmico, y las zonas con suelos desnudos en el rango del visible, específicamente en el color azul. Para obtener los mapas de la cobertura del suelo se utilizan algoritmos de clasificación, separando en clases espectrales similares la información y etiquetándola como una cobertura determinada. El uso de estas técnicas de clasificación para el mapeo de los recursos naturales es muy extendido en el mundo, teniendo como ejemplo el Programa Internacional Geósfera-Biosfera (1992), que fue pionero en el mapeo global de la cobertura terrestre y en el desarrollo de la Base de Datos de Caracterización Global de Cobertura Terrestre (GLCC) que se basó en imágenes del satélite AVHRR. Del mismo modo, en colaboración con más de 30 equipos de investigación de todo el mundo, el Instituto Conjunto de Investigación en Italia implementó el Global Land Cover 2000 (GLC2000) en 1999 para mapear la cobertura terrestre global y construir el conjunto de datos VEGA2000, a partir de imágenes de SPOT 4. Dos años más tarde, la NASA de EE. UU. Publicó la base de datos global de la cobertura terrestre MODIS basada en los compuestos mensuales de Terra MODIS, entre enero y diciembre de 2001. Otro ejemplo es el Sistema de Monitoreo del Cambio en la cobertura del suelo de América del Norte (NALCMS), siendo un proyecto de colaboración entre Canadá, Estados Unidos y México. Su objetivo fue la detección del cambio en un periodo de 5 años (2005-2010), utilizando imágenes MODIS con una resolución espacial de 250 m. El área total identificada como cambio en México fue de 7,023 km2 (0.36%). La clase correspondiente a suelo agrícola y que además presentó el mayor cambio total, muestró casi un 30% de pérdidas y cerca de 20% de ganancias. Con esto se puede concluir que las ventajas del uso de imágenes de sensores remotos para el mapeo de la cobertura del suelo para estudios globales y regionales son evidentes. Sin embargo, para obtener buenos resultados es importante tener en cuenta varios factores como la comprensión exhaustiva de los conceptos relacionados y el diseño cuidadoso de los procedimientos

técnicos, la selección de la imagen adecuada de acuerdo al área de estudio y a la temática a abordar, la experiencia en la interpretación de las imágenes, y el uso de datos de campo para su verificación.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

METALES PESADOS Y FISICOQUIMICOS EN AGUA RESIDUAL TRATADA DEL VALLE DE JUAREZ, CHIHUAHUA

Flores-Margez, J.P.[1*]; González-Talamantes, C.S.[1]; Corral-Díaz, B.[1]; Osuna-Ávila, P.[1]; Hernández-Escamilla, J.A.[1]; Corral-Avitia, A.Y.[1]; Archuleta-Truesdale, J.[2]

[1]Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, México.
[2] UT Houston School of Public Health, El Paso, Texas.

*Autor responsable: juflores@uacj.mx; Calle Plutarco Elías Calles Núm. 1210, Col. Fovissste Chamizal, Ciudad Juárez, Chihuahua, México. CP 32310; Tel. +52(656)-688-1800 ext. 1561, 1978 y 1621

Resumen

Los conocimientos de las características del agua residual tratada son de enorme importancia social y productiva, principalmente cuando se utiliza en la producción agrícola, ya que tiene impacto considerable en la calidad del suelo y en los alimentos cosechados. El objetivo fue determinar algunas características fisicoquímicas y metales en agua residual tratada para conocer el posible impacto que podría existir para la calidad de los suelos. El estudio se realizó en el Valle de Juárez, Chihuahua, en 2017. El muestreo de agua residual se llevó a cabo conforme la Norma NMX-AA-003-1980. Se realizaron muestreos de agua a diferentes intervalos de tiempo con cuatro repeticiones, se incluyó el efluente de las plantas de tratamiento y muestreos a lo largo del canal principal de riego del Valle. Las variables del agua analizadas fueron temperatura, alcalinidad total, dureza total, cloro libre, cloro residual, pH, así como los metales pesados Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc. Los resultados mostraron que el pH, alcalinidad y dureza del agua residual tratada estuvieron por debajo de los límites máximos permisibles basados en la Norma de agua potable, ya que estos parámetros no están en la Norma NOM-001-ECOL-1996. El carbonato de calcio en agua residual tratada fue bajo, así como bajo en dureza y pH ligeramente alcalino. No se detectó cloro libre y residual en ninguna de las muestras. En cuanto al análisis de metales pesados, los valores registrados estuvieron por debajo de lo indicado por la Norma NOM-001-ECOL-1996. Por esta razón, se concluyó que no existe riesgo de contaminación por metales, lo cual indica que el uso del residual tratada en suelos agrícolas es confiable durante el periodo del presente estudio. Se recomiendan seguir el monitoreo e incluir otras variables como nitrógeno, fosforo, Arsénico, mercurio, grasas y aceites, demanda bioquímica de oxígeno, entre otros.

Palabras clave: Metales Pesados, Dureza, Alcalinidad, Agua Residual.

Introducción

El agua residual se utiliza en agricultura de Europa y Norteamérica desde hace 150 años, mientras que en México fue desde 1901 que inicio su uso en el centro del país (Gutiérrez, 1989). A partir de entonces, el uso de aguas residuales se ha incrementado conforme el crecimiento poblacional y el desarrollo urbano. Este tipo de agua es acarreadora de diversos contaminantes, como sales, elementos traza, nutrientes, compuestos orgánicos, detergentes, sólidos, microorganismos como virus, bacterias, protozoarios y helmintos, representando todos ellos un riesgo para la salud humana, la flora y la fauna (González, 2011). Existen cuatro usos de agua residual de acuerdo con el sector o infraestructura que recibe el beneficio: urbano, industrial, agrícola, y recarga de acuíferos no portables; el urbano (tratamiento secundario, filtración y desinfección), incluye irrigación de parques públicos, campos de atletismo, áreas residenciales y campos de golf; irrigación de áreas de acceso restringido y construcciones (secundario y desinfección); el industrial, muy empleado especialmente en los sistemas de refrigeración de las industrias; el agrícola, en la irrigación de cultivos (tratamiento secundario, filtración y desinfección) y por último, recarga de acuíferos no potables por roció (tratamiento primario mínimo), no potable por inyección (tratamiento secundario mínimo), potable por roció (tratamiento secundario y desinfección mínimo) y potable por inyección (secundario, filtración, desinfección y tratamientos avanzados) (Silva *et al*., 2008).

Actualmente, en México existen más de 30 grandes escenarios donde la irrigación agrícola depende de las aguas negras, siendo el más grande El Valle del Mezquital ubicado en el Estado de Hidalgo, mientras que el segundo campo agrícola más grande es El Valle de Juárez ubicado en Chihuahua. Aunque, el Valle del Mezquital es irrigado con las aguas procedentes de la Ciudad de México, estas reciben un tratamiento natural al ser retenidas en represas antes de ser utilizadas por los agricultores. En cambio, en el Valle de Juárez, las aguas crudas provenientes de Ciudad Juárez han sido dispuestas desde 1994, en algunos casos sin tratamiento alguno, en los campos de cultivo (Almanza, 2000). Sin embargo, recientemente han mejorado los sistemas de tratamiento y se descargan el 90% de aguas residuales con tratamiento secundario y activación biológica de lodos residuales (Olivas-Enríquez *et al*., 2013). Una de las metas del Programa Frontera 2020 (US-EPA, Región 6) se refiere a la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales, en especial en la región del Valle de Juárez, Chihuahua, frontera con El Paso, Texas. (https://www.epa.gov/border2020). El tratamiento de aguas residuales en Ciudad Juárez, Chihuahua, está generando 3560 lps equivalente a 114 millones de metros cúbicos de aguas tratadas anualmente y generan 105 mil metros cúbicos de biosólidos digestados anaeróbicamente, los cuales tienen 80% de humedad y son tratados con 4% de cal (JMAS-CAR-Degremont, 2017).

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en el Valle de Juárez, ubicado al norte del estado de Chihuahua. El muestreo se efectuó como lo indica la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-003-1980 aguas residuales-muestreo. Se realizaron muestreos de agua mensuales con cuatro repeticiones, tanto en las plantas de tratamiento como a lo largo del canal principal de riego durante 2017. Las muestras se colectaron en recipientes de 1 L y fueron transportados en hieleras al laboratorio el mismo día del muestreo. Las variables analizadas fueron: temperatura, alcalinidad total, dureza total, cloro libre, cloro residual y pH. Los metales pesados analizados fueron: Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc. Estos se analizaron por el método NMX-AA-051-SCFI-2016.

Resultados y Discusión

Los valores de pH, alcalinidad y dureza del agua residual tratada se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles (Cuadro 1) por la Norma 127-SSA1-1994 de agua potable, ya que estos parámetros no están en la Norma NOM-001-ECOL-1996. El contenido de carbonatos de calcio fue bajo en el agua residual, bajo en dureza y ligeramente alcalina. No se detectó cloro libre y/o residual en el efluente de las plantas tratadoras. Valores similares fueron detectados para el agua a lo largo del canal de riego principal del Valle (Cuadro 2). Una característica especial es que en verano se presenta una mayor cantidad de casos por enfermedades gastrointestinales y por infecciones por microorganismos, mientras que en invierno predominan las enfermedades respiratorias. Las muestras de agua en las plantas tratadoras presentaron un color café claro, mientras que la del parque presento una coloración verde claro. En el canal de riego del valle las muestras presentaron una coloración café más opaca, mientras que una de las muestras del poblado El Millón fue tomada en el interior de un cultivo, muestra que presento una coloración verde atribuida por la vegetación que rodeaba el canal. Las muestras que fueron tomadas en invierno tanto en Ciudad Juárez, como en el canal del Valle, presentaban un olor mucho más fuerte oscuro que las de verano, esta característica se le atribuye que es la temporada de primavera – verano, es cuando gracias al tratado internacional de 1906 del Rio Bravo (descargas del 17 de marzo al 17 de septiembre) se entregan en la frontera 74 millones de m^3 de agua, razón por la cual las aguas tratadas en esta época se encuentran diluidas, mientras que para invierno el efluente ya no contiene agua proveniente del rio.

Cuadro 1. Promedios de pH, Alcalinidad, Dureza, Temperatura, Cloro libre y residual en agua tratada de Ciudad Juárez, Chihuahua. Límites permisibles basados en NOM-127-SSA1-1994.

Núm. de Sitio	Descripción	Temperatura (ºC)	Alcalinidad total (CaCO3 ppm)	Dureza total (ppm)	Cloro (ppm)		pH
					Libre	Residual	
1	Plantas tratadoras Sur	24.75±0.25	180±60	240±0	0	0	8.15±0.50
	Plantas tratadoras Norte	25.16±0.17	160±40	250±0	0	0	7.66±0.24
2	Parque El Chamizal	24±0.41	180±0	240±0	0	0	7.22±0.10
3	Planta Sur Sin Tratar	23±0	120±0	240±0	0	0	7.58±0.12
	Promedio general	24.27±0.28	163.64±14.22	243.64±1.52	0	0±0	7.57±0.14
	Límite máximo permisible	40	300	500	5	0.2 a 1.5	6.5 a 8.5

Cuadro 2. Promedios de pH, Alcalinidad, Dureza, Temperatura, Cloro libre y residual del agua residual tratada que es descargada al canal principal de riego en el Valle de Juárez, Chihuahua.

Núm. de Sitio	Sitio	Temperatura (ºC)	Alcalinidad total ($CaCO_3$ ppm)	Dureza total (ppm)	Cloro (ppm)		pH
					Libre	Residual	
1	Canal El Millón	24.5±0.5	180±60	240±0	0	0	7.43±0.03
	Canal San Agustín	24±0	160±40	240±0	0	0	8.06±0.26
	Promedio general	24.20±0.20	168±29.39	240±0	0	0	7.81±0.21
	Límite máximo permisible	40	300	500	5	0.2 a 1.5	6.5 a 8.5

Con respecto a metales pesados, todos los valores estuvieron por debajo de lo indicado por la Norma NOM-001-ECOL-1996 (Cuadro 3). Estos datos muestran que no existe riesgo de contaminación por metales, lo cual da confianza del uso del residual tratada en suelos agrícolas. El caso del Zinc que resulto mayor a los demás metales, resulta interesante por representar un micronutriente para las plantas cultivadas y su mayor nivel se puede deber a que este elemento es utilizado para evitar la corrosión de otras partes metálicas en depósitos de agua.

Cuadro 3. Concentración de metales pesados (mg/L) en aguas residuales tratadas del Valle de Juárez y Ciudad Juárez, Chihuahua. Límites permisibles: NOM-001-ECOL-1996.

Sitio	Cadmio	Cobre	Cromo Total	Níquel	Plomo	Zinc
Planta Sur	< 0.0050	< 0.049	< 0.089	< 0.048	< 0.20	0.226
Planta Norte	< 0.0050	< 0.049	< 0.089	< 0.048	< 0.20	0.155
Agua s/ Tratar	< 0.0050	< 0.049	< 0.089	< 0.048	< 0.20	0.102
Parque Chamizal	< 0.0050	< 0.049	< 0.089	< 0.048	< 0.20	< 0.09
Canal El Millón	< 0.0050	< 0.049	< 0.089	< 0.048	< 0.20	< 0.09
Canal Sn Agustín	< 0.0050	0.111	< 0.089	< 0.048	< 0.20	< 0.09
Limite permisible	0.05	4.0	0.5	2.0	5.0	10.0

Conclusiones

Los niveles de pH, alcalinidad y dureza del agua residual tratada resultaron inferiores a los límites máximos permisibles basados en la Norma de agua potable, pues la Norma NOM-001-ECOL-1996 no los incluye. El contenido de carbonato de calcio en agua residual fue bajo, así como bajo en dureza y con pH ligeramente alcalino. La concentración de cloro libre y/o residual no se detectó en ninguna de las muestras del efluente o del canal de riego. La concentración de los metales pesados fueron inferiores a lo indicado por la Norma. Por ello, se puede inferir que no existe riesgo de contaminación por metales y el uso del residual tratada en estos suelos agrícolas puede ser confiable para los parámetros evaluados en este estudio.

Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por Environmental Protection Agency (US-EPA) dentro del Programa Frontera 2020 Región 6, Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF), North American Development Bank (NADB), y asignados a la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) a través del convenio Institucional COCEF – UACJ No. TAA16-016, PID:20298, B2020 R6. 335.

Referencias

Almanza, V. G. 2000. Reúso agrícola de las aguas residuales de Cd. Juárez, (Chih., México). En el Valle de Juárez y su impacto en la salud pública. RESPYN Revista de Salud Pública y Nutrición, 1(3).

González González, M. I., & Chiroles Rubalcaba, S. 2011. Uso seguro y riesgos microbiológicos del agua residual para la agricultura. Revista cubana de salud pública, 37(1), 0-0.

Gutiérrez, De La R. T. 1989. Marco de referencia del uso de aguas residuales en la producción de alfalfa. In: Informes de investigación del CENIDRASPA 1988, INIFAP, 3er. Volumen. Gómez Palacio, Dgo. p. 419-439.

NOM-001-ECOL-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

NMX-AA-003-1980. Aguas residuales, muestreo. Lineamientos y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales.

Olivas-Enríquez, E., J. P. Flores-Márgez, G. D. Di Giovanni, B. Corral-Díaz y P. Osuna- Ávila. 2013. Contaminación fecal en agua potable del Valle de Juárez. Terra Latinoamericana. 31:135-143.

Silva, J., Torres, P., & Madera, C. 2008. Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. Agronomía Colombiana, 26(2), 347-359.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

USO DE SEMILLA DE MORINGA *(Moringa oleífera. Lam)* EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SANITARIAS

Bolívar-Duarte, M.[1*]; Olivares- Saenz, E.[2]; Sandino- Salazar, R. A.[1]; Gaona- Méndez, C.[1]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México
[2] Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León. Escobedo, Nuevo León. México

*Autor responsable: m_bolivard@hotmail.com; Calle Lerdo de Tejada Núm. 570, Col. Zona Centro, Saltillo, Coah. México CP 25000; Tel. +52(844)-869-0040

Resumen

El agua es el recurso más importante para los seres vivos, que varía tanto en tiempo como en espacio. Su calidad lo hace un recurso finito, por lo que una vez utilizada en las diversas actividades demanda de un tratamiento para su reúso. Existen diversos tratamientos, costosos y económicos para la eliminación de compuestos que afectan la salud, así como de microorganismos que limitan su uso. El trabajo se llevó a cabo en el efluente del tanque Imhoff de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coah. Mismo que fue tratado con tres dosis de semilla de moringa molida: agua cruda (T)10 g (T_1 20g (T_2) y 30g (T_3), realizándoseles los siguientes parámetros: Temperatura, CE, Sólidos Totales y Volátiles, Sólidos Suspendidos Totales y Volátiles, Sólidos Sedimentables, DBO_5, DQO, Grasas y Aceites y Coliformes Fecales y Totales. Éstos se compararon aplicando la NOM-003-SEMARNAT_1997 a cada variable para evaluar los objetivos propuestos: que fueron los de determinar la dosis adecuada de semilla de *Moringa oleífera. Lam* en el tratamiento de aguas residuales domésticas y la calidad agronómica. Los resultados mostraron que los Sólidos Suspendidos Totales no cumplen con la Norma, por ser un valor mayor, con excepción del testigo; los Sólidos Totales, Suspendidos Volátiles y los Totales Volátiles no los considera. Los Totales Disueltos son menores que los que señala la normatividad, clasificándola como media en sales; el pH es ligeramente mayor que el rango marcado, dificultando la disponibilidad de los nutrimentos para las plantas. Ambos parámetros se adicionan a la Norma anterior como Directrices marcadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS); la DBO,, CF y CT (T_3) disminuyeron, lo que no sucede con DQO,_GyA y CT (T, T_2). Al disminuir patógenos hace a la moringa una opción en el tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas, realizando más investigación para determinar una menor dosis que cumpla con ambos propósitos.

Palabras clave: Moringa; Aguas residuales; Coliformes fecales

Introducción

El agua es el recurso más importante para la vida y el desarrollo social, mismo que está experimentando escasez por el incremento en la demandada, tanto global como nacional. Lo anterior debido al crecimiento demográfico y económico, así como por la globalización de los mercados, cambios tecnológicos y el estilo de vida. El agua es un recurso limitado por su calidad, con disponibilidad variable en tiempo y espacio que requiere, tanto en el mundo como en México, de una gestión eficaz y una atención impostergable (Martínez *et al*., 2017).

Por otro lado, en México al igual que otros países se habla de crisis de agua, por lo que el aprovechamiento de las aguas residuales debe verse como una perspectiva, evitando tratamientos muy costos, ya que si está contaminada puede transmitir una amplia variedad de enfermedades, lo que no sucede en países desarrollados. El problema de la calidad de agua es tan importante como su escasez. El término calidad de agua se refiere al conjunto de parámetros que indican que el agua puede ser usada para diferentes propósitos como son doméstico, riego, recreación e industria. La calidad del agua se puede definir por sus contenidos de sólidos y gases, ya sea que estén presentes en suspensión o en solución (Mendoza, 1996).

La evaluación de la calidad del agua es un proceso de enfoque múltiple que estudia la naturaleza física, química y biológica con relación natural, efectos humanos y acuáticos relacionados con la salud, así que ésta depende de su uso.

Los extractos salinos y acuosos crudos de *Moringa oleífera. Lam* han mostrado una gran eficacia como coagulante primario natural, alcanzando una reducción de la turbiedad elevada que va del 92-99 por ciento (Muyibi *et al*., 1995).

Entre las principales ventajas que presenta el uso de esta semilla destacan su bajo costo, la biodegradabilidad del lodo producido, así como la estabilidad del pH del agua tratada. El uso más conocido de la semilla de *Moringa oleífera. Lam* es en el tratamiento del agua, debido a sus propiedades coagulantes antibióticas y antifúngicas (Chuang *et al.*, 2007).

Los objetivos planteados en este trabajo fueron los de determinar la dosis adecuada de semilla de *Moringa oleífera. Lam* en el tratamiento de aguas residuales domésticas y determinar la calidad agronómica de agua residual tratada con *Moringa oleífera. Lam* en el efluente del tanque Imhoff.

Materiales y Métodos

El presente trabajo se llevó acabo en el tanque Imhoff de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicada en Buenavista, Saltillo, Coah. Las muestras se tomaron en Diciembre de 2016 en la salida del tanque (efluente) recolectándose en un recipiente de 4L, mismo que fue llevado al Laboratorio de Hidráulica del Depto. de Riego y Drenaje de la misma Universidad. El volumen se distribuyó en cuatro vasos de precipitados con una capacidad de 1L cara uno, poniéndoseles a tres de ellos 10g(T_1) 20g (T_2) 30g (T_3) de semilla de moringa molida, siendo el cuarto, el Testigo (T) con agua sin tratamiento; se colocaron en el equipo de jarras, se agitaron por un tiempo de 10 min para posteriormente analizar las siguientes variables: Temperatura, CE, Sólidos Totales y Volátiles, Sólidos Suspendidos Totales y Volátiles, Sólidos Sedimentables, DBO_5, DQO, Grasas y Aceites y Coliformes Fecales y Totales. Éstas se analizaron aplicando las Normas Mexicanas correspondientes a cada variable.

Resultados y Discusión

Los resultados de los parámetros del Cuadro1 se consideran los Sólidos Suspendidos Totales, mismos que no cumplen la Norma, por ser un valor mayor, con excepción del testigo, que el que marca la NOM-003_SEMARNAT-1997, los sólidos Totales, Sólidos Suspendidos Volátiles y los Totales Volátiles no los considera. Sin embargo, los Totales Disueltos son menores que los que señala la normatividad (1200 $mg.L^{-1}$) sí cumple la Norma anterior, se clasifica como media en sales por lo que se recomienda regar la mayoría de los cultivos; el pH es ligeramente mayor que el límite superior marcado, al igual que el parámetro de Sólidos Totales Disueltos, dificultando la disponibilidad de los nutrimentos para las plantas. Ambos parámetros se adicionan a la Norma anterior como Directrices marcadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Con respecto a los parámetros químicos (Cuadro 2) en las muestras tratadas con moringa se disminuyen considerablemente tanto la DBO_5 como los Coliformes Fecales (CF) y Totales (CT) en el último tratamiento, lo que no sucede con la DQO, G y A y CT (T, T_1 y T_2) . Éste último parámetro no es considerado por la Norma anterior como lo es el de CF donde puede observarse que la moringa disminuye estos microorganismos y los CT sólo bajaron con el tratamiento de 30 mg, propiedad destacada por Chuang *et al*. (2007).

Cabe destacar que los tratamientos de moringa utilizados dieron como resultado un sobrenadante turbio, que en el de 30g fue imposible observar la fracción sedimentada.

Cuadro 1. Valores de Sólidos Totales, Suspendidos Totales, Sólidos Suspendidos Volátiles y Sólidos Totales Volátiles obtenidos de las muestras. Límites Máximos Permisibles marcados por la NOM-003_SEMARNAT-1997.

Trat	ST ($mg.L^{-1}$)	SST ($mg.L^{-1}$)	SSV	STV	SDT ($mg.L^{-1}$)	pH
Testigo	720	45	80	250	862.7	9.4
T_1	1855	195	235	1500		
T_2	4995	240	310	4065		
T_3	4985	160	215	4065		
Límite Máximo Permisible		<30			1200	6-9

Cuadro 2. Valores de los parámetros químicos y biológicos observados en la NOM-003-1997 y las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Trat	DBO_5 (mg.L^{-1})	DQO (mg.L^{-1})	G y A (mg.L^{-1})	CT (mg.L^{-1})	CF NMP/100 mL
Testigo	105.6	27	24735	1600	920
T_1	1.65	1060	25875	120	94
T_2	0.4	200	1730	84	63
T_3	0.74	200	9575	70	58
Límite Máximo Permisible	20	<30	15		< 240

Conclusiones

Los valores de Sólidos Suspendidos Totales (SST) se encuentran por arriba de los límites máximos permisibles marcados por NOM-003-SEMARNAT-1997 siendo el testigo el valor más cercano; el contenido de sales solubles sí pasa la Norma anterior, siendo importante porque pueden regarse la mayoría de los cultivos. Cabe mencionar que existen aguas naturales con mayor contenido de sales solubles que el Testigo; el pH se encuentra en un valor que limita la absorción de los de la mayoría de los nutrimentos para las plantas por estar tan elevado, aunque sobrepasa ligeramente el límite superior marcado, al igual que el parámetro anterior por las directrices de la OMS como adicionales a la Norma Oficial Mexicana.

Los parámetros químicos como DQO, GyA no se vieron afectados positivamente con el uso de esta planta, como lo fue la disminución de los CF en los tres tratamientos y los CT, en el más alto, sólo que esta cantidad de planta no permitió observar el límite entre la fase sedimentada y el sobrenadante. Por lo anterior es importante probar dosis menores de 30 mg de moringa que disminuyan los coliformes e incrementen los sólidos sedimentables para que el agua pueda clarificarse.

Referencias

Chuang, P. H., C.W. Lee., J. Y. Chou., M. Murugan., B.J. Shieh., & H. M. Chen.2007. "Anti-fungal activity of crude extracts and essential oil of Moringa oleifera Lam.", Bioresour Technol, 98(1): 232-236.

Martínez, A.P.F., A. Díaz y G. Moeller. 2017. Seguridad Hídrica en México. Academia de Ingeniería en México. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Ciudad de México.

Mendoza, M. 1996. Impacto de la tierra en la calidad del agua de la microcuenca Río Sábalos, Cuenca del río San Juan Turrialba, CR, CATIE 81 p.

Muyibi, S.A y A. Charles. 1995. Coagulation of low turbidity surface water with Moringa oleifera seeds. International Journal Enviroment Studies. 48, 263-273.

México, 1997, Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997 003-ECOL-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Diario Oficial de la Federación, 21 de Septiembre de 1998. México D.F.

.

.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

CARACTERIZACIÓN QUIMICA DE SEDIMENTOS EN UN ECOSISTEMA LACUSTRE

De La Mora-Orozco, C.[1]; García-Hernández, S.B.[2]; González-Acuña, I.J.[*3]; Flores-López, H.E.[1]; Martínez-Orozco, E.[2]; Chávez-Durán. A.A.[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, agrícolas y Pecuarias, Tepatitlán de Morelos, Jalisco. México.
[2]Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez. Campus Arandas, Arandas, Jalisco. México.
[3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, agrícolas y Pecuarias, Santiago Ixcuintla, Nayarit. México.

*Autor responsable: gonzalez.irmajulieta@inifap.gob.mx; Carretera Internacional México - Nogales Kilómetro 6, Centro, C.P. 63300 Santiago Ixcuintla, Nay. Tel. +52(01800)-088-2222 ext. 84403

Resumen

Existen diversas fuentes de contaminación en cuerpos de agua superficiales, por ejemplo, las principales fuentes de contaminación en lagos, son los ríos, sedimentos y la atmósfera. Los sedimentos que son transportados por los escurrimientos degradan la calidad del agua para las diversas actividades, por la concentración de sólidos disueltos que provoca la turbidez en el agua. La presa la Vega que se localiza en Teuchitlán, Jalisco, el principal uso del agua es el riego. Estudios para determinar la calidad del agua en este embalse, mostraron que los parámetros determinados en los afluentes y dentro de la presa, de manera aislada no representan un riesgo considerando el principal uso de la presa La Vega. El objetivo de este trabajo fue realizar una caracterización de los sedimentos superficiales de la presa La Vega, mediante análisis químico. Se recolectaron 8 muestras de sedimento distribuidas en el embalse. Se analizó pH y C.E. por el método de electrodo. Se determinaron macro y micronutrientes: N-NO_3 por Columna reductora Cadmio y colorimetría, P Bray 1; K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Mn y Cu por absorción atómica con diferentes extractantes; B con azometina y S-SO_4 por turbidimetría. En la caracterización se emplearon estadísticas descriptivas Los resultados mostraron que el Ca, Mg y Na, presentaron valores que los sitúa en la escala de “moderadamente altos”. Mientras que el Fe, Zn, Mn, Cu y B en su interpretación se categorizan como “muy altos” por lo tanto sobrepasan los requerimientos de nutrientes de los cultivos, con riesgo de toxicidad. Se sugiere la determinación de elementos tóxicos como el Cd, As y Cr.

Palabras clave: Acumulación, contaminantes, sedimentos

Introducción

Las actividades agrícolas tienen un papel primordial en la contaminación de los cuerpos de agua. El exceso en la aplicación de productos químicos como plaguicidas y fertilizantes en la agricultura es transportado en forma regular por los escurrimientos generados durante la estación lluviosa (López-López y Paulo-Maya, 2001). Otro problema que se origina con las lluvias, es la erosión del suelo, la cual se define como el proceso de desprendimiento, transporte y depósito de partículas por agentes erosivos, como las gotas de lluvia, el escurrimiento superficial o el viento (Wishmeier y Smith, 1978).

Los sedimentos que son transportados por los escurrimientos degradan la calidad del agua para las diversas actividades, debido a la concentración de sólidos disueltos que provoca la turbidez en el agua. Los sólidos disueltos totales (SDT) están formados por partículas como arcillas, limo y otras, que, aunque no lleguen a estar disueltas, son transportadas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales), o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación que es la unión de varias partículas (Miller *et al.*, 2002).
Los cuerpos de agua han experimentado un aumento de la concentración de elementos tóxicos en los sedimentos, lo cual es comúnmente considerado como un indicador de contaminación antrópica (Tylmann *et al.* 2011). Sin embargo, en el caso específico de los lagos y presas, el aumento de la contaminación puede ser el resultado de una tendencia a nivel global del incremento de la contaminación atmosférica, además de la presencia de industrias locales en las cuencas de influencia. En este sentido es importante realizar una evaluación de las diversas fuentes puntuales de contaminación basadas en las actividades socioeconómicas que se llevan a cabo en la cuenca. Las partículas en suspensión atrapan contaminantes presentes en la columna de agua, y cuando finalmente sedimentan depositan en el fondo de los cuerpos de agua una gran cantidad de contaminantes (De La Mora *et al.*, 2013). Los sedimentos en lagos y presas son especialmente susceptibles a la acumulación de metales y elementos tóxicos, la concentración en sedimentos es generalmente de varios ordenes de magnitud mayor que en la columna de agua (Wishmeier y Smith, 1978).
En la presa la Vega que se localiza en Teuchitlán, Jalisco, el principal uso del agua es el riego, sin embargo, también la pesca es una actividad importante ya que aproximadamente 100 familias dependen de ésta actividad. Estudios para determinar la calidad del agua en este embalse, mostraron que los parámetros determinados en los afluentes y dentro de la presa, de manera aislada no representan un riesgo considerando el principal uso de la presa La Vega, a excepción del boro que presentó concentraciones elevadas. Sin embargo, cuando varios de los elementos se combinan como es el caso de la determinación de la relación de adsorción de sodio (RAS) y el carbonato de sodio residual (CSR), el riesgo se incrementa considerablemente, aumentando su peligrosidad. Aunque el valor del RAS obtenido en la mayoría de los sitios presentó riesgo bajo, el uso constante del agua para riego en la zona del valle de Ameca, Jalisco, presenta efectos visibles con la acumulación de sales en el suelo. Además, se determinó al rio Salado como el afluente que aporta la mayor cantidad de contaminantes a la presa, el cual desemboca en el embalse en la parte sureste del mismo. Se observó que el río Salado es el principal aporte de boro a la presa, además de otros contaminantes.

Por otro lado, también contribuye que el embalse de la presa La Vega tiene varios tributarios que le pueden aportar contaminantes: del norte recibe el aporte del río Teuchitlán el cual es permanente; no obstante, es también reservorio de las descargas municipales de Teuchitlán, que desembocan finalmente en el embalse. Además, en el norte existe una serie de manantiales de El Rincón que desembocan en el embalse. En el oeste, la presa La Vega se alimenta de los aportes del arroyo Grande o La Mora y el arroyo Chapulimita. Sin embargo, el mayor aporte se realiza en el sureste, el cual corresponde al río Salado, siendo éste la mayor recarga permanente del embalse y que además transporta las aguas provenientes del Ingenio de Tala y las descargas municipales de la cabecera de Tala (CEA, 2011).
Considerando los resultados de estudios previos de calidad del agua en la presa la Vega, se consideró pertinente la evaluación de los sedimentos ya que el embalse ha tenido una vida útil de 40

años aproximadamente. El objetivo de este trabajo fue realizar una caracterización de los sedimentos superficiales de la presa La Vega, a través del análisis químico.

Materiales y Métodos

La recolección de muestras de sedimento se llevó a cabo en junio de 2018 en la presa La Vega, la cual se localiza en el Municipio de Teuchitlán, Jal., México. La selección de sitios para el muestreo, se realizó con una imagen satelital reciente del cuerpo de agua, la cual se dividió en cuadrantes de 1 km^2 a través del software Google earthTM. Los cuadrantes fueron enumerados y por medio del paquete estadístico Minitab 16, se seleccionaron aleatoriamente ocho cuadrantes a lo largo de la presa. El muestreo lo realizó personal calificado del INIFAP (Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco) el cual se internó en la presa en una lancha, y localizó los sitios con GPS (Etrex Marca Garmin®). En el sitio, la muestra se extrajo utilizando una draga; se recolectó aproximadamente 1.5 kg de sedimentos por sitio. Las muestras fueron transportadas para su análisis químico, al Laboratorio de Fertilidad de suelos que se localiza en el Campo Experimental Santiago Ixcuintla del INIFAP en Nayarit.

Previo al análisis, las muestras pasaron por un proceso de secado bajo temperatura ambiente, durante aproximadamente ocho días, después se trituraron y posteriormente pasaron por un tamiz malla 10 (2 mm). Se analizó pH con peachímetro, conductividad eléctrica (C.E.) mediante conductivímetro, y materia orgánica (MO) por Walkley y Black. Se determinaron macro y micronutrientes: N-NO_3 por Columna reductora Cadmio y colorimetría, P Bray 1; K, Ca, Mg y Na con Acetato de amonio por espectrofotometría de absorción atómica; Fe, Zn, Mn y Cu, extracción con DTPA por absorción atómica; B con azometina-H y S-SO_4 extracción con fosfato de calcio por turbidimetría. Estos métodos siguen los protocolos de la NOM-RECNAT 2001. Los resultados de las propiedades químicas de los sedimentos y de las concentraciones de macro y micronutrientes, se caracterizaron mediante estadística descriptivas: medias, desviación estándar e intervalos de confianza al 95 %.

Resultados y Discusión

En el Cuadro 1 se presentan los resultados del análisis químico en los sedimentos superficiales de la presa La Vega. Se observó que, por pH neutro (6.76) a ligeramente alcalino (7.53), los sedimentos presentan características de disponibilidad de nutrientes. Por C.E. (2.10 ± 0.52,) pueden contribuir a la salinidad de los suelos y disminuir el rendimiento en los cultivos, como ocurre con caña de azúcar y maíz a C.E. > 2 o en algunas hortalizas a C.E. > 1 (Ruíz *et al*., 2013). La M.O. ≥ 7 fue muy alta, por lo que puede aportar abundantes nutrientes. No obstante, el N-NO_3 presentó concentración baja (2 mg kg^{-1} ± 1.46), que es lo esperado, ya que por su alta movilidad y el ambiente húmedo en que se encuentra, no se acumula en los sedimentos.

En P, la concentración fue muy variable (27.10 ± 10.98), desde alta a moderadamente baja, lo cual posiblemente se relacione con la variación del pH, pues como lo indican Castellanos et al. (2000), en condiciones ligeramente alcalinas, como las que se registraron en algunas muestras de sedimentos, el P se vuelve insoluble. Estas variaciones también pueden tener relación con que, en la parte sur de la presa, el río Salado, principal fuente de contaminación a la presa La Vega, desemboca en el embalse al sureste (De la Mora et al., 2013).

Con relación a K, la concentración (731.58 ± 168.50), fluctuó de mediana a moderadamente alta, la cual pudiera no encontrarse en suficiencia para la mayoría de los cultivos, ya que los requerimientos de este elemento en las plantas son tan o más altos que el nitrógeno.

Respecto a Ca (3221.48 ± 597.90) y Mg (757.23 ± 309.59), se encontraron en rangos que favorecen el intercambio de iones, además, el valor de su relación Ca/Mg sugiere un balance entre ambos, que beneficia la productividad del cultivo (Tisdale et al., 1993 citado por Castellanos et al., 2000). Por otro lado, estos elementos junto con Na se utilizan como parámetros que determinan la calidad del agua para riego, a través del cálculo de la proporción de sodio adsorbido (RAS).

Cuadro 1. Resultados de los parámetros evaluados en sedimentos; interpretación, media, desviación estándar

parámetro/concentración	Interpretación	Media ± DS	Max	Min
pH	Ligeramente alcalino a neutro	7.08 ± 0.24	7.53	6.76
CE (dS m^{-1})	Niveles tolerantes para algunas especies de cultivo y susceptibiliad de otras	2.10 ± 0.52	3.18	1.56
MO (%)	Muy alto	9.61 ± 1.50	11.81	6.99
N-NO_3 (mg kg^{-1})	Bajo/Muy bajo	2.00 ± 1.46	3.67	0.00
P Bray (mg kg^{-1})	Alto/ Moderadamente bajo	27.10 ± 10.98	39.80	11.40
K (mg kg^{-1})	Moderadamente alto /Mediano	731.58 ± 168.50	1103.60	557.60
Ca (mg kg^{-1})	Moderadamente alto	3221.48 ± 597.90	3872.10	2334.10
Mg (mg kg^{-1})	Alto/Bajo	757.23 ± 309.59	1202.80	118.90
Na (mg kg^{-1})	Alto/Moderadamente alto	803.89 ± 234.75	1313.80	558.40
S-SO_4 (mg kg-1)	Muy alto/Alto	333.13 ± 124.73	625.00	245.00
Fe (mg kg^{-1})	Muy alto	279.00 ± 77.03	383.00	146.80
Zn (mg kg^{-1})	Muy alto/Alto	7.57 ± 3.72	15.20	4.49
Mn (mg kg^{-1})	Muy alto	121.26 ± 72.18	274.30	66.60
Cu (mg kg^{-1})	Muy alto/Alto	6.01 ± 3.34	13.87	3.14
B (mg kg^{-1})	Muy alto	25.11 ± 4.65	32.25	16.02

El RAS define la sodicidad en términos de la concentración relativa de sodio (Na) en comparación con la suma de los iones de calcio (Ca) y magnesio (Mg), de manera que estos iones no son problema en los sedimentos y seguramente tampoco en el agua, ya que si sus concentraciones fueran muy altas se asociarían con la dureza del agua (Porta *et al.*, 1994; Baccaro *et al.*, 2006; Panno *et al.*, 2006).

En cuanto a S-SO_4 (333.13 ± 124.73), aunque los niveles determinados se categorizan como muy altos a altos, se encuentran dentro de los contenidos esperados en la solución del suelo de zonas templadas, ya que Castellanos *et al*. (2000) reportan que, bajo condiciones similares, este ión puede

variar desde 10 hasta 500 ppm. Por otro lado, estos autores Op. Cit. mencionan que, aun cuando los sulfatos son fácilmente lavados, el humus generado por los altos contenidos de MO, como ocurrió en las muestras de sedimentos, fija el azufre y lo protege de pérdidas por lavado.

Mientras que el Fe (279.00 ± 77.03), Zn (7.57 ± 3.72), Mn (121.26 ± 72.18), Cu (6.01 ± 3.34) y B (25.11 ± 4.65) también se determinaron en concentraciones "muy altas" que como lo indican Linnik y Zubenko (2000) sobrepasan los requerimientos de nutrientes de los cultivos. Sin embargo, en particular con estos elementos, sus valores se encuentran muy por encima de los límites superiores esperados, de manera que constituyen un riesgo de toxicidad para el ambiente y el cultivo, además de que pueden estar ocasionando efectos antagónicos con otros elementos (Tisdale *et al.*, 1993 citado por Castellanos *et al*., 2000). Los resultados anteriores concuerdan con las concentraciones encontradas de estos elementos en el agua, en trabajos previos (De la Mora *et al*., 2013), y que son respuestas debidas a un proceso acumulativo de los diversos elementos, durante aproximadamente 40 años de existencia del embalse. Por lo que se ratifica que el uso en la agricultura de estos sedimentos, se realice con reserva.

Conclusiones

Los resultados mostraron que en la presa La Vega, los elementos encontrados en los sedimentos forman parte de los macro y micronutrientes requeridos por las plantas. Sin embargo, algunos de ellos como es el caso del Fe, Zn, Mn, Cu y B se encontraron en concentraciones muy elevadas, las cuales pueden ser tóxicas al ambiente y al cultivo. Se sugiere la determinación de metales pesados como el Hg, Cd, As y Cr, para establecer límites en el uso del recurso y evitar daño a la salud humana y ambiental.

Referencias

Baccaro, K., Degorgue, M., Lucca M., Picone L. y E. Zamuner. 2006. Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola del Mar de la Plata. INTA, Argentina. RIA. 35:56-64.

Castellanos J. Z., J. X. Uvalle, B., A. Aguilar S. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. Intagri. pp. 201.

Comisión Estatal del Agua de Jalisco (CEA). 2011. http://www.ceajalisco.gob.mx/cuencas/vega-cocula.html fecha de acceso: 23-06-2011.

De La Mora, O.C., L.H.E. Flores y D.A.A. Chávez. 2013. Calidad del agua del embalse de la presa la vega y su impacto en las tierras agrícolas bajo riego. INIFAP. 168 p.

Linnik, P.M. and I.B. Zubenko. 2000. "Role of bottom sediments in the secondary pollution of aquatic environments by heavy metal compounds" Lakes and Reservoir: Research and Management. 5:11-21.

López-López E. y J. Paulo-Maya. 2001. Changes in the fish assemblages in the upper río Ameca, México. J. Fresh. Ecol. 16:179-187.

Miller, K.J., D.S. Rise and C. McDonald. 2002. Groundwater and surface water quality, herbicide transport and irrigation practices Greenfields aquifer, Montana. Open-File Report 463. 125 p.

Panno, S.V., Hackley, K.C., Hwang, H.H., Greenberg, S.E., Krapac, I.G., Landsberger, S. and D.J. O'Kelly. 2006, Characterization and identifcation of Na-Cl sources in ground water: Ground Water. 44:176–187.

Porta, C.J., López-Acevedo Reguerín, M.Y. y C. Roquero De Laburu.1994. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. Ed. -Mundi-Prensa. Madrid. 286 p.

Ruiz C., G. Medina G., I. J. González A., H. E. Flores L., G. Ramírez O., C. Ortiz T., K. F. Byerly M. y R.A. Martínez P. 2013 Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. - CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jal, Méx. 564 p.

Tylmann, W., K. Łysek, M. Kinder and J. Pempkowiak. 2011. Regional Pattern of Heavy Metal Content in Lake Sediments in Northeastern Poland. Water Air Soil Pollut, 216:217–228

Wischemeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. U. S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook No. 537. USA.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

OBRAS DE CONSERVACIÓN Y RECUPERACIÓN DE SUELO EN LA MICROCUENCA CACALOAPAN, TEPANCO DE LÓPEZ, PUEBLA, MÉXICO

Castelán-Vega, Rosalia[1, 2*]; Tamariz-Flores, V,[1, 2]; Ramírez-García, A. L.[2]; Cruz-Montalvo, A.[1]

[1]Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, Puebla. México. 1. Ciudad, Estado. País.
[2]Posgrado en Ciencias Ambientales, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, Puebla. México

*Autor responsable: rosalia.castelan@correo.buap.mx; Calle 14 Sur Núm. 6301, Col. San Manuel, Pueba, Puebla. México. 72470; Tel. +52222)-229-5500, Ext. 7353.

Resumen

El sur del estado de Puebla es una zona semiárida, donde las recurrentes sequías y la deforestación han puesto en peligro el ecosistema, despertando la preocupación gubernamental, por lo que se han creado programas de medidas de conservación de suelo, sin embargo, dichas medidas carecen monitoreo que compruebe su eficacia. Por lo que el objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia de las obras de conservación de suelos realizadas en la mixteca poblana. Se comparó la pérdida de suelo en toneladas por hectárea mediante la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), en parcelas con y sin obras de conservación. Los resultados obtenidos muestran que las pérdidas registradas fueron mayores en las parcelas que no cuentan con medidas de conservación, alcanzando máximos de hasta 34 toneladas de suelo por hectárea en la temporada de lluvias. La medida que resultó más eficiente para retener el arrastre del suelo bajo las condiciones evaluadas, son las barreras de piedra acomodada, las cuales mantienen el arrastre dentro de los máximos permisibles (<10 ton/ha); las parcelas con zanjas bordo, registraron valores de pérdida de hasta 16.6 ton/ha, por lo que su efectividad no es suficiente para retener la erosión. Los resultados encontrados demuestran que impera el aumento de la superficie en laderas con medidas de conservación de suelo, así como mejorar la eficiencia de las existentes, ya sea asociando otras prácticas de conservación o bien, dando un continuo mantenimiento a las existentes, para que se pueda recuperar la riqueza edáfica de la región.

Palabras clave: Degradación; erosión; desertificación

Introducción

La Mixteca Poblana tiene gran importancia debido a su riqueza de formas de vida silvestres, en donde sobresale la alta concentración de especies endémicas de flora, por lo que parte de su superficie pertenece al área natural protegida Reserva de la Biosfera del Valle de Tehuacán-Cuicatlán (CONABIO, 2011); sin embargo, pese a este status de protección ambiental, la degradación de suelos ha alcanzado niveles muy serios después de años de deforestación,

sobrepastoreo y expansión agrícola, lo que se suma a su compleja topografía y sus suelos someros. Estos hechos han llevado a respuestas aisladas por parte del gobierno, por lo que tratando de compensar los efectos negativos del cambio de uso del suelo en los servicios ecosistémicos de la región, se inició la construcción de obras de conservación de suelo en 120 hectáreas de la mixteca poblana. Sin embargo, la eficacia de dichas tecnologías nunca ha sido comprobada, y los esfuerzos retomados en la actualidad continúan la inercia de las obras de conservación realizadas en el pasado, sin distinción del tipo de ecosistema que se pretende restaurar. Investigaciones recientes (Cotler *et al*, 2015) han demostrado que las prácticas de conservación de suelo tienen efectos diferentes, en función de las características ecológicas de los ecosistemas, por lo que de no conocer la eficacia de ellas puede traer como consecuencia efectos contrarios en la preservación de los suelos, además de invertir el financiamiento en malas acciones de conservación. Por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar la eficacia de las obras de conservación de suelos realizadas en la mixteca baja de Puebla, teniendo en cuenta su efecto sobre los procesos erosivos y repercusiones socioeconómicas, culturales y ambientales.

Materiales y Métodos

Se realizaron salidas de reconocimiento para ubicar y georreferenciar las obras de conservación de suelo establecidas con el proyecto de Compensación Ambiental por cambio de uso de suelo ejecutado por el gobierno federal; se seleccionaron 2 parcelas con barreras de piedra y zanjas bordo, y, en ausencia de una línea base que permitiera la comparación de un antes y un después, se utilizaron áreas no influenciadas por prácticas de conservación, con las mismas condiciones de las que si cuentan con estas medidas (sitios control).
Cada parcela se caracterizó ambientalmente (material parental, precipitación anual, pendiente, altitud, vegetación, tipo de relieve, evidencia de erosión) y edafológicamente (profundidad, textura, drenaje, compactación, gravas, color, presencia de raíces, grietas, etc.) en base a la metodología establecida por Ruiz *et al* en 1999.
En cada parcela se describió un perfil de suelo (Siebe *et al*., 1996) y se estimó la pérdida de suelo durante la temporada de lluvias, empleando la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) (toneladas por hectárea al año) (FAO, 1980). La comparación entre sitios control y las parcelas con medidas de conservación, se realizó con un análisis de varianza y se realizó una comparación de medias mediante el criterio Tukey ($p \leq 0.05$), de igual forma se aplicó un análisis de correlación de Pearson, para establecer la correlación entre la precipitación y las pérdidas de suelo ($p \leq 0.05$).

Resultados y Discusión

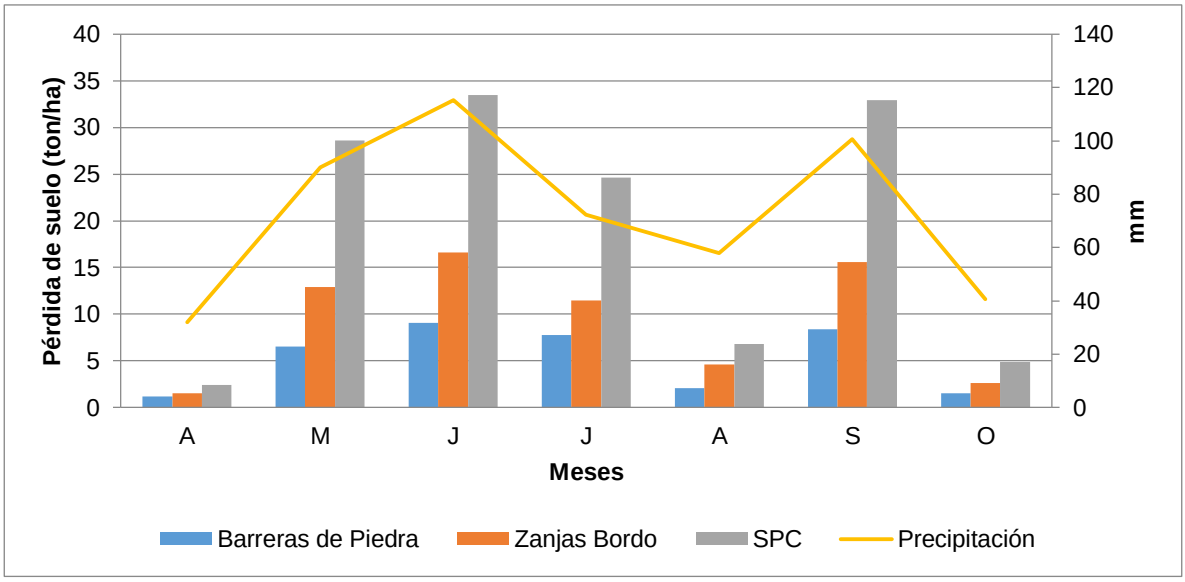
En el Cuadro 1 se observan las características biofísicas de las parcelas evaluadas. De manera general se muestra que la zona litológicamente se encuentra sobre calizas, con suelos someros desarrollados en laderas con pendientes máximas de 60% de inclinación, bajo vegetación de matorral espinoso fuertemente degradado, debido a la constante deforestación para la introducción de agricultura de temporal y de riego y ganadería. Se observa erosión acelerada de los suelos, y abundantes afloramientos rocosos en la zona de estudio.

Cuadro 1. Características biofísicas de las parcelas evaluadas

	Barreras de Piedra	Zanjas Bordo	Sin prácticas de conservación
Roca madre	Calizas	Calizas	Calizas
Tipo de suelo (WRB, 2016)	Leptosol	Leptosol	Leptosol
Vegetación	Matorral espinoso (Huizache, nopal, mezquite)	Matorral espinoso (Mezquite, cactáceas)	Matorral espinoso (Mezquite, nopal)
Pendiente (%)	60	25	30
Profundidad del suelo (cm)	20	30	15
Erosión	10 % suelo desnudo, erosión difusa.	40% suelo desnudo, compactación	80 % suelo desnudo, con abundantes afloramientos rocosos
Textura	Franco limosa	Franco arcillo limosa	Franco limosa
Densidad aparente (gr/cm^3)	1.023	1.004	1.103

La precipitación total medida en el período de lluvia de la zona de estudio fue de 508.8 mm, siendo los meses con mayor precipitación junio (115.2 mm) y septiembre (100.6 mm). En la gráfica 1, se observa que, al aumentar la cantidad de lluvia precipitada, se incrementa el arrastre del suelo; de tal manera que los más altos valores de pérdidas de suelo se presentaron en las parcelas que se encuentran sin medidas de conservación, registrándose las pérdidas más elevadas en el mes de junio con 34 ton/ha, seguido de septiembre y mayo (32 ton/ha y 28 ton/ha, respectivamente). Los valores más bajos de erosión se presentaron en las parcelas con barreras de piedra acomodada en los meses de agosto y septiembre. La comparación estadística aplicada demostró que existe diferencia significativa ($\alpha<0.05$) entre todas las parcelas y el análisis de correlación de Pearson entre la precipitación y la pérdida de suelo fue de 0.98 ($\alpha<0.05$), demostrando la alta correlación que existe entre estas dos variables.

En cuanto a los factores que favorecen la erosión en la zona de estudio, especial atención merece el grado de la pendiente, ya que es un factor determinante para dinamizar el proceso erosivo en condiciones de deforestación, a esto se suma el hecho que las precipitaciones se concentren en tan sólo unos meses, teniendo un carácter altamente erosivo al presentarse de manera torrencial. Por lo que es indispensable que el gobierno siga generando apoyos para aplicar medidas de conservación de suelo, además de dar un constante mantenimiento a las ya existentes y, finalmente, monitorear la efectividad de los programas aplicados, para mejorar e incrementar la eficiencia de las prácticas de conservación que elaboran en zonas vulnerables ante el cambio climático.



Gráfica 1. Pérdidas de suelo por erosión

Conclusiones

Las pérdidas de suelo registradas fueron mayores en las parcelas que no cuentan con medidas de conservación, alcanzando valores máximos de hasta 34 ton/ha en la temporada de lluvias. La medida de conservación que resultó más eficiente para retener el arrastre del suelo bajo las condiciones evaluadas son las barreras de piedra acomodada, las cuales mantienen la perdida de suelo dentro de los máximos permisibles (<10 ton/ha). Las zanjas bordo detienen el proceso erosivo en un 60%, sin embargo, los valores de suelo arrastrado superan las 16 toneladas por hectárea, por lo que no resultan ser muy eficientes, se recomienda la asociación de otra práctica que aumente su efectividad, como son colocar barreras vivas. Los resultados encontrados demuestran la prioridad de aumentar la superficie con medidas de conservación en la zona evaluada, así como la necesidad de realizar trabajos de mantenimiento a las existentes e incluso asociar nuevas prácticas de conservación que aumentan la efectividad de las zanjas bordo. Finalmente, es importante el monitoreo constante de las prácticas colocadas, para demostrar con datos confiables la eficiencia con la que se están desarrollando, y al mismo tiempo mejorar los programas gubernamentales de apoyo a la conservación de los recursos naturales a las zonas más vulnerables ante el cambio climático.

Referencias

Abdurrahman, H., B. Fatih, M. Fatih and Y. Mustafa. 2004. Reclamation of saline-sodic soils with gypsum and MSW

CONAFOR. 2014. Línea Base de Degradación de Tierras y desertificación. CD-Room.

Cotler, H., Cram, S., Nartínez, S. y Bunge V. 2015. Evaluación de prácticas de conservación de suelos forestales en

México: caso de las zanjas trincheras. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, Núm. 88, 6-18 pp.

CONABIO, 2011. La Biodiversidad en Puebla: estudio de caso. México, 442 pp.

FAO, 1980. FAO. (1980) "Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos". Roma.

INEGI. (2000) "Síntesis Geográfica del estado de Puebla y anexo cartográfico". Libro electrónico. México.

NOM-021-RECNAT-2000. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, Muestreo y Análisis. SEMARNAT, 78 p.

Ruiz, C. J., E. Calderón, V. Tamariz, Tremols, G. J., Cruz, M. A., Valera, P. M. A. Handal, S. A. 1999. "Manual para la descripción de perfiles de suelos y evaluación del entorno". Textos BUAP. Puebla, México, pp. 62.

Siebe, C., J. Reinhold y K. Stahr (1996), Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C., Publicación Especial, núm. 4, México.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

LA DEGRADACIÓN DEL SUELO EN EL MARCO DEL MANEJO DE CUENCAS: ESTUDIO DE CASO

Loredo-Osti, C.[1*]; Velázquez-Mendoza, D. S.[1]; Lara-Mireles, J. L.[1]; Casiano-Domínguez, M.[2]; Beltrán-López, S.[1]; Ávalos-Lozano, J.A. [1]; Woo-Reza, J. L.[1]

[1] **Facultad de Agronomía y Veterinaria; Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México**
[1] **Estancia Posdoctoral 2018-2019 en el Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias de la UASLP**

*Autor responsable: catarina.loredo@uaslp.mx; Álvaro Obregón Núm. 64, Col. Centro, San Luis Potosí, S. L. P., México. CP 780000; Tel. +52(444)-8524057 Ext 8.

Resumen

El concepto de cuenca es utilizado para designar un territorio, región o zona, cuya característica principal es que el agua de lluvia que cae en esa superficie escurre hacia un cauce común que desemboca en un afluente más grande, en una laguna o en el mar (Sánchez *et al*., 2003). En la cuenca existen factores ecológicos, climatológicos, hidrológicos, sociales, económicos, culturales, etc. que se interrelacionan entre sí, por lo cual cada cuenca tiene su propia dinámica. Ahora, cuando el deterioro del recurso suelo es acelerado y la sociedad tiene mayor interés en este problema, el concepto de cuenca y microcuenca como unidad de estudio y manejo, puede ser estratégico. Los objetivos de este trabajo fueron caracterizar los recursos de la microcuenca Palomas, Armadillo de los Infante, S. L. P., evaluar el riesgo a la erosión hídrica y realizar una propuesta de manejo. Se generó una base de datos vía digitalización de mapas temáticos sobre edafología, uso actual y uso potencial; con el apoyo de un sistemas de información geográfica y el uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos se estimó el riesgo a la erosión hídrica. Con esta información se integró una propuesta de manejo. Para las tierras de agostadero que corresponden a las clases V a la VII, se propuso el manejo de pastizales, lo cual incluye ajuste de la carga animal a 264 UA en 3,988 ha. En tierras no agrícolas donde existe profundidad de suelo y pendiente mayor a 15%, se recomendó la construcción de tinas ciegas, las cuales ayudan a la recarga de los mantos acuíferos además de mantener la humedad en el suelo y fomentar el desarrollo de la vegetación para disminuir la velocidad de los escurrimientos. Para las tierras agrícolas se identificaron prácticas agronómicas, vegetativas y mecánicas, como labranza reducida, rotación de cultivos y terrazas de formación sucesiva.

Palabras clave

Cuenca, microcuenca, erosión hídrica, propuesta de manejo.

Introducción

Una cuenca hidrográfica es toda área limitada por un parteaguas y drenada por una corriente o por un sistema de corrientes, cuyas aguas concurren en un punto de salida (CPCH, 1977). Es un concepto utilizado para designar un territorio, región o zona, cuya característica principal es que el agua de lluvia que cae en esa superficie escurre hacia un cauce común que desemboca en un

afluente más grande, en una laguna o en el mar (Sánchez *et al*., 2003). En la cuenca existen factores ecológicos, climatológicos, hidrológicos, sociales, económicos, culturales, etc. que se interrelacionan entre sí, por lo cual cada cuenca tiene su propia dinámica (Loredo *et al.*, 2007). La microcuenca es una parte de la cuenca y es considerada la unidad de planeación y programación de acciones, donde se pueden desarrollar y coordinar los servicios integrados de las instituciones (CIAT, 1999).

El suelo es un recurso natural básico; es un sistema dinámico, compuesto de materiales orgánicos y minerales; sus propiedades se deben al efecto integrado del clima y los organismos vivos que actúan sobre el material parental, en determinado período de tiempo (Porta, 2003). Sirve de soporte para el crecimiento de las plantas, microorganismos edáficos, micro y meso fauna; regula el destino del agua en el ciclo hidrológico y es un sistema reciclador de nutrimentos y residuos orgánicos.

Actualmente, cuando el deterioro del recurso suelo es acelerado y la sociedad tiene mayor interés en este problema, el concepto de cuenca y microcuenca como unidad de estudio y manejo, puede ser estratégico (Loredo *et al.*, 2007). La erosión hídrica es el proceso dominante de degradación del suelo en las zonas semiáridas. Se define como el proceso físico que consiste en el desprendimiento, transporte y depositación de las partículas del suelo. Los procesos erosivos, no son de carácter local, sino más bien regional, de acuerdo a los principios que regulan las cuencas hidrográficas (Brooks et al., 1991). Desde el punto de vista del manejo y conservación del suelo, la finalidad del manejo de microcuencas es identificar y manejar los problemas del terreno y el agua en forma conjunta, a fin de controlar el escurrimiento superficial y reducir el riesgo a la erosión hídrica.

Para estimar el riesgo a la erosión y realizar planes de manejo y conservación que mantengan la productividad de la tierra se ha utilizado la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) (Bravo *et al*., 2009). Ésta es un modelo empírico que predice la pérdida anual promedio de suelo originada por erosión laminar y en surcos sin considerar a la erosión en cárcavas (Wischmeier y Smith, 1978). La aplicación de este modelo está limitada por la disponibilidad de bases de datos representativos de cada factor de la ecuación. Su expresión es la siguiente: A=RKLSCP; donde: A = Pérdida de suelo (ton ha^{-1} $año^{-1}$); R = Erosividad de la lluvia [MJ mm $(ha\ hr\ año)^{-1}$]; K = Erosionabilidad del suelo (ton hr^{-1} MJ mm); L = Factor asociado a la longitud de la pendiente; S = Factor por grado de pendiente; C = Factor por cubierta vegetal; y, P = Factor por prácticas de manejo. LSCP son adimensionales. En las últimas décadas, este modelo se ha integrado con los SIG para estimar la erosión esperada a una escala regional o de cuenca (Mellerowics *et al*., 1994). En México se han realizado varios estudios (Loredo *et al*., 2007; Flores *et al*., 2002). Los objetivos de esta presentación son dar a conocer un estudio de caso llevado a cabo en la microcuenca Palomas en San Luis Potosí, México donde se realizó lo siguiente: caracterización de los recursos de la microcuenca; evaluación del riesgo a la erosión hídrica y propuesta de manejo.

Materiales y Métodos

La microcuenca Palomas pertenece al municipio Armadillo de los Infante, S.L.P.; se localiza entre las coordenadas 22°15’22’’- 22°22’16’’Latitud Norte, 100°44’20’’-100°49’52’’Longitud Oeste y 2000 msnm. Cuenta con una superficie de 6,206 ha y las localidades que la integran son las siguientes: La Joyuela, San Elías, Contrayerba, Los Charcos, El Tanquecito, El Valle de Palomas y San Antonio de Eguía. El clima es seco estepario templado, con una temperatura media anual de 18.3°C, precipitación anual es de 313.1 mm; el período de lluvias inicia en el mes de junio y

finaliza en octubre; la precipitación máxima en 24 horas se registra en el mes de septiembre con 94.0 mm.

El proceso consistió en delimitar la microcuenca y obtener mapas temáticos sobre fisiografía, edafología, uso actual y uso potencial del suelo tomando como base cartografía de INEGI y el modelo de elevación digital escala 1:50000 (INEGI, 1978; 2005), usando el software ARC/INFO™ estación de trabajo y ARCVIEW™; obteniendo las bases de datos de cada tema. Para la predicción de riesgo a la erosión, fueron realizadas superposiciones de las diferentes capas, obteniendo mapas de riesgo potencial a la erosión hídrica, erosión actual y erosión esperada, con el apoyo de Sistemas de Información Geográfica y el modelo de predicción de pérdidas de suelo EUPS, de acuerdo a las siguientes categorías: riesgo de erosión ligera (pérdida de suelo < 10 ton ha^{-1} $año^{-1}$), moderada (10-50 t ha^{-1}), alta (50-200 t ha^{-1}) y, muy alta (>200 t ha^{-1}). La erosividad de la lluvia se obtuvo mediante la ecuación propuesta por Cortés (Figueroa *et al.*, 1991) correspondiente a la Región IV: $Y=2.89594x+0.002983x^2$, donde "Y" corresponde al índice de erosividad y "x" representa la precipitación media anual. Para la selección de las prácticas se consideraron las recomendaciones recopiladas por Loredo (2005).

Resultados y Discusión

Suelos

Los suelos predominantes son del tipo litosol (solo o asociado a otras unidades); en segundo se encuentran los suelos tipo feozem lúvico y en tercer lugar los tipo kastañozem (Cuadro 1).

Cuadro 1. Unidades de suelo de la microcuenca Palomas, Armadillo de los Infante, S. L. P.

Tipo	Descripción	Área (ha)	Porcentaje (%)
Kl/2	Kastañozem luvico textura media	555.21	8.94
Hl+le/2a	Feozem luvico asociado con Litosol eutrico textura media	777.35	12.52
Ie/2	Litosol eutrico textura media	4175.44	67.26
Ie+Kl/2	Litosol eutrico asociado con Kastañozem luvico textura media	50.17	0.81
Ie+Xk/2	Litosol eutrico asociado con Xerosol cálcico textura media	607.68	9.79
Xh/2	Xerosol haplico textura media	41.77	0.67

Vegetación y uso actual del suelo.

Con relación a vegetación y uso del suelo (Cuadro 2), en la mayor parte de la cuenca se practica la ganadería extensiva; la vegetación dominante es pastizal natural, solo o asociado a otros tipos de vegetación tales como el chaparral y el matorral crasirosulifolio.

Uso potencial del suelo

El uso potencial de las tierras se refiere al uso intensivo que puede soportar el suelo, garantizando una producción agropecuaria sostenida y una oferta permanente en el tiempo de bienes y servicios ambientales, sin deteriorar los recursos naturales. Sólo las clases I-IV tienen aptitud para uso agrícola incrementándose el grado de restricción conforme se incrementa el número de clase, de tal forma que las tierras de clase IV presentan serias limitaciones para su cultivo. La microcuenca "Palomas" tiene vocación pecuaria y recreacional ya que más de la mitad de la superficie corresponde a las clases VII y VIII (Cuadro 3).

Erosión potencial y actual

Erosión potencial es la que se produciría si se elimina completamente la cubierta vegetal sin afectar al resto de parámetros de la EUPS. En la microcuenca, la evaluación del riesgo potencial a la erosión hídrica indica que en 80% de la superficie la erosión potencial se encuentra por debajo de los límites permisibles de erosión (10 t ha^{-1} $año^{-1}$); la erosión moderada representa 10.59%; solamente 4.47 % del terreno presenta riesgo de erosión alto (50 a 200 t ha^{-1} $año^{-1}$). Al considerar el factor por cubierta vegetal se estimó la erosión actual y se observó que la mayor parte de la microcuenca presenta erosión de leve a moderada, debido al tipo de cubierta permanente de gramíneas.

Cuadro 2. Tipos de vegetación y uso actual del suelo de la microcuenca Palomas, Armadillo de los Infante, S. L. P.

Vegetación o uso	Descripción	Superficie	
		(ha)	%
AtpA	Agricultura de Temporal Anual	568.45	9.26
Pn	Pastizal Natural	1156.49	18.83
Pn-CR	Pastizal Natural asociado a otros tipos de vegetación	2076.81	33.82
CR	Crasi-Rosulifolio	11.00	0.18
CR-Iz	Crasi-Rosulifolio-Izotal	151.76	2.47
CR-No	Crasi-Rosulifolio-Nopalera	438.90	7.15
Ch	Chaparral	130.06	2.12
Ch-CR	Chaparral-Crasi-Rosulifolio	131.35	2.14
Ch-Pn	Chaparral-Pastizal Natural	8.30	0.14
Me	Matorral Espinoso	416.80	6.79
Me-No	Matorral Espinoso-con otra vegetación	337.95	5.50
Mi-No	Matorral Inerme-Nopalera	438.59	7.14
No-CR	Nopalera-Crasi-Rosulifolio	186.80	3.04
No-Me-CR	Nopalera-Matorral Espinoso-Crasi-Rosulifolio	62.69	1.02
Eh	Erosión Hídrica	24.68	0.40

Cuadro 3. Clasificación de tierras por capacidad de uso en la microcuenca Palomas.

Clase de capacidad de uso de la tierra	Superficie(ha)	(%)
III/c limitada por clima	52.61	0.85
IV/s limitada por suelo	38.94	0.63
V/st limitada por suelo y topografía	14.68	0.24
VI/sce limitada por suelo, clima y topografía	995.26	16.03
VII/s limitada por suelo	1794.85	28.92
VIII	3310.40	53.34

Prácticas de manejo

Para las tierras de agostadero que corresponden a las clases V a la VII, se propuso el manejo de pastizales, lo cual incluye ajuste de la carga animal a 264 UA en 3,988 ha. En tierras no agrícolas donde existe profundidad de suelo y pendiente mayor a 15%, se recomendó la construcción de tinas ciegas, las cuales ayudan a la recarga de los mantos acuíferos además de mantener la humedad en el suelo y fomentar el desarrollo de la vegetación para disminuir la velocidad de los escurrimientos. Para las tierras agrícolas se identificaron prácticas agronómicas, vegetativas y mecánicas, como labranza reducida, rotación de cultivos y terrazas de formación sucesiva.Estos escenarios fueron

presentados en diferentes foros y en cursos de capacitación ofertados a productores. Los resultados de este estudio se integraron al Plan Rector. Con recursos de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos (SEDARH), la Comisión Nacional de las Zonas Áridas (CONAZA), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y la participación entusiasta de los productores a partir del año 2003 se integró un comité para desarrollar un *Plan Rector de Producción y Conservación* para establecer un ordenamiento en el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales y actividades de beneficio productivo para la comunidad.

Conclusiones

Utilizando a la cuenca como marco de referencia, con el uso de la EUPS se identificaron las superficies con riesgo potencial y actual a la erosión hídrica, así como la erosión esperada con manejo de cobertura y prácticas mecánicas en la microcuenca Palomas. Más del 75% de la superficie de la microcuenca tiene un riesgo potencial bajo de pérdida de suelo. Con la participación activa de los productores y la intervención de diversas instituciones fue posible definir acciones prioritarias para el manejo de los recursos agua, suelo y vegetación. Esta información se integró al Plan Rector de la microcuenca "Palomas", donde se han realizado prácticas mecánicas y manejo de la cobertura. Falta evaluar el impacto de dichas acciones.

Agradecimientos

Al Fondo sectorial CONACYT-CONAFOR por el financiamiento del proyecto 2002-6320: "Evaluación de tierras para el manejo integrado de 32 microcuencas hidrológicas en San Luis Potosí" desarrollado por el INIFAP donde se obtuvo la información cartográfica de riesgo a la erosión.

Referencias

Bravo, E.M., E. Mendoza, L.E. Medina. 2009. Escenarios de erosión bajo diferentes manejos agrícolas en la cuenca del lago de Zirahuén, Michoacán, México. Invest. Geog [online]. 2009, n.68, pp.73-84. ISSN 2448-7279.

Brooks, K. N., P. Ffolliot, F., H. Gregersen M. and J.Thames L. 1991. Hydrology and the Management of Watersheds. Iowa State University Press/Ames. 392 p.

Colegio de Postgraduados de Chapingo. 1977. Manual de Conservación del Suelo y Agua. Instructivo. SARH-SPP. Chapingo, México. 248 p.

Figueroa, S. B., Amante O. A., Cortés T. H. G., Pimentel L. J., Osuna C. E. S., Rodríguez O. J. M. y Morales F. F. J. 1991. Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. SARH. Colegio de Postgraduados. Centro regional para estudios de zonas áridas y semiáridas. 159 pp.

Flores, L., H. E., M. Martínez, J. L. Oropeza, E. Mejía y R. Carrillo. 2002. Integración de la EUPS a un SIG para estimar la erosión hídrica del suelo en una cuenca hidrográfica de Tepatitlán, Jalisco, México. Terra Latinoamericana 21(2) 233-244.

INEGI. 1978. Cartas F14A-84, F14A-85, Topografía, Edafología, Uso actual y vegetación, Uso Potencial (escala 1:50,000).

INEGI. 2010. Censo de población y vivienda.

Loredo-Osti C., S. Beltrán López, F. Moreno Sánchez, M. Casiano Domínguez. 2007. Riesgo a la Erosión Hídrica y Proyección de Acciones de Manejo y Conservación del Suelo en 32 Microcuencas de San Luis Potosí. Libro Técnico No. 3.INIFAP-CIRNE-Campo Experimental San Luis. San Luis Potosí, S.L.P. México. 209 p.

Loredo-Osti, C. 2005. Prácticas para la conservación del suelo y agua en zonas áridas y semiáridas. INIFAP-CIRNE-Campo Exp. San Luis. Libro técnico No. 1. San Luis Potosí, S.L.P. México. 187 p.

Mellerowics, K. T., H. W. Rees, T. L., I. Ghanem. 1994. Soil conservation planning at the watershed level using the universal Soil Loss Equation with GIS and microcomputer technologies: a case study. J of Soil and Water Conservation 49 (2) 194-200.

Porta, J.; López-Acevedo, M. y Roquero, C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3a edición. Mundi-prensa. 929 pp.

Wischmeier, W. H. and Smith, D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning, USDA Agric. Handbook 537.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

CUENCA HIDROLÓGICO-FORESTAL SAN JOSÉ DEL CABO: AMENAZAS AL ECOSISTEMA Y A LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS POR EROSIÓN Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Maya-Delgado, Y.[1*]; Troyo-Diéguez, E.[1]; Argueta-Arriaga, A.[1]

[1]Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S. México.

*Autor responsable: ymaya04@cibnor.mx; Instituto Politécnico Nacional 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, B.C.S. México. CP 23096; Tel. +52(612)-123-8480

Resumen

La cuenca de San José en Baja California Sur, en cuya desembocadura se localiza la ciudad turística de San José del Cabo y su icónico oasis, tiene una gran importancia ecológica y económica para el estado. En la región es común que se descarguen grandes volúmenes de agua en cortos periodos de tiempo y con energía suficiente para desprender y transportar una cantidad considerable de materiales. El aumento en el volumen tanto de las tormentas estivales debido al cambio climático como el de los sedimentos transportados amenazan a la ciudad y al oasis, por lo que es urgente tener información básica para implementar un plan de manejo. Por la clasificación supervisada de imágenes numéricas LANDSAT ETM+ se generó un mapa de uso de suelo y vegetación. Con los datos colectados en campo se creó un mapa de suelos con base en su textura, consistencia de los agregados y profundidad. De acuerdo con los resultados, los suelos de la cuenca son muy arenosos y tienen poca materia orgánica, lo que produce agregados frágiles e inestables muy susceptibles a la erosión, aunque tienen buena infiltración y capacidad de almacenamiento de agua. Un análisis temporal sobre los cambios en la superficie de los pisos de arroyo mostró un incremento de alrededor del 50%, lo que advierte sobre el riesgo que constituye el aporte de sedimentos para la ciudad y el oasis.

Palabras clave

Clasificación supervisada; erosión; aporte de sedimentos; cambio de uso del suelo

Introducción

La cuenca de San José es una zona de gran importancia para el sur de la península de Baja California, en parte por formar parte de uno de los polos turísticos del país, pero también por la recarga de acuíferos subterráneos de los que dependen todas las actividades de la región. Debido principalmente a actividades como el desarrollo de infraestructura turística, la ganadería extensiva y a las características del suelo, se ha generado un aumento en la degradación del recurso edáfico, que se evidencia en la disminución de la cubierta vegetal, el aumento en el aporte de sedimentos a los cauces de los arroyos y el deterioro del paisaje. De ahí la importancia de realizar estudios acerca de la problemática y riesgos que presenta la cuenca y la necesidad de hacer un inventario y diagnóstico del recurso suelo.

Materiales y Métodos

La cuenca de San José tiene una extensión superficial de 1275 km^2. Se localiza en el extremo sur de la península de Baja California, al noroeste de la República Mexicana. Está formada por el arroyo San José, que corre de norte a sur, y sus arroyos tributarios. Al occidente está formada por la vertiente oriental de la sierra La Laguna, que alcanza los 2050 m de altitud, y al oriente por la vertiente occidental de la sierra La Trinidad, con 800 m de altitud.

Distribución de los suelos

Con el fin de crear una base de cobertura vegetal se generó un mapa de uso de suelo y vegetación utilizando el procedimiento de clasificación supervisada por el método de máxima verosimilitud. Para ello se crearon las firmas espectrales de diferentes clases a partir de polígonos de entrenamiento delimitados sobre una imagen de composición en falso color formada por la combinación de bandas espectrales 2, 3 y 4. Las clases fueron: matorral, selva, bosque, arroyos, palmar y zonas erosionadas. Como resultado se generó la clasificación de uso de suelo de la cuenca pixel por pixel.

Con base en la carta topográfica y el nuevo mapa de uso del suelo y vegetación se determinaron los sitios de descripción y muestreo de suelos, los cuales se realizaron en pozos a cielo abierto. La descripción se hizo hasta una profundidad no mayor de 1.20 m cuando esto fue posible como en los arroyos, o hasta donde se encontraba una fase física limitante como roca en las laderas de las sierras. Los datos tomados en campo fueron básicamente sobre las características morfológicas del suelo que son necesarias para su clasificación. Las muestras tomadas de cada capa se transportaron al laboratorio de Edafología del CIBNOR, en donde se realizaron diversos análisis para obtener datos de características físico-químicas del suelo como textura, contenido de materia orgánica, conductividad eléctrica y fertilidad.

A partir de la descripción morfológica y los resultados de los análisis de laboratorio se generó el mapa de distribución de los tipos de suelo del área con base en su textura, consistencia de los agregados y profundidad. Para ello se definieron 4 diferentes clases de suelo dentro de la cuenca: (a) suelos de textura gruesa y nulo desarrollo de los agregados, con profundidades de 50 a 100 cm o más; (b) suelos de de textura gruesa y desarrollo de los agregados moderado, con profundidades de 50 a 100 cm o más; (c) suelos de textura media y desarrollo de agregados débil, con profundidades de 0 a 25 cm; (d) suelos de textura gruesa y desarrollo de los agregados moderado, de 25 a 50 cm de profundidad.

Cambios en el uso del suelo de la cuenca

Con el fin de conocer los cambios en el uso del suelo de la cuenca en el periodo entre 2000 y 2016 se realizó una clasificación supervisada de imágenes numéricas ETM+, siguiendo la misma metodología anteriormente descrita. Las clases fueron: (a) estero, (b) presa, (c) desarrollo turístico, (d) palmar, (e) poblado. (f) arroyo, (g) agricultura y (h) agostadero.

Resultados y Discusión

Distribución de los suelos

En la figura 1 se presenta el mapa de distribución de los suelos. Se puede observar que en general dominan las texturas gruesas, debido a que el material parental es rico en minerales primarios resistentes como el cuarzo. Aunque en las zonas montañosas se encontraron texturas medias, las pendientes fuertes causan inestabilidad y pérdida constante de materiales, por lo que los suelos son delgados y el desarrollo de los agregados débil. Se encuentran en las laderas de las sierras en donde la presencia de vegetación es escasa y existe mayor cantidad de afloramientos rocosos.

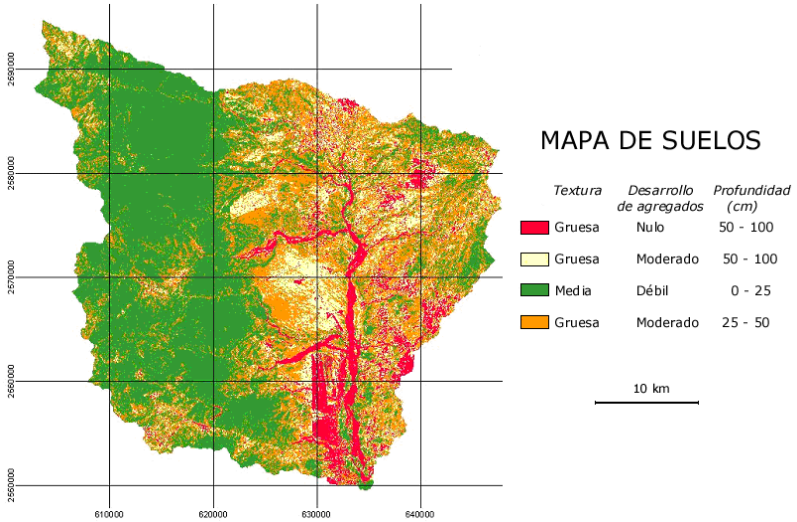


Figura 1. Mapa de distribución de los suelos con base en la textura, desarrollo de los agregados y profundidad

En los arroyos dominan los suelos profundos de texturas gruesas, en los que las partículas están sueltas debido a la dinámica de estas geoformas, en donde es constante la remoción y depósito de material. Este tipo de suelo se localiza principalmente en el cauce principal del Arroyo San José y sus tributarios, siendo éstos el lugar de depósito de materiales provenientes de zonas más elevadas de la cuenca

Existen algunas llanuras en las que se encontraron suelos profundos y con agregados con desarrollo moderado a pesar de tener texturas gruesas, debido a las condiciones estables de estas geoformas, que tienen buena cobertura vegetal y poca pendiente. Se encuentran principalmente en la zona de las mesas en las faldas de la Sierra de La Laguna, así como en zonas de acumulación como valles y cañadas. Hay algunas zonas de lomeríos en los que se encontraron suelos de textura gruesa y desarrollo moderado de los agregados, aunque limitados en profundidad por roca. Se encuentran distribuidos en el valle del arroyo San José y en algunas zonas de poca pendiente de la sierra La Laguna.

La textura gruesa predominante en los suelos de la cuenca se debe a que se originan de roca granítica, la cual es rica en minerales resistentes como el cuarzo. Debido a sus texturas arenosas estos suelos son muy vulnerables a la erosión, más aún si se encuentran en áreas de fuerte pendiente (Maya-Delgado, 1988; Argueta-Arriaga, 2009). El tipo de erosión más importante en la cuenca es la hídrica por las condiciones climáticas, que producen que se descarguen grandes volúmenes de agua en cortos periodos de tiempo y con energía suficiente para remover grandes volúmenes de materiales.

Cambios en el uso del suelo de la cuenca

Los mapas resultantes del uso del suelo se presentan en la figura 2. La mancha urbana se extendió unas 1273.5 ha, como consecuencia del crecimiento poblacional de la ciudad de San José del Cabo, que de acuerdo con los censos de 2000 y 2015 aumentó casi tres veces, de 32102 a 93069 habitantes respectivamente. Este aumento poblacional, y por ende de demanda de recursos, se establece como una de las presiones más importantes en la cuenca.

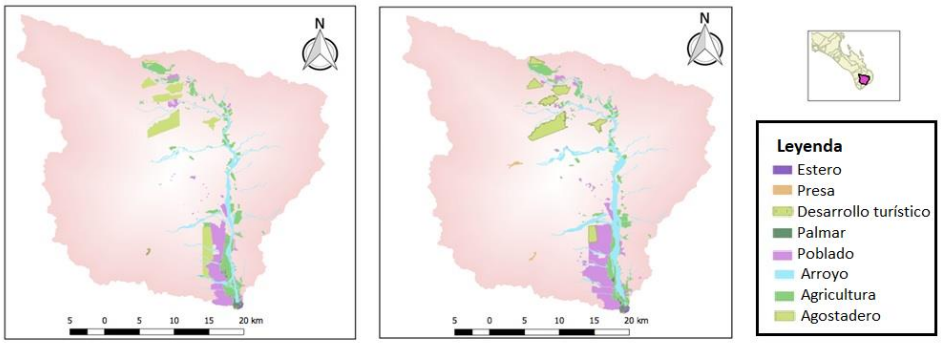


Figura 2. Uso del suelo en la cuenca San José. (a) 2000; (b) 2016

De acuerdo con los resultados la superficie agrícola disminuyó 227 ha. Esto último se debió a los terrenos de cultivo que quedaron sepultados por los sedimentos en el periodo de estudio.

En la figura 3 se presenta el aumento en superficie de los pisos de arroyo ocurrido en el periodo 2000 - 2016 (2256 ha y 3968 ha respectivamente). Este importante aumento de alrededor del 50% en el aporte de sedimentos señala el gran riesgo que corre toda la región que se encuentra en la desembocadura de la cuenca, que es precisamente en donde se localizan la ciudad de San José del Cabo y el oasis Estero de San José.

La deforestación realizada con diversos objetivos como la apertura de caminos, el desarrollo de asentamientos humanos, infraestructura turística, etc., ha resultado en la erosión del suelo como un impacto ambiental acumulativos, definido éste como el incremento resultante de impactos producidos por acciones particulares ocasionados por la interacción con otros eventos que se efectuaron en el pasado o que están ocurriendo en el presente. Ejemplos de este impacto ambiental son el aumento en la superficie de los pisos de arroyo, que tienen como consecuencia que el agua rebase el límite de los arroyos cuando ocurren grandes avenidas, ocasionando inundaciones e incluso que infraestructura urbana quede sepultada, así como el azolve del oasis Estero de San José.

Conclusiones

Los suelos de la cuenca de San José tienen alta susceptibilidad a ser erosionados debido a que tienen un alto contenido de arenas y poca materia orgánica, que se traduce en poca agregación de las partículas y por lo tanto agregados frágiles e inestables. Por otra parte, tienen buena infiltración y capacidad de almacenamiento de agua. El aumento en la superficie de los arroyos en un periodo tan corto como son 16 años señala la urgencia de contar con un plan de manejo que sirva para llevar a cabo las acciones necesarias para proteger el ecosistema y sus habitantes.

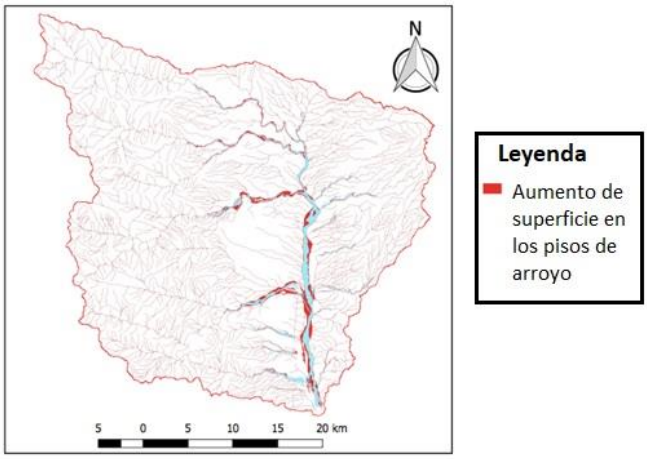


Figura 3. Aumento de superficie en la superficie de los pisos de arroyo entre los años 2000 y 2016.

Agradecimientos

Parte de este estudio se realizó con el apoyo del Proyecto CONAGUA-CONACYT 0249265 “Plan de manejo integrado de la cuenca, acuífero y humedales de San José del Cabo, B.C.S., con indicadores de sustentabilidad hidroambiental y socioeconómica, acorde a la normatividad.

Referencias

Argueta-Arriaga, J.A. 2009. Características de los suelos y distribución de la erosión actual y potencial en la cuenca de San José, Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur.

Maya-Delgado, Y. 1988. Edafología. Cap. 5. En Arriaga, L. y Ortega, A. (eds.). La Sierra de la Laguna de Baja California Sur. Publ. No. 1 del Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur. ISBN 968-29-2308-5. México, D.F. pp. 53-65.

ANÁLISIS DEL DÉFICIT HÍDRICO EN CUENCAS DE ZONAS ÁRIDAS MEDIANTE ÍNDICES HIDRO-CLIMÁTICOS: ESTUDIO DE CASO EN SAN JOSÉ DEL CABO, BAJA CALIFORNIA SUR

Troyo-Diéguez, E.[1*]; Cruz-Falcón, A.[1]; Maya-Delgado, Y.[1]; Mercado-Mancera, G.[2]; Nieto-Garibay, A.[1]; García-Hernández, J.L.[3]; Meza-Trejo, J.L.[1]; Murillo-Amador, B.[1]

[1]Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR). La Paz, Baja California Sur. México 23096.
[2]Universidad Nacional Autónoma de México - FES Cuautitlán. Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx. México 54714.
[3]Universidad Juárez del Estado de Durango – Fac. de Agricultura y Zootecnia. Venecia, Durango. México 35000.

*Autor responsable: etroyo04@cibnor.mx; Calle Instituto Politécnico Nacional Núm. 195, Col. Playa Palo de Santa Rita, La Paz, Baja California Sur. México. CP 23096; Tel. +52(612)-123-8484 Ext. 3442

Resumen

En las zonas áridas de México prevalecen climas muy secos-semicálidos y cálidos, asociados a tendencias extremosas de temperatura (t) y sequedad ambiental. En Baja California Sur, la t máxima en verano sobrepasa los 40 ºC y la mínima oscila de 5 a 12 ºC; sólo en la cuenca de San José del Cabo, BCS, se presenta un clima cálido subhúmedo. Debido a que la precipitación (PP) en dicha cuenca es escasa, oscilando de 280 a 320 mm anuales, los escenarios en condiciones extremas apuntan hacia una acentuación de las sequías, en consecuencia, el manejo adecuado y preservación de los cuerpos de agua adquieren la mayor relevancia. La cuenca hidrológica de San José del Cabo pertenece a la Región Hidrológica 6 Baja California Sur-sureste y abarca una extensión de 1,278 km^2. La delimitan los parteaguas de la Sierra La Laguna y de La Trinidad, cuyos escurrimientos superficiales intermitentes, alimentan el arroyo San José, que descarga en el estero del mismo nombre. Con los valores de t y PP y mediante una modificación escalar del Índice de De Martonne, se calcularon el Índice de Disponibilidad Hidroambiental (IDHA) e Índice de Sequía Hidroambiental (ISHA), así como la Brecha Hídrica Estandarizada (BHE). En dicha cuenca, el máximo valor de BHE (10 unidades), que indica prevalencia de sequía, se observa de febrero a junio, en tanto que el mínimo es cero y numéricamente negativo (-0.18), el cual ocurre en septiembre, mes de alta pluviosidad, cuando ocurren precipitaciones torrenciales, que generan riesgo de inundaciones en la franja costera.

Palabras clave

Balance hídrico; sequía, índice de aridez; noroeste de México

Introducción

En una zona seca, es evidente que la escasez de agua y el consecuente déficit hídrico. proceden principalmente de una errática y menguada o disminuida precipitación. Además, la eficacia del agua en el suelo depende de numerosos factores terrestres, entre los que destaca la evaporación (Mercado-Mancera et al., 2010). Distintos autores utilizan conceptos variados para definir la aridez

climática, por ello, no existe una clara y exacta definición de aridez. Sin embargo, algunos autores emplean una noción más amplia de aridez, a la que denominan aridez paisajística, que se origina cuando la aridez del clima se refuerza por la aridez edáfica, la cual no es fácil de cuantificar; sin embargo, su influencia es decisiva para la agricultura, la cobertura vegetal y el paisaje (Amestoy-Alonso y Amestoy-García, 2009). Díaz-Padilla et al. (2011) propusieron un procedimiento para la elaboración de un mapa actualizado que delimita zonas que se encuentran en algún nivel de condición de aridez en México, al considerar que el 80 % de la evaporación se convierte en evapotranspiración y este indicador se puede considerar como una aproximación al planteado por la FAO basado en el cálculo de Penman-Monteinth.

Los recursos naturales disponibles, agua, suelo, biota y energía interactúan estrechamente con el clima, cuyas variaciones y fluctuaciones pueden modificar las propiedades y atributos del entorno ambiental, que a su vez dependen de la condición hídrica estacional, causando eventualmente procesos de desecación crónica y degradación, incluyendo la erosión y desertificación.

La gestión de los recursos naturales en el noroeste de México y en Baja California Sur (BCS), en el siglo XXI y en el horizonte de un desarrollo perdurable, deberá evaluar la vulnerabilidad de sus ecosistemas frente a diversos escenarios originados por la desertificación y el cambio global, en términos del agotamiento hídrico, degradación, fragmentación del ecosistema y pérdida de recursos. Los factores de cambio incluyen el clima y los patrones de uso del territorio que resultan de las políticas agropecuarias, pesqueras, acuícolas, industriales, turísticas y otras presiones socioeconómicas. La aproximación debe basarse en modelos integrados que permitan diseñar estrategias para una gestión de cambio socioeconómico y ambiental que sea compatible con la explotación y conservación sostenible de los recursos naturales (Del Barrio, 2001).

Casi la totalidad del territorio sudcaliforniano tiene en común un marcado déficit hídrico y evidente aridez, tanto estival como invernal, y un régimen de lluvias con elevado índice de irregularidad y acusada estacionalidad. Los registros de las temperaturas y de las precipitaciones traducen ciertos rasgos generales, pero disimulan los acontecimientos esporádicos que alteran su imagen (Troyo-Diéguez et al., 2008). La cuenca de San José del Cabo, BCS, es seca y semiárida; el presente análisis se centra en la evolución de las precipitaciones en las que se observan los efectos de tormentas tropicales y los ciclos de sequía. Los índices de aridez en esta cuenca del noroeste de la República Mexicana se analizan y se hace especial mención a las sequías, así como a las aportaciones de agua en sus subcuencas que sostienen el desarrollo socioeconómico.

Materiales y Métodos

La cuenca semiárida de San José del Cabo en BCS (Figura 1) fue definida para su análisis, conformada por subcuencas actualmente vulnerables al cambio climático y a procesos de desertificación, dado su perfil termo-pluviométrico y las condiciones de explotación agropecuaria en que se encuentran. De acuerdo con los gradientes de precipitación y oscilaciones de temperatura, el clima en dicha cuenca varía del tipo subtropical seco al semiárido, cuyos gradientes se expresan y delimitan mediante el Índice de De Martonne (1927), con vegetación dominante de tipo selva baja caucifolia, matorral sarcocaule, matorral espinoso y algunas gramíneas anuale, cuyas densidades de población se ven menguadas en las épocas de sequía. Mediante la aplicación del método de zonificación climática desarrollado por FAO-UNESCO (Simota y Dumitru, 2010), las regiones evaluadas corresponden a una zona semiárida.



Figura 1. Cuenca de San José del Cabo BCS, en el sur de la península de Baja California, México.

El acuífero que abastece la cuenca y Cd. de San José del Cabo, BCS, se encuentra en condiciones de sobreexplotación, lo que se refleja en un marcado déficit hídrico, alcanzando una magnitud de -5.91 Mm^3 anuales (DOF, 2018).

Cuadro 1. Disponibilidad de agua subterránea en cuatro acuíferos de Baja California Sur (DOF, 2018).

Código del Acuífero	Estado	Recarga Anual	Desc Natural Comp	Disp. Media Anual
		---------- Mm^3 ----------		
0317 Cabo San Lucas	Baja California Sur	2.70	2.20	-19.03
0319 San José del Cabo	Baja California Sur	35.90	10.80	-5.91
0323 Los Planes	Baja California Sur	9.40	1.00	-4.47
0324 La Paz	Baja California Sur	27.80	0.00	-7.47

Para la cuantificación numérica de la aridez y sequía y su aplicación en la interpretación del balance hidrológico y déficit hídrico, diferentes métodos se han propuesto y utilizado para la delimitación y caracterización de las zonas áridas y semiáridas. El cálculo de la relación PP/t, en mm/°C, es una de las alternativas numéricas que se aplica en este tipo de estudios (Amador-García *et al*., 2011), la cual fue publicada y ha sido referida como el Índice de Lang (Hubálek y Horáková, 1988). Entre los indicadores que se han reportado, el Índice de Martonne (IM) es muy utilizado por su sencillez, requiriendo únicamente datos mensuales de precipitación y temperatura (Amestoy-Alonso y Amestoy-García, 2009); dicho índice se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$IM = (12 * PP)/(t + 10) \quad (1)$$

Donde, PP: precipitación mensual (mm) y t: temperatura media mensual (ºC); 12 es una constante para la aplicación del modelo al análisis de datos mensuales.

Cuando el índice mensual de De Martonne (Ecuación 1) es mayor a 20, se considera un mes

húmedo; si su valor fluctúa entre 10 y 20 corresponde a un mes semi-árido; y un mes árido es aquel cuyo índice es menor a 10. La dificultad en la aplicación del ÍM radica en la escasa posibilidad que presenta para realizar comparaciones de cuencas cuantitativamente similares. Para alcanzar una mayor resolución del índice citado, se realizó un análisis numérico del mismo para incrementar su sensibilidad a un gradiente contrastante de de PP y t, con períodos de precipitación escasa o nula (Mercado-Mancera et al., 2010). Con el propósito de lograr un ajuste apropiado a la ecuación de De Martonne, se modificó a un modelo correlacionado con el déficit hídrico y que fuese sensible a valores bajos de precipitación. Dicho indicador modificado se definió mediante la función:

$$IDHA = Ke\ (12*PP)/(t + 10) \quad (2)$$

Donde: IDHA es el Índice de Disponibilidad Hidroambiental, PP es la precipitación mensual en mm, t es la temperatura media mensual en ºC y Ke es un coeficiente adimensional de ajuste de escala, con valor de 0.193. A su vez, para complementar la condición hídrica a partir del índice IDHA (Ecuación 2), se definió la siguiente relación:

$$ISHA = 10 - IDHA \quad (3)$$

Donde: ISHA es el Índice de Sequía Hidroambiental.

El factor de ajuste Ke en la Ecuación 2 propuesto para modificar el IM fue establecido con valor de 0.193, en virtud de que en las condiciones de aridez de la zona estudio resuelve con mayor sensibilidad numérica a la variación de las sequías. Dichos cálculos se realizaron para cada estación climática analizada de manera individual y en conjunto para la cuenca en estudio.

Resultados y Discusión

En el estado de BCS, la cuenca de San José del Cabo en el sur de la península de Baja California, presenta mayor precipitación que la observada en cuencas circunvecinas (Cabo San Lucas, La Paz y otras), observándose una tendencia a la disminución de las lluvias hacia el norte del estado. El déficit hidrometeórico (evaporación menos precipitación) fue significativo, siendo las localidades de San José del Cabo y de Santa Anita, población vecina ubicada al norte de la Cd. de San José del Cabo, las que presentaron la menor precipitación y el déficit hídrico más acentuado.

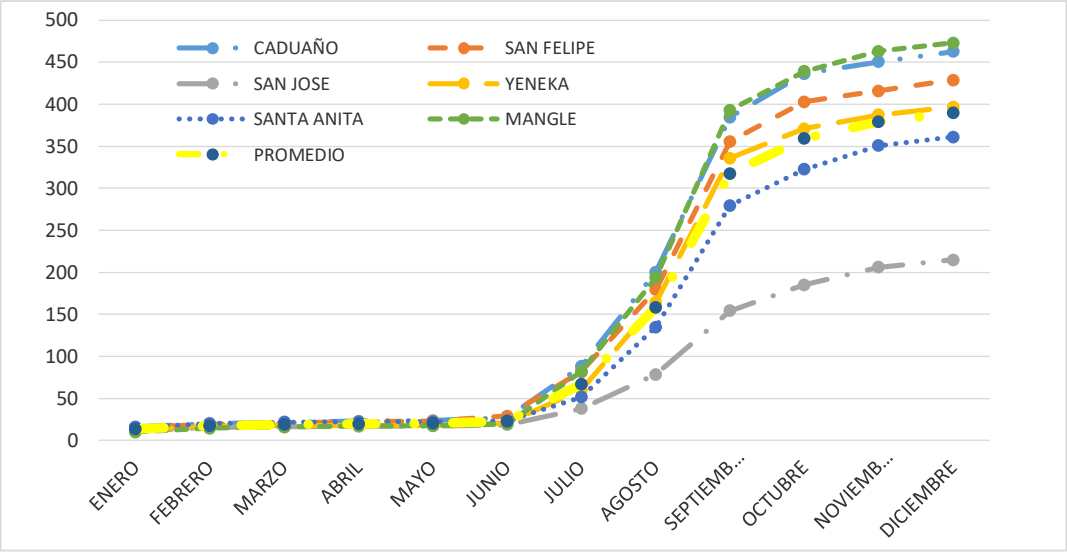


Figura 2. Precipitación en siete estaciones climatológicas dentro de la Cuenca de San José del Cabo, BCS.

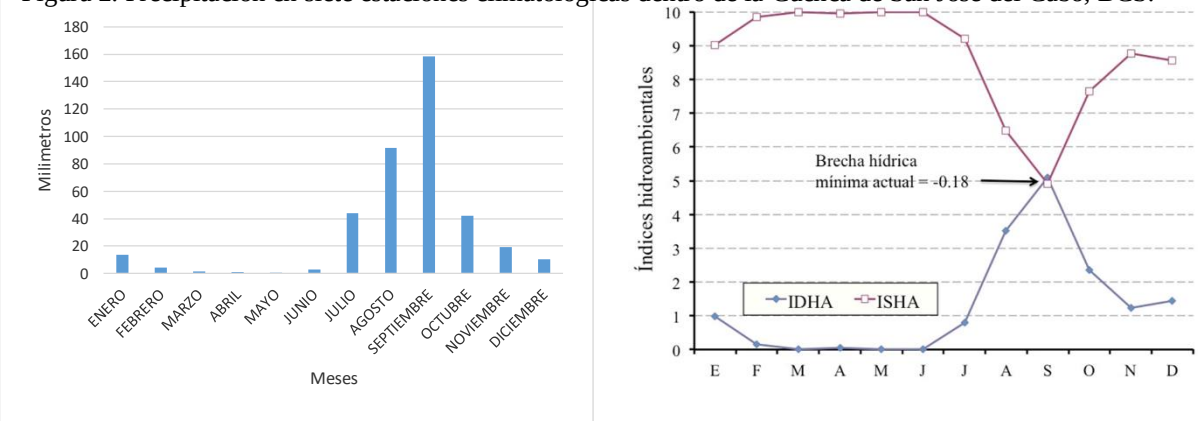


Figura 3. Precipitación media e índices hidro-ambientales de la Cuenca de San José del Cabo, BCS.

Conclusiones

El déficit hidrometeórico (evaporación menos precipitación) fue significativo. El más acentuado correspondió a la estación ubicada en San José del Cabo, al este del corredor turístico del municipio de Los Cabos, uno de los principales polos de desarrollo de BCS. Todas las estaciones presentaron en la mayoría de los meses un valor elevado del indicador ISHA (sequía hidro ambiental), con un promedio en la cuenca de ISHA = 9.0 a 10.0, reflejado en nueve meses del año y con 3 meses de lluvias. La Brecha Hídrica Estandarizada es cero y numéricamente negativa (-0.18) en septiembre

Agradecimientos

Al Fondo Sectorial CONAGUA-CONACYT 2014, por el apoyo financiero otorgado mediante el proyecto 0249265 “Plan de manejo integrado de la cuenca, acuífero y humedales de San José del Cabo, Baja California Sur, con indicadores de sustentabilidad hidroambiental y socioeconómica”.

Referencias

Amador García, A., E. Granados López y M.E. Mendoza. 2011. Three approaches to the assessment of spatio-temporal distribution of the water balance: the case of the Cuitzeo basin, Michoacán, Mex. Investigaciones Geogr. 76: 34-55.

Amestoy-Alonso, J. y J. Amestoy-García. 2009. Precipitaciones, aridez, sequía y desertificación de la comarca del campo de Cartagena. Lurralde. Inves. Espac. 32: 119-154.

Díaz-Padilla, G., I. Sánchez-Cohen, R.A. Guajardo-Panes, A.L. Del Ángel-Pérez, A. Ruíz-Corral, G. Medina-García y D. Ibarra-Castillo. 2011. Mapeo del índice de aridez y su distribución poblacional en México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, Vol XVII, Edición Especial: 267-275.

Del Barrio, G. (Coord). 2001. Assessing Climate Change Effects on Land Use and Ecosystems: from Regional Analysis to the European Scale (ACCELERATES). Proyecto de Investigación. V Programa Marco de la Comisión Europea (2001- 2003). Estación Experimental de Zonas Áridas. CSIC. Almería.

Hubálek, Z. y M. Horáková. 1988. Evaluation of climatic similarity between areas in biogeography. J of Biogeography, 15: 409-418. rrahman, H., B. Fatih, M. Fatih and Y. Mustafa. 2004. Reclamation of saline-sodic soils with gypsum and MSW compost. J. Compost Sci. Util. 12: 175-179.

Mercado-Mancera, G., E. Troyo-Diéguez, A. Aguirre-Gómez, B. Murillo-Amador, L.F. Beltrán-Morales, y J.L. García-Hernández. 2010. Calibración y aplicación del Índice de Aridez de De Martonne para el análisis del déficit hídrico como estimador de la aridez y desertificación en zonas áridas, Universidad y Ciencia, 26 (1): 51-64.

Simota, C. y M. Dumitru, 2010. Biophysical Criteria Designating Agriculture Drought Affected Areas in the Context of Climate Changes. BALWOIS – Ohrid, 1-10.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

LA PARADOJA DE LA EVAPORACIÓN ES EVIDENTE EN ALGUNAS LOCALIDADES DEL CENTRO NORTE DE MÉXICO

Valdez-Cepeda, R.D.[1,2*]; Blanco-Macías, F.[1]; Magallanes-Quintanar, R.[3];

[1]**Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro Norte. Zacatecas, Zac., México.**
[2]**Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Matemáticas. Zacatecas, Zac., México.**
[3]**Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica. Zacatecas, Zac., México.**

*Autor responsable: vacrida@hotmail; Calle Cruz del Sur Núm. 100, Col. Constelación, El Orito, Zacatecas, Zac. México. CP 98085; Tel. +52(492)-924-6147.

Resumen
El conocimiento sobre los elementos de la ecuación del balance hídrico del agua en el suelo es importante para maximizar la producción de biomasa vegetal en los sistemas agrícolas. En el caso de los sistemas agrícolas de secano, la evaporación implica pérdidas de agua, mientras que la precipitación es la fuente relevante de agua. Sin embargo, las tendencias temporales (durante los últimos tres Decenios) de dichos elementos prácticamente son desconocidas. Por lo tanto, 40 series de evaporación, a nivel mensual y con datos de mas de 30 años, fueron analizadas para estimar tendencias a través de regresión lineal. Todas las estaciones donde se registraron los datos de las series están dentro del territorio del Estado de Zacatecas, México. De las 40 tendencias de evaporación estimadas, 27 tendencias fueron negativas, pero solo 18 de ellas fueron significativas; por el contrario, 13 tendencias fueron positivas, pero solo 3 de ellas fueron significativas. Las tendencias negativas de la evaporación pueden estar asociadas a la paradoja de la evaporación.

Palabras clave
Análisis de Regresión lineal; Pendiente; tendencia.

Introducción
La mayoría de los estudios sobre la evaporación consideran que la evaporación del agua en los tanques evaporímetros reflejan la evaporación real del suelo superficial. Lo cierto es que la cantidad de agua que se evapora del tanque no es la misma que puede evaporarse del suelo.

En general, lo esperado es que la evaporación se incremente debido al aumento de la temperatura del aire, lo cual está asociado al calentamiento global (Huntington, 2006). Sin embargo, algunos informes sugieren que la evaporación del tanque evaporímetro tiende a disminuir en algunos sitios (Chattopadhyay y Hulme, 1997; Quintana-Gómez, 1998; Linacre, 2004). En el hemisferio norte, la evaporación del agua de los tanques evaporímetros ha disminuido 2-4 mm año^{-1}, en promedio, desde 1990 (Gifford et al., 2005).

La tendencia negativa de la evaporación registrada en tanques evaporímetros ha sido asociada a la complementariedad entre la evaporación de un suelo superficial bien humedecido y la evaporación del tanque evaporímetro (Brutsaert y Parlange, 1998; Brustaert, 2006); este fenómeno se conoce como paradoja de la evaporación. Entonces, un aumento de la evaporación del tanque evaporímetro debe considerarse como indicador de aumento de la evaporación del suelo superficial con poca agua disponible para ser evaporada. A pesar de esas evidencias, los estudios sobre el comportamiento de la evaporación aún son escasos. Por lo tanto, 40 series de evaporación, a nivel mensual y con datos de mas de 30 años, fueron analizadas para estimar tendencias a través de regresión lineal. Todas las

estaciones donde se registraron los datos de las series están dentro del territorio del Estado de Zacatecas, México.

Materiales y Métodos

Los registros de evaporación media mensual de tanque evaporímetro de 40 estaciuones meteorológicas localizadas en el estado de Zcatecas, México fueron provistas por la Comisión Nacional del Agua. Las series fueron sometidas a pruebas de homogeneidad de varianzas. Despues fueron involucradas en análisis de regresión lineal simple para estimar las pendientes (tendencias).

Resultados y Discusión

Los estimadores estadísticos básicos de las ecuaciones lineales se aprecian en el Cuadro 1. De las 40 tendencias de evaporación estimadas, 27 tendencias fueron negativas, pero solo 18 de ellas fueron significativas; por el contrario, 13 fueron positivas, pero solo 3 de ellas fueron significativas. Las tendencias negativas significativas corresponden a las series de El Rusio, El Sauz, Excamé III, Fresnillo, Gral. Guadalupe Victoria, Huanusco, Jerez, Jiménez del Teul, Juchipila, La Villita, Monte Escobedo, Presa El Chique, San Gil, San Pedro Piedra Gorda, Santa Rosa, Tecomate, Teul de González Ortega, Tlaltenago, Trancoso (Figura 1) y Villa García. La posible explicación de las tendencias negativas de la evaporación del tanque registrada en esas localidades es su complementariedad con la evaporación ocurrida en suelo superficial con cantidades limitadas de agua para evaporase, según lo explican Brutsaert y Parlange (1988) y Brutsaert (2006), a manera de paradoja de la evaporación.

Cuadro 1. Información general de las estaciones meteorológicas y resultados de los análisis de regresión lineal.

Estación	Coordenadas	msnm	Periodo	Meses	Y = a + bx	
					A	b
Cedros	24° 40’ 43’’ N 101° 46’ 26’’ W	1763	Jan 1979-Nov 2005	431	-2524.44	**1.35** (p<5.03E-10)
Chalchihuites	23° 14’ 27’’ N 102° 34’ 31’’ W	2060	Nov 1966-Dic 2005	470	-1763.17	0.97 (p<0.142269)
Col. González Ortega	23° 57’ 22’’ N 103° 27’ 02’’ W	2190	Jan 1970-Oct 2003	406	-1113.10	0.65 (p<0.01446)
El Cazadero	23° 41’ 35’’ N 103° 26’ 50’	1898	Jun 1959- Dic 2005	564	-244.20	0.21 (p<0.22826)
El Platanito	22° 36’ 43’’ N 104° 03’ 05’’ W	990	Jul 1957-Dic 2005	582	1290.05	**0.75** (p<2.20E-4)
El Rusio	22° 26’ 34’’ N 101° 47’ 09’’ W	2104	Jan 1967-Dic 2005	468	1400.71	**-0.61** (p<0.00362)
El Sauz	23° 10’ 46’’ N 103° 01’ 26’’ W	2090	Jan 1947-Dic 2005	707	1139.34	**-0.49** (p<0.546E-5)
Excame III	21° 38’ 58’’ N 103° 20’ 23’’ W	1740	Ene 1946-Nov 2005	719	2656.99	**-1.26** (p<0)
Fresnillo	23° 10’ 22’’ N 102° 56’ 26’’ W	2195	Sep 1949-Dic 2005	676	1348.22	**-0.59** (p<4.47E-5)
Gral. Guadalupe Victoria	22° 23’ 43’’ N 101° 49’ 52’’ W	2183	Ene 1966-Dic 2005	480	1529.21	**-0.69** (p<8.40E-5)
Gruñidora	24° 16’ 19’’ N 101° 53’ 05’’ W	1825	Ene 1963-Dic 2005	516	-2164.86	**1.17** (p<2.77E-8)
Huanusco	21° 46’ 01’’ N 102° 58’ 07’’ W	1495	Ene 1972-Feb 2005	398	1748.48	**-0.79** (p<0.00518)
Jerez	22° 38’ 31’’ N 103° 00’ 05’’ W	2098	Ago 1962-Dic 2005	521	3909.85	**-1.88** (p<0)
Jiménez del Teul	23° 15’ 18’’ N 103° 47’ 54’’ W	1900	Ago 1962-Dic 2005	520	1298.81	**-0.57** (p<5.09E-4)
Juchipila	21° 23’ 14’’ N 103° 06’ 53’’ W	1270	Ene 1947-Dic 2005	708	807.32	**-0.31** (p<0.00765)

Estación	Coordenadas	msnm	Periodo	Meses	Y = a + bx	
					A	b
La Florida	22° 41' 10'' N 103° 36' 09'' W	1870	Jul 1954-Nov 2005	617	89.56	0.03 (p<0.84511)
La Villita	21° 36' 08'' N 103° 20' 13'' W	1790	Jul 1957-Dic 2005	582	1460.08	**-0.65** (p<5.14E-4)
Loreto	22° 16' 50'' N 101° 56' 50'' W	2029	Ene 1963-Dic 2005	516	252.36	0.21 (p<0.25449)
Monte Escobedo	22° 19' 32'' N 103° 29' 38'' W	2190	Sep 1963-Dic 2005	508	1489.13	**-0.67** (p<8.40E-4)
Nochistlán de Mejía	21° 21' 55'' N 103° 50' 32'' W	1850	Oct 1949-Jun 2001	621	114.57	0.03 (p<0.83059)
Ojocaliente	22° 24' 38'' N 102° 16' 09'' W	2050	Ago 1959-May 2006	562	57.33	0.05 (p<0.71859)
Palomas	22° 20' 47'' N 102° 47' 48'' W	2030	Mar 1969-Dic 2005	442	423.63	-0.11 (p<0.70594)
Pinos	22° 16' 54'' N 101° 34' 47'' W	2408	Ene 1947-Mar 2006	711	41.74	0.06 (p<0.54835)
Presa El Chique	22° 00' 00'' N 102° 53' 23'' W	1620	Ene 1963-Dic 2005	516	2066.01	**-0.95** (p<3.78E-5)
San Antonio del Ciprés	22° 56' 08'' N 102° 29' 14'' W	2145	Ene 1969-Nov 2005	443	53.62	0.07 (p<0.76251)
San Gil	24° 11' 43'' N 102° 58' 36'' W	1810	Ago 1969-Abr 2006	441	1594.58	**-0.71** (p<0.00502)
San Isidro de los González	22° 50' 41'' N 103° 22' 57'' W	2000	Ene 1976-May 2006	360	710.52	-0.27 (p<0.43297)
San Pedro Piedra Gorda	22° 27' 09'' N 102° 20' 49'' W	2032	Ene 1943-Jun 2006	762	1302.66	**-0.57** (p<6.62E-8)
Santa Lucía	22° 26' 03'' N 104° 13' 00'' W	2252	Ago 1972-Oct 2004	387	779.50	-0.31 (p<0.29352)
Santa Rosa	22° 55' 34'' N 103° 06' 47'' W	2240	Ene 1947-Dic 2005	708	1024.98	**-0.43** (p<6.01E-4)
Tayahua	22° 07' 13'' N 102° 51' 46'' W	1549	Ene 1973-Dic 2005	396	1473.74	-0.65 (p<0.01347)
Tecomate	21° 32' 40'' N 103° 02' 32'' W	1375	Ene 1947-Jul 1997	607	2740.37	**-1.29** (p<7.64E-13)
Teúl de González Ortega	21° 27' 42'' N 103° 27' 52'' W	1900	Oct 1962-Dic 2005	619	1801.34	**-0.83** (p<1.91E-6)
Tlaltenango	21° 46' 54'' N 103° 17' 45'' W	1700	Jul 1949-Dic 2005	678	2119.65	**-0.98** (p<1.03E-14)
Trancoso	22° 44' 39'' N 102° 22' 10'' W	2190	Jun 1950-Nov 1994	534	3839.05	**-1.85** (p<0)
Villa de Cos	23° 17' 26'' N 102° 20' 44'' W	2050	Ene 1962-Dic 2005	528	370.47	-0.10 (p<0.59771)
Villa García	22° 10' 10'' N 101° 57' 27'' W	2120	Ene 1959-Oct 2004	550	1130.35	**-0.49** (p<0.00251)
Villa Hidalgo	22° 20' 49'' N 101° 42' 55'' W	2167	Ene 1954-Abr 2006	628	668.92	-0.25 (p<0.07253)
Villanueva	22° 21' 43'' N 102° 53' 22'' W	1920	Ene 1963-Dic 2005	516	-144.55	0.16 (p<0.40962)
Zacatecas	22° 45' 39'' N 102° 34' 30'W	2485	Jun 1963-Dic 2003	633	396.91	-0.11 (p<0.45179)

Tendencias significativas a p<0.05 están en negritas.

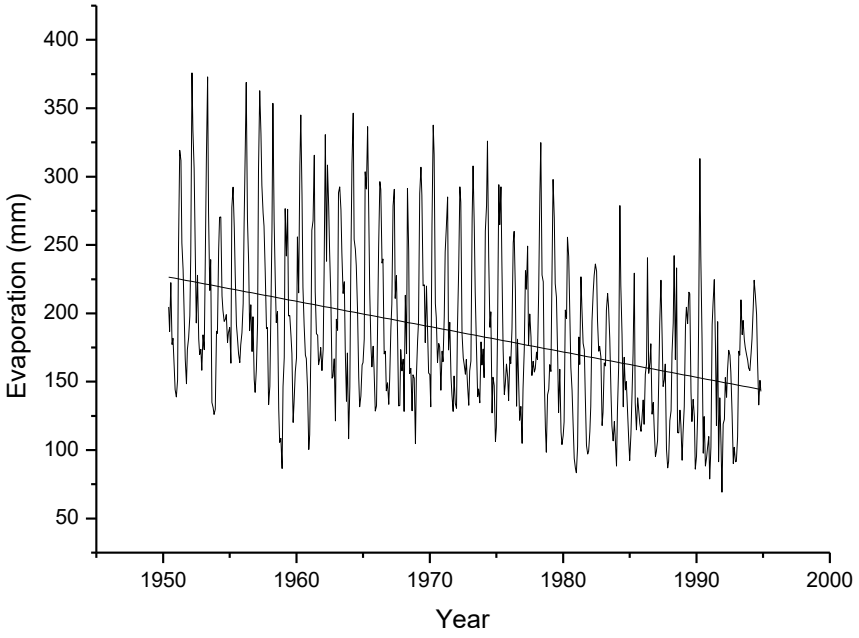


Figura 1. Serie de tiempo de evaporación media mensual registrada en Trancoso, Zacatecas, México de Junio, 1950 a Noviembre, 1994. La línea recta ajustada fue Y = 3849.05 -1.85X, entonces la tendencia anual de evaporación es de -1.85 mm año^{-1}.

Conclusiones

Tendencias negativas significativas de la evaporación del agua del tanque evaporímetro fueron estimadas para las series de El Rusio, El Sauz, Excamé III, Fresnillo, Gral. Guadalupe Victoria, Huanusco, Jerez, Jiménez del Teul, Juchipila, La Villita, Monte Escobedo, Presa El Chique, San Gil, San Pedro Piedra Gorda, Santa Rosa, Tecomate, Teul de González Ortega, Tlaltenago, Trancoso y Villa García. Esas tendencias negativas de la evaporación del tanque registrada en esas localidades pueden ser explicadas por complementariedad entre la evaporación del agua del tanque y evaporación ocurrida en suelo superficial con cantidades limitadas de agua para evaporase, a manera de paradoja de la evaporación.

Referencias

Brutsaert, W. (2006). Indications of increasing land surface evaporation during the second half of the 20th century. Geophys. Res. Lett., 33, L20403, doi:10.1029/2006GL027532.

Brutsaert, W., and Parlange, M.B. (1998). Hydrologic cycle explains the evaporation paradox. Nature, 396(6706), 30.

Chattopadhyay N, Hulme M (1997) Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climate. Agric. Forest Meteorol. 187: 55-73.

Gifford RM, Graham DF, Neville N, Michael LR (2005). Workshop summary on pan evaporation: An example of the detection and attribution of climate change variables. In: Pan evaporation: An example of the detection and attribution of trends in climate variables. Roger M. Gifford (editor).

Huntington TG (2006). Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis. J. Hydrol., 319, 83–95.
Linacre ET (2004). Evaporation trends. Theor. Appl. Climatol. 79, 11–21.
Quintana-Gómez RA (1998), Changes in evaporation patterns detected in northernmost South America. Proc. 7th Int. Meeting on Statistical Climatology, Whistler, BC, Canada, Institute of Mathematical Statistics, p. 97.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

USO DE BIOSÓLIDOS EN SUELOS DEGRADADOS PERIURBANOS DEL MUNICIPIO DE PUEBLA

Tamaríz Flores J.V.[1, 2]*; Castelán Vega R.[1, 2]; Cruz Montalvo A.[2]; Linares Fleites G. [1, 2]; Niño Lozano A.[3]

[1]**Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas, ICUAP-BUAP. Puebla, Pue., México.**
[2]**Posgrado en Ciencias Ambientales, ICUAP-BUAP. Puebla, Pue., México.**
[3]**Facultad de Ing. Química BUAP. Puebla, Pue., México.**

*Autor responsable: jose.tamariz@correo.buap.mx; Calle 14 sur Núm. 6301, Col. San Manuel, Puebla, Puebla. México. CP 72507; Tel. +52(222)-2295500-7042

Resumen

En México, el manejo de los lodos residuales es un aspecto descuidado y son pocas las PTAR's que cuentan con un sistema para la gestión integral de biosólidos. Ante estas circunstancias aparece la necesidad del uso racional de los recursos naturales que intervienen en los procesos productivos promoviendo el aprovechamiento de los biosólidos como una alternativa para el mejoramiento de la fertilidad de los suelos, debido a que son ricos en MO, N y P, además de que mejoran las propiedades del suelo, por lo que puede reflejarse en un incremento en el rendimiento de los cultivos. Cuando esta aplicación no se lleva acabo adecuadamente puede constituir un riesgo a la salud, a los cultivos y a los ecosistemas por la presencia de metales (EPT). Por lo tanto, resulta necesario tener en cuenta las condiciones de aplicación conforme a la normatividad nacional e internacional vigente. En la ciudad de Puebla, se producen alrededor de 140 Mg de biosólidos/día por lo que aplicarlos a los suelos agrícolas degradados representa una opción para enmendarlos, así como una oportunidad de bajo costo para incrementar el rendimiento de los cultivos; sin embargo, existe poca información para lograr que el uso de biosólidos sea una práctica extendida y realizada eficientemente. Desde el 2002 se ha estudiado el efecto de la aplicación de biosólidos en suelos agrícolas degradados en las áreas periurbanas de la capital poblana, logrando incrementar rendimientos (+/- 25%) en maíz de temporal y vigilar el contenido de EPT.

Palabras clave: biosólidos; maíz; metales.

Introducción

Los biosólidos son lodos sometidos a procesos de estabilización y que, por sus características adquiridas, pueden ser susceptibles de aprovechamiento en agricultura (Garrido, 2005). Los biosólidos son ricos en materia orgánica, nitrógeno y fósforo, que los hace potencialmente útiles como fertilizantes. Además, mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo como la densidad, estructura, porosidad retención de agua, pH, capacidad de intercambio catiónico, entre otros; todo lo cual puede reflejarse en un incremento en el rendimiento de los cultivos (González-Flores, E. 2011). En la actualidad ha aumentado la necesidad de abarcar los beneficios del uso de los sólidos residuales como biosólidos y dejar de considerar a estos subproductos como un "desecho".

En la actualidad muchos países, cuentan con legislación y estudios para la disposición final de biosólidos en suelos agrícolas; lo que remarca la importancia de su manejo y reutilización, en México es la NOM-004-SEMARNAT-2002 quien regula su uso. La búsqueda de alternativas para la reutilización de los distintos residuos generados, son los nuevos desafíos que el hombre tiene que abordar para un futuro sustentable. En el municipio de Puebla, Puebla en México se producen alrededor de 140 Mg/día de biosólidos en las distintas plantas de tratamiento de aguas residuales y estos biosólidos pueden ser utilizados para fertilizar y disminuir la erosión de suelos agrícolas dedicados a la siembra de maíz en la zona sur del municipio. El objetivo fue conocer cómo se modifican las propiedades físicas y químicas de los suelos que son tratados con biosólidos, y si estas mejoran para favorecer la fertilidad del suelo, y así lograr aumentar la productividad de los cultivos y favorecer la economía local.

Materiales y Métodos

Zona de estudio: El estudio se llevó a cabo al sur del municipio de Puebla, Pue. México, dedicada principalmente a la agricultura de temporal de maíz y frijol. En esta zona se seleccionaron parcelas experimentales de 10 000 m^2 cada una, en donde una de ellas fue tratada con biosólidos y la otra fue usada como control (Fig 1).

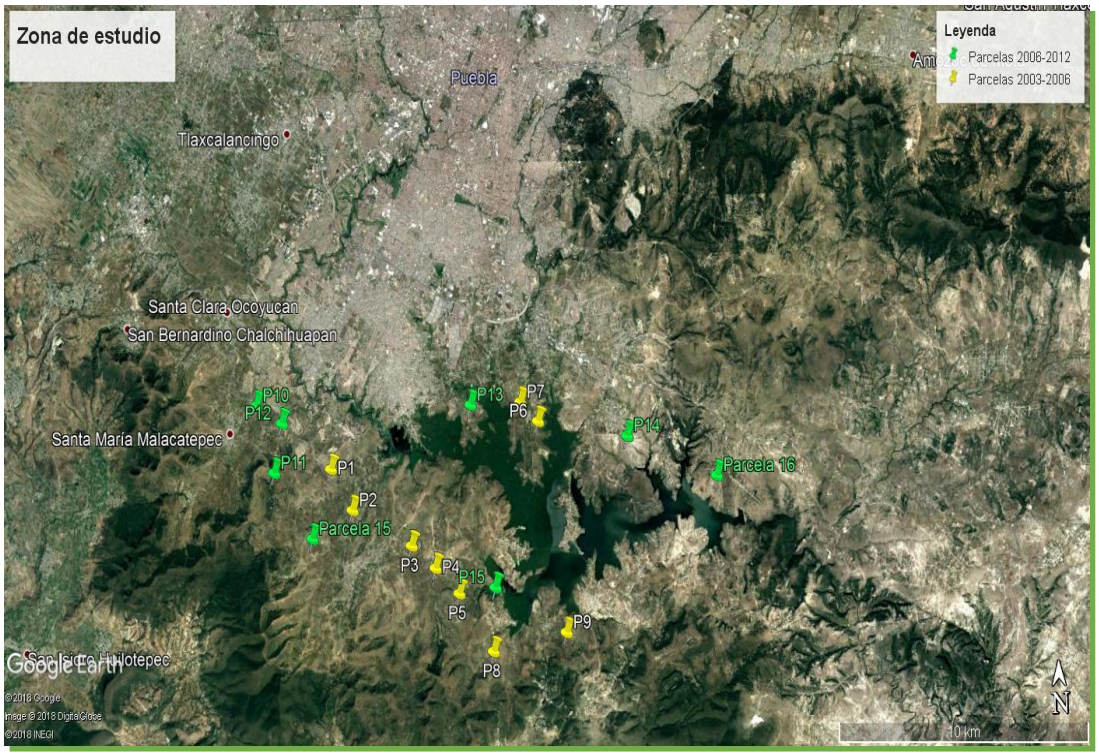


Fig 1. Zona de estudio de la aplicación de biosólidos en el municipio de Puebla

Los suelos fueron muestreados en forma de zig-zag, a una profundidad de 0-30 cm, tomando 15 muestras individuales para formar una muestra compuesta al inicio del ciclo agrícola. Las muestras fueron secadas a temperatura ambiente y a la sombra y tamizadas en malla de acero inoxidable del número 10. Las metodologías analíticas fueron según la NOM-021-RECNAT-2000, de acuerdo a las especificaciones de fertilidad. La digestión de los suelos para la determinación de metales se realizó por digestión de microondas y las lecturas fueron por EAA en un equipo Varian 55 a las condiciones operacionales de cada metal. La fecha de siembra fue durante el ciclo primavera-verano siguiendo las labores normales de los productores. La dosis anual completa de biosólidos a añadir a un suelo para el beneficio de cultivos y áreas sujetas a recuperación de suelos y del paisaje, se calcula en función de la concentración de contaminantes en el biosólido y de la dosis anual de carga de contaminantes, según el siguiente procedimiento: (EPA 503)

a) Se analiza el contenido de contaminantes en los biosólidos a aplicar.
b) Se calcula la Dosis Anual Completa a añadir para cada uno de los contaminantes aplicando la siguiente fórmula:

$$DACB = DACC \times 1.000 \times C^{-1}$$

Donde:
DACB: Dosis Anual Completa de Biosólido sobre la base de peso seco expresado en ton/ha/año
DACC: Dosis Anual de Carga de Contaminantes para el metal "n" expresado en kg/ha/año.
1.000: Factor de conversión
C: Concentración del Contaminante "n" en el biosólidos expresado en mg/kg biosólidos.

La fecha de aplicación fue realizada un mes antes de la siembra y su incorporación al suelo fue mediante tractor o yunta. Las muestras de biosólidos fueron tomados de las PTAR´s de Atoyac sur y Alseseca según la zona más cercana de aplicación. Antes de cada cosecha se muestrearon 10 plantas de maíz en donde se midió altura de planta, estas se compararon por prueba de hipótesis para los tratamientos de suelos tratados con biosólidos y control, así determinar si existe diferencia significativa entre éstas. Además, se analizaron las hojas, flores y tallos para determinar la presencia de contaminantes como metales pesados totales por el método de digestión con peróxido de hidrógeno-ácido sulfúrico y cuantificación por espectrofotometría de absorción atómica. Posteriormente, se recolectó una muestra representativa de plantas de maíz en cada parcela experimental y control, con la que se calculó la productividad para ser comparada posteriormente por prueba de hipótesis y cuantificar metales pesados totales.

Resultados y Discusión

Como podemos observar en la Tabla 1, los resultados indican que estos biosólidos no rebasan los límites máximos permisibles de los metales en estudio según la NOM-004-SEMARNAT-2002, y corresponden a un biosólidos tipo C. Por lo cual, se pueden aplicar a los suelos con el fin de mejorar sus propiedades y elevar el contenido de nutrientes. Los contenidos de patógenos y parásitos clasificaron a los biosólidos como clase A. Se realizó este análisis en forma anual. Las concentraciones en las plantas fueron comparadas para concentraciones normales y excesivas o tóxicas aproximadas en tejidos vegetales para varias especies reportadas por Kabata-Pendias (2001).

Tabla 1. Caracterización de los biosólidos

Parámetro	Alseseca Sur	Atoyac	Excelentes	Buenos
pH	7.6	7.2	-	-
M.O. (%)	46	40	-	-
Cenizas (%)	54	60	-	-
N (%)	1.61	1.29	-	-
Cd (mg/kg)	0	0	39	85
Cu (mg/kg)	200	200	1500	4300
Ni (mg/kg)	100	110	420	420
Pb (mg/kg)	500	300	300	840
Zn (mg/kg)	900	800	2800	7500
Cr (mg/kg)	100	102	1200	3000

Tabla 2. Contenido de patógenos y parásitos en el biosólido

	Indicador bacteriológico de contaminación Coliformes fecales NMP/g en base seca	Patógenos Salmonella spp. NMP/g en base seca	Parásitos Huevos de helmintos/g en base seca
Alseseca Sur	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Atoyac	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Tabla 3. Contenido de metales en plantas de maíz (mg/kg)

	San Andrés Azumiatla															
	Con biosólidos															
	2010								2011							
	Cu	**Fe**	**Zn**	**Mn**	**Ni**	**Pb**	**Cd**	**Cr**	**Cu**	**Fe**	**Zn**	**Mn**	**Ni**	**Pb**	**Cd**	**Cr**
Raíz	**Cu**	**Fe**	**Zn**	**Mn**	**Ni**	**Pb**	**Cd**	**Cr**	3.3	1020.4	27.5	21.7	191.7	13.3	9.6	0.00
Tallo	19.1	563	64.2	46	763	190	111	15.9	4.4	90.0	59.3	13.8	138.3	0.0	12.7	0.00
Hoja	7.5	74	15.5	11	385	182	92	16	11.7	181.7	91.0	83.8	145.0	0.0	16.7	0.00
Flor	nd	320	96	30	nd	nd	Nd	94	6.0	93.8	88.3	20.5	151.7	0.0	17.7	0.00
Maíz	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	9.2	102.9	70.8	55.8	125.4	0.0	0.0	0.0

nd no determinado

Conclusiones

- Los resultados de los análisis realizados a los biosólidos muestran que estos son adecuados para mejoramiento de suelos y usos agrícolas, ya que clasificaron como tipo A y clase excelente conforme a la normatividad vigente.
- En los suelos con biosólidos, se observó un incremento favorable sobre algunas características de fertilidad como nitrógeno, fósforo, materia orgánica, por lo que los biosólidos son una fuente importante de estos nutrientes que permanecieron incluso un año después de la aplicación.
- La concentración de metales no fue diferente en los suelos con biosólidos con respecto a los que no tuvieron biosólidos, además estas concentraciones no resultan tóxicas para las plantas o peligrosas en el suelo, lo que reduce el riesgo de contaminación para la red trófica, sin embargo, se cuantificaron cantidades mayores durante el 2011 con respecto al 2010 en suelos con biosólidos.
- Se incrementó la concentración de micronutrientes como Cu, Zn, Fe y Mn lo que también favoreció el crecimiento vegetal en suelos con biosólidos, y las concentraciones de Pb, Cd, Cr y Ni en planta de maíz no fueron un factor limitante para el desarrollo de las plantas que crecieron en suelos con biosólidos, ya que es evidente el aumento de biomasa de estas plantas
- La concentración de metales en plantas de maíz (*Zea mays*) fue alta para los tejidos: raíz, tallo y hojas, por lo que es recomendable que el rastrojo no sea utilizado para alimentar al ganado y se reincorpore como materia orgánica. El grano de maíz no presentó concentraciones tóxicas de metales pesados por lo es susceptible de ser consumido.
- La producción de biomasa (peso planta de maíz/ha) aumentó en lo suelos con biosólidos.

Referencias

1. Garrido, S.E. 2005. Aprovechamiento de biosólidos y composta en el cultivo de haba (Vicia faba L.). Ingeniería hidráulica en México, 20:14, pp. 121-135.
2. González-Flores, E. 2011. Efecto ambiental económico-social por la aplicación de biosólidos de origen urbano como mejoradores de suelos agrícolas. COLPOS, pp. 163
3. United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1995. A guide to the biosolids risk assessments for the EPA Part 503 rule.
4. Uribe, H. R., Orozco, G., Espino, M. 2001. Uso de biosólidos para incrementar la productividad de alfalfa. INIFAP. México.
5. Sepúlveda-Varas, A, Inostroza, C, & Encina-Montoya, F. (2011). Effects of the incorporation of biosolids on soil quality: temporal evolution in a degraded inceptisol (typic endoaquepts). *Journal of soil science and plant nutrition*, *11*(3), 33-44. https://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162011000300003
6. Flores Félix, Edgar, Moreno Casillas, Héctor, Figueroa Viramontes, Uriel, & Potisek Talavera, María del Carmen. (2014). Disponibilidad de nitrógeno y desarrollo de avena forrajera (Avena sativa L.) con aplicación de biosólidos. *Terra Latinoamericana*, *32*(2), 99-105. Recuperado en 11 de septiembre de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792014000200099&lng=es&tlng=.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EL EFECTO DE CENIZA VOLANTE Y BIOSÓLIDOS COMO COMPONENTES PRINCIPALES DE UN ABONO TIPO BOCASHI Y SU COMPARACIÓN CON OTROS FERTILIZANTES PARA LA NUTRICIÓN DEL MAÍZ (*Zea mays*)

***Cortés-Tello K.E.[1]; Jaramillo-López P.F.[2] Gavito-Pardo, M.[1]; Álvarez-Sánchez, F.J.[3]**

[1]Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, Michoacán. México.
[2]CONACYT-Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, Michoacán, México.
[3]Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. México.

*Autor responsable: karlaecortes@gmail.com; Cda. Rodolfo Diesel Mz 57 Lt 17, Col. Fuego Nuevo, Iztapalapa, Ciudad de México. México. CP 09800; Tel. +52(55)-3673-8664

Resumen

Los biosólidos y las cenizas volantes son desechos que producimos en grandes cantidades. Estos materiales tienen altas concentraciones de nutrientes lo que los hace atractivos para ser usados como enmiendas de suelo, especialmente para la agricultura. Sin embargo, la presencia de metales pesados en dichos materiales limita su uso. Es por ello que este trabajo busca demostrar que con la técnica de fermentación "bocashi" estos materiales pueden ser utilizados sin problemas en la nutrición de las plantas de maíz. Además, se espera que los beneficios nutricionales que este bocashi provea, sean iguales o mejores que los brindados por bocashi de estiércol de vaca y por fertilización mineral. Cabe señalar que el bocashi es una técnica japonesa de fermentación de materiales que acelera el proceso de mineralización de los desechos. A partir de esto se generó un bocashi con biosólidos obtenidos de la zona sur de la ciudad de Morelia, Michoacán, México y la ceniza volante se obtuvo de la central carboeléctrica de Guerrero, México. Las semillas de maíz que se utilizaron fueron de un híbrido PUMA de la marca Asgrow. El experimento se llevó a cabo en los invernaderos del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad de la UNAM campus Morelia, Morelia, Michoacán, México. Las plantas se cosecharon a la semana 6 y a la semana 10. Los resultados muestran que el pH y la conductividad eléctrica del bocashi de biosólidos son adecuados para nutrir al maíz. También hubo un efecto positivo del bocashi sobre la biomasa del maíz, su altura, diámetro y concentración de N y P. Las concentraciones de metales pesados están por debajo de los límites permitidos. En conclusión, los biosólidos y las cenizas procesadas como bocashi mejoran el crecimiento y nutrición de las plantas de maíz.

Palabras clave

Biosólidos; ceniza volante; maíz; nutrición vegetal

Introducción

El uso de fertilizantes en la agricultura ha provocado múltiples efectos negativos sobre el planeta,

como son la contaminación a los mantos acuíferos y las emisiones de óxido de nitrógeno (Byrnes, 1990). Los abonos orgánicos se han empleado como alternativa al uso de estos fertilizantes químicos (Delgado y Salas, 2006). Estos abonos se caracterizan por mantener suelos saludables y niveles adecuados de materia orgánica (Medina *et al*. 2010).

Uno de los abonos que se utiliza para mejorar la fertilidad del suelo es el bocashi, que se deriva de una técnica japonesa, donde se promueve la descomposición de los desechos orgánicos a través de un proceso aeróbico de fermentación (Shintani *et al*., 2000). Los componentes del bocashi convencional son: suelo, estiércol de vaca, rastrojo de maíz, salvado de trigo, levadura, carbón vegetal triturado, agua y piloncillo.

El bocashi con estiércol de vaca, es el bocashi que más comúnmente se prepara y utiliza. Sin embargo, en este trabajo se sustituyó el estiércol de vaca por biosólidos y el carbón vegetal se sustituyó por ceniza volante. Se decidió utilizar estos dos elementos porque se generan en grandes cantidades y constituyen un problema ambiental en cuanto a su disposición final. A pesar de que constituyen un problema ambiental, cabe mencionar que estos materiales tienen una gran cantidad de nutrientes que pueden ser aprovechados (O'Connor *et al*., 2005; Singh *et al*., 2014)

La ceniza volante (CV) es uno de los subproductos de la combustión del carbón mineral que se utiliza para generar energía (Sarkar *et al*., 2012). Por sus características físicas y químicas, la CV puede ser utilizada como enmienda de suelo (Karapanagioti y Atalay, 2001; Pati y Sahu, 2004; Pandey y Singh, 2010). Cabe mencionar que pueden presentar concentraciones de metales pesados como Cd y Pb (Tripathi *et al*. 2004; Gupta y Sinha, 2008) pero se puede usar como enmienda de suelo de acuerdo a un manejo adecuado (Jaramillo-López y Powell, 2013).

Los biosólidos (BS) son lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales que, por su contenido de nutrientes y por sus características, pueden ser susceptibles de aprovecharse (NOM-004-SEMARNAT-2002). Sus principales componentes son: materia orgánica, detergentes, medicinas y pueden contener metales pesados como Cd, Pb y Hg (Girovich, 1996).
Tanto la CV y los BS se han utilizado en estudios previos para mejorar el desarrollo de las plantas (Wong *et al*., 1996; Jaramillo-López *et al*., 2011; Brännvall *et al*., 2015). Inclusive se han utilizado en ensayos con maíz, cuya importancia para la alimentación humana es indudable, además de presentar tolerancia a los metales pesados (Deras-Flores, 2010).

Por esta razón el objetivo de este trabajo es demostrar la utilidad de los biosólidos y la ceniza volante procesados con la técnica de fermentación de bocashi para promover el crecimiento vegetativo del maíz.

Materiales y Métodos

El experimento se desarrolló en las instalaciones del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad de la UNAM campus Morelia, en condiciones de invernadero entre mayo y septiembre del 2017. Para hacer las mezclas, se empleó suelo agrícola de la localidad de Santiago Undameo, en Michoacán, México. Se utilizó semilla del maíz híbrido PUMA de la marca ASGROW.

La ceniza volante se obtuvo de la central termoeléctrica "Presidente Plutarco Elías Calles" ubicada en Guerrero, México. Los biosólidos se obtuvieron de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Morelia, Michoacán, México y se pusieron a secar al sol para después ser triturados.

Para la preparación del bocashi se siguió la receta publicada por Jaramillo-López et al. (2015)

remplazando el estiércol de vaca por biosólidos. Los materiales fueron: biosólidos, suelo, ceniza volante, rastrojo de maíz, carbón mineral, salvado de trigo, piloncillo y levadura. Los materiales fueron agregados en capas. Se colocó el 15% de bocashi con respecto al peso de la maceta (2 kg). Se comparó con bocashi de estiércol de vaca y fertilizante mineral. Adicionalmente se incluyó otro factor en el diseño experimental y este fue el suelo: estéril y no estéril en 2 tiempos de cosecha y con 6 repeticiones.

Se midió el pH y la conductividad eléctrica (CE) de los materiales sueltos y en los tratamientos, las variables de la planta que se midieron fueron biomasa de la raíz y de las hojas, altura, diámetro. En el sustrato se determinó la concentración de N, P, Ca, Cu, Cd, K, Mg, Mn, Mo, Pb, Zn. Para los análisis estadísticos se hicieron ajustes a los modelos lineales para que cumplieran con los supuestos, posteriormente se hicieron análisis de varianza de 3 vías, todo con software R versión 3.4.3 (2017-11-30).

Resultados y Discusión

Los valores de pH de las cenizas (9.2) y los biosólidos (6) eran extremos, así como sus valores de conductividad eléctrica (1.15 mS/cm y 0.22 mS/cm, respectivamente), sin embargo al ser procesados con la técnica de bocashi, los valores de pH y conductividad disminuyeron (7.5 y 0.4 mS/cm, respectivamente). Esto se puede deber a la mezcla con los otros materiales, principalmente materia vegetal y la actividad de los microorganismos que promovieron que el nivel de pH sea más cercano al neutro (Shintani *et al*., 2000; Tate, 2000).

En el caso de los resultados de pH, se puede observar que en comparación con el tratamiento control (6.5), el tratamiento de biosólidos obtuvo valores de pH más ácidos (6.2). Por otro lado, se esperaría que el pH se acercara al neutro debido al alto contenido de materia orgánica (Samaras *et al*., 2008). Sin embargo, los datos demuestran lo contrario lo que puede deberse a la actividad de la planta que libera ácidos orgánicos, que provocan una acidificación en el sustrato (Subba-Rao, 1999). Cabe destacar que el pH es un factor importante ya que determina la disponibilidad de nutrientes y metales pesados que pueden o no ser absorbidos por la planta (Marschner, 1995).

Los datos de los metales pesados en los biosólidos, dados por la PTAR, son los siguientes: As (0.981-1.061 mg kg^{-1}) Cd (<1.71 mg kg^{-1}) Cu (74.08-80.74 mg kg^{-1}) Cr (<8.05 mg kg^{-1}) Ni(<7.059 mg kg^{-1}) Pb (12.68-13.8 mg kg^{-1}) Zn (555.18-669.02 mg kg^{-1}). Todos los valores se encuentran por debajo de la NOM-004-SEMARNAT-2002.

Para los resultados de la conductividad eléctrica en los tratamientos, el suelo control presentó baja conductividad (0.013 mS/cm) y el tratamiento con fertilizante mineral presentó los valores más altos (0.79 mS/cm), esto concuerda con la literatura, que menciona que el uso inadecuado de fertilizantes puede provocar salinidad en los suelos (FAO, 2002).

En la biomasa total de las plantas, se observó el valor promedio más alto en el tratamiento con bocashi de biosólidos (69.82 g) en comparación con el control (11.01 g). Esto se debe a la gran cantidad de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, así como formas más lábiles de nutrientes que contienen el bocashi de biosólidos (Haynes, 2005; Van Wieringen *et al*., 2005).

Los valores de biomasa de las plantas fueron mayores en suelo estéril, esto puede deberse a que existe una menor competencia por los nutrientes entre la planta y los microorganismos del suelo (Subba, 1999). Sin embargo, no hay que dejar de lado la importancia de las interacciones entre las plantas y los microorganismos de suelo como por ejemplo las micorrizas (Aguilar *et al*., 2017).

Conclusiones

Con este trabajo se puede concluir que utilizar los biosólidos y las cenizas volantes procesados con la técnica del bocashi resultó en un incremento de la biomasa de las plantas de maíz y su crecimiento, siendo mayor que el observado en los tratamientos con fertilizante mineral.
Los análisis de las concentraciones de micronutrientes y metales pesados están en proceso de evaluación y serán presentados en el congreso. Con esto se pretende determinar si es adecuado el uso de bocashi preparado con biosólidos y ceniza volante en la nutrición del maíz y como enmienda de suelo.

Agradecimientos

Al posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, a la beca otorgado por la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología, a la M. en C. Maribel Nava Mendoza y al Dr. Faustino Juárez Sánchez por el apoyo en el análisis de las muestras y a Francisco Mora Ardila por el apoyo en el procesamiento de los datos.

Referencias

Aguilar, R., Carreón-Abud, Y., López-Carmona, D. y Larsen, J., 2017. Organic Fertilizers alter the composition of pathogens and arbuscular mycorrhizal fungi in maize roots. Journal of phytopathology. 165:448-454.

Brännvall, E., Wolters, M., Sjöblom, R. y Kumpiene, J., 2015. Elements availability in soil fertilized with pelletized fly ash and biosolids. Journal of Environmental Management. 159: 27-36.

Byrnes, B.H., 1990. Environmental effects of N fertilizer use – An overview. Fertilizer research, 26(1): 209-215.

Delgado, R. y Salas, A. M. 2006. Consideraciones para el desarrollo de un sistema integral de evaluación y manejo de la fertilidad del suelo y aplicación de fertilizantes para una agricultura sustentable en Venezuela. Agronomía Tropical, 56: 289-323.

Deras-Flores, H., 2010. Guía técnica del cultivo de maíz. Disponible en: http://repiica.iica.int/docs/b3469e/b3469e.pdf. Consultado el 22 de octubre de 2017.

FAO, Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación asociación internacional de la industria de los fertilizantes. 2002. Los fertilizantes y su uso. Una guía de bolsillo para los oficiales de extensión. 4ta edición. Roma: Italia.

Girovich, M., 1996. Biosolids treatment and management: processes for beneficial use. Marcel Dekker: USA.

Gupta, A.K. y Sinha, S., 2008. Decontamination and/or revegetation of fly ash dykes through naturally growing plants. Journal of Hazardous Materials, 153: 1078–1087.

Haynes, R. J. 2005. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils, an overview. Advances in Agronomy. 85:221-268.

Jaramillo-López, P.F., Powell, M.A. y Hayden, D.B., 2011. The influence of soil amendments (fly ash and stabilized biosolids) on *Meloidogyne hapla* in microplots planted with tomato (*Lycopersicon esculentum*). Nematropica, 41(1): 141-149.

Jaramillo-López, P.F. y Powell, M.A., 2013. Application of stabilized biosolids and fly ash mixtures as soil amendments and their impact on free living nematodes and carrot (*Daucus carota*) yield. Journal of recycling of Organic Waste in Agriculture, 2:22.

Jaramillo-López, P.F., Ramírez, M.I. y Pérez-Salicrup, D.R., 2015. Impacts of Bokashi on survival and growth rates of Pinus pseudostrobus in community reforestation projects. Journal of Environmental Management. 150: 48-56.

Karapanagioti, H.K. y Atalay, A.S., 2001. Laboratory evaluation of ash materials as acid disturbed land amendments. Global Nest, 3(1): 11–21.

Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2da edición, Elsevier.

Medina, L.A., Monsalve, Ó.I. y Forero, A.F., 2010. Aspectos prácticos para utilizar materia orgánica en cultivos hortícolas. Ciencias Hortícolas, 4(1): 109-125.

Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental.- Lodos y biosólidos-especificaciones y

límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. 2003. [pdf] México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Disponible en: < http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2251.pdf> [Consultado 22 octubre 2016]

O'Connor, G.A., Elliott, H. A., Basta, N.T., Bastian, R.K., Pierzynski, G.M., Sims, R.C. y Smith, J.E., 2005. Sustainable Land Application. Journal of Environmental Quality, 34(1): 7-17.

Pandey, V.C. y Singh, N., 2010. Impact of fly ash incorporation in soil. Agriculture, Ecosystems & Environment, 136 (1-2): 16-27.

Pati, S.S. y Sahu, S.K., 2004. CO_2 evaluation and enzyme activities (dehydrogenase, protease and amylase) of fly ash amended soil in presence and absence of earthworms (Under laboratory condition). Geoderma, 118: 289–301.

Samaras, V., Tsadilas, C.D. y Stamatiadis, S., 2008. Effects of repeated application of municipal sewage sludge on siol fertility, cotton yield and nitrate leaching. Agronomy Journal, 100:477-483.

Sarkar, A., Singh, A., Agarawal, S.B., 2012. Utilization of fly ash as soil amendments in agricultural fields on North-Eastern gangetic plains of India: potential benefits and risks assessments. Bulletin of the National Institute of Ecology, 23(1–2): 9–20.

Shintani, M., Leblac, H. y Tabora, P., 2000. Tecnología tradicional adaptada para una agricultura sostenible y un manejo de desechos modernos. 1ª ed. Guácimo (CR): Universidad EARTH. Guía para uso práctico.

Singh, R.P., Sharma, B., Sarkar, A., Sengupta, C., Singh, P. y Ibrahim, M.H., 2014. Biological Responses of Agricultural Soils to Fly-Ash Amendment. Reviews of Envirenmental Contamination and Toxicology, 232: 45-60.

Subba-Rao, N.S., 1999. Soil Microbiology, Science Publishers: Estados Unidos.

Tate R.L., 2000. Soil Microbiology. Segunda edición. John Wiley and Sons: Estados Unidos.

Tripathi, R.D., Vajpayee, P., Singh, N., Rai, U.N., Kumar, A., Ali, M.B., Kumar, B. y Yunus, M., 2004. Efficacy of various amendments for amelioration of fly ash toxicity: growth performance and metal composition of Cassia siamea Lamk. Chemosphere, 54: 1581–1588.

Van Wieringen, L. M., Harrison, J. H., Nennich, T., Davidson, D. L., Morgan, L., Chen, S., Bueler, M. y Hoisington, F., 2005. Manure management effects on grass production, nutritive content, and soil nitrogen for a grass silage-based dairy farm. Journal of Environmental Quality. 34:164-173.

Wong, J.W.C., Jiang, R.F. y Su, D.C., 1996. Boron availability in ash-sludge mixture and its uptake by corn seedlings (Zea mays L). Soil Science, 161(3): 182-1.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EXPERIENCIAS EN EL USO AGRICOLA DE BIOSOLIDOS EN DELICIAS, CHIHUAHUA

Uribe-Montes, Hugo Raul[1*]; Chávez-Sánchez, Noe[2]; Orozco-Hernández, Gamaliel[3]

[1, 2 y 3] **Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Delicias. Cd. Delicias, Chihuahua, México.**

*Autor responsable: hugouribem@hotmail.com; Avenida 18 y media sur Núm. 3107, Fraccionamiento "Los Girasoles", Cd. Delicias, Chihuahua, México. CP 33080; Tel. +52(639)-107-4096

Resumen

En la región agrícola de Delicias, Chihuahua, el INIFAP (Campo Experimental Delicias) desarrolló un proyecto de investigación (1999-2001) con el uso de biosólidos con el objeto de definir la dosis más adecuada para los cultivos de alfalfa, algodonero, avena y maíz forrajero. Posteriormente, en el periodo 2002-2005 en la misma región agrícola se desarrolló otro proyecto de validación que tuvo como objetivos: mostrar a los productores forrajeros y algodoneros, a los directivos del sector y al público en general las ventajas y manejo adecuado de los materiales residuales como son los biosólidos. Además, educar a la sociedad en el reuso de materiales residuales con un mínimo impacto en los recursos naturales. Se validó la tecnología de aplicación de 10 t ha^{-1} de biosólidos en base seca en algodonero y maíz forrajero y 13 t ha^{-1} en alfalfa. La aplicación de biosólidos incrementó el rendimiento en comparación con la tecnología de fertilización usada por el agricultor, existiendo un aumentó de 21 a 25% en alfalfa, 8 a 9% en algodonero, y de 4 a 88% en maíz forrajero, dependiendo del tipo de suelo y dosis de fertilización aplicada por el agricultor. Las dosis de biosólidos evaluadas, además de satisfacer los requerimientos de N del cultivo, no dejaron cantidades de nitrógeno residual que pudieran contaminar cuerpos de agua. La aplicación de biosólidos incrementó el contenido de P aprovechable (Olsen), existiendo parcelas con 138% más que en las fertilizadas químicamente. La respuesta en rendimiento más evidente a la aplicación de biosólidos, fue en maíz forrajero, donde se observó un incremento en la concentración de zinc y cobre de 1,354 y 402% en el tejido del cultivo, respectivamente. Las concentraciones de metales pesados en el suelo y en el tejido de la planta están muy por debajo de las reportadas como críticas en la literatura, lo que sugiere que el uso racional de biosólidos, es seguro y ecológicamente factible. El análisis económico en todos los cultivos, mostró que el uso de biosólidos es la mejor alternativa de fertilización, sobre todo cuando el costo de transporte y aplicación del material es financiado por la institución generadora.

Palabras clave: Biosólidos; Maíz; Alfafa; Algodon.

Introducción

La utilización de los lodos residuales en la agricultura, es una forma de reciclar benéficamente estos materiales, lo cual da como resultado reducir el uso de fertilizantes químicos comerciales. Tester (1990) menciona que cuando los biosólidos son aplicados superficialmente dan como resultado un mejoramiento en las características físicas y químicas de los suelos, y un enriquecimiento nutrimental del suelo que satisface parcialmente los requerimientos de fertilización de éste. Sin embargo, debido a que los lodos residuales pueden poseer constituyentes potencialmente indeseables, estos se deberán evaluar periódicamente. Únicamente aquellos biosólidos que alcanzan

estándares de calidad estrictos para contaminantes, patógenos y atracción de vectores, pueden ser aplicados al suelo con propósitos benéficos. Existe un considerable interés por reciclar el N contenido en los residuos de cultivo y en los materiales de desecho, así los residuos orgánicos, frecuentemente son aplicados en suelos agrícolas en cantidades necesarias para obtener los niveles deseados de N disponible. Cuando otros factores como los metales pesados y substancias químicas orgánicas no son limitativas, el N disponible estimado de los residuos es el factor que gobierna la cantidad máxima de aplicación del material en el suelo. Algunos estudios de campo han dado estimaciones de la mineralización de N en la adición de desechos. Kelling *et al*. (1977) citado por Barbarick e Ippolito (2000) encontraron en Wisconsin, EE.UU., que el 50% del N de los biosólidos se mineralizó a las tres semanas después de su aplicación. Cogger *et al*. (1999) encontraron una recuperación aparente de N de 28 a 40% y de 11 a 44% para pastos forrajeros y trigo de secano de invierno en Washington, EE.UU., respectivamente. Barbarick *et al*. (1996) estimaron una mineralización neta de N de 25 a 57% para cinco a seis aplicaciones de 6.7 t ha^{-1} de biosólidos y una mineralización neta de 62 a 78% para cinco a seis aplicaciones de 26.8 t ha^{-1}. Gilmour y Skinner (1999) mencionan que el mejor predictor de N potencialmente disponible fue la relación C/N de los biosólidos, seguido por N orgánico y luego por el contenido total de N de los biosólidos. Las pendientes de las dos últimas relaciones sugieren que cerca del 45% de N orgánico y 40% del N total de los biosólidos estuvo en forma disponible para las plantas durante la estación de crecimiento del sorgo Sudan *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Estos porcentajes estaciónales son considerablemente más grandes que los usados comúnmente como tasas de mineralización anual por la USEPA (1995). Duglas y Magdoff (1991) encontraron que el nitrógeno mineralizado durante 67 días, representó del 41 al 50% del N orgánico de los biosólidos digeridos aeróbicamente y del 23 al 41% de los digeridos anaeróbicamente. También estos autores mencionan que las cantidades necesarias para suministrar 100 kg de N ha^{-1} (N inorgánico + N orgánico mineralizado en 67 días =100 kg de N) para biosólidos, fluctúa de 2 a 18 t ha^{-1} en base seca (92-315 t ha^{-1} en base húmeda). Por último, Barbarick e Ippolito (2000) encontraron que para aplicaciones continuas de biosólidos en trigo (*Triticum aestivum* L., "TAM 107") de secano, una tonelada de biosólidos provee un equivalente total de 8 kg N fertilizante, también estimaron una cantidad de mineralización en el primer año de 25 a 32% del N de los biosólidos. Los resultados de invernadero indican que la disponibilidad del N de una sola aplicación de biosólidos en "cantidades agronómicas" parece alcanzar solamente para dos cultivos. Para mantener las respuestas de absorción de N por el grano, comparable al N fertilizante, se necesitó aplicar biosólidos antes de cada siembra.

Materiales y Métodos

El trabajo se desarrolló en un suelo Yermosol cálcico (FAO/UNESCO, 1974) de la región agrícola de Delicias, Chihuahua, ubicado en la subestación Lázaro Cárdenas (28°24'13"N; 105°30'47"W) del Campo Experimental Delicias perteneciente al Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El suelo en el estrato 0-30 cm de profundidad tiene una textura migajón arenosa, pH entre 8.05 y 8.5, contenido de materia orgánica entre 0.23 y 0.34% y una Conductividad Eléctrica (salinidad) de 0.58-0.97 mmhos/cm. El contenido de $N\text{-}NO_3$, P, K, Ca, Mg, Na, Cu, Fe, Mn y Zn fue de 20, 9, 1316, 25997, 1182, 3421, 2, 10, 18 y 1 kg ha^{-1}, respectivamente. Se puede observar que se trata de un suelo mineral con bajo contenido de materia orgánica y pobre en nitrógeno y fósforo, con altos contenidos de potasio, calcio, magnesio y sodio. En el año 2000, se estudiaron las dosis 0, 20, 40 y 60 t ha^{-1} de biosólidos en los cultivos de algodón, alfalfa, avena y maíz forrajero a estos tratamientos se adicionó otro donde se fertilizaron de acuerdo al paquete

tecnológico para cada cultivo, esto con el objeto de poder comparar el efecto de la aplicación de biosólidos con respecto a la fertilización convencional. Los tratamientos se distribuyeron bajo un arreglo de parcelas divididas en donde en las parcelas grandes se aplicaron las dosis de biosólidos y los cultivos formaron las parcelas chicas, en un diseño experimental de bloques aleatorizados completos con cinco repeticiones. En una segunda etapa (año 2001) con el objeto de ajustar las dosis de biosólidos óptimas encontradas y conciliarlas con el potencial riesgo de contaminación con metales tóxicos, se estudiaron en algodón, alfalfa, avena y maíz forrajero las dosis 0, 10, 20, 30 y 40 t ha^{-1} de biosólidos, más un testigo con fertilización química de acuerdo al paquete tecnológico del CEDEL para cada cultivo. Los tratamientos antes mencionados se distribuyeron en un diseño experimental de cuadro latino con seis repeticiones. El análisis estadístico de los datos se realizó mediante el análisis de varianza del diseño utilizado, se determinó la comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey (α=0.05), utilizando el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1988). Los datos de materia seca se analizaron mediante los modelos de superficie de respuesta de tipo cuadrático, cuadrático segmentado y lineal segmentado, con el procedimiento NLIN del mismo paquete estadístico, considerando la información de seis repeticiones.

Resultados y Discusión

En el año 2000, el rendimiento de los cultivos mostró una respuesta altamente significativa en forma cuadrática, donde la dosis más adecuada para los cultivos evaluados fluctuó entre 39.3 y 46.3 t ha^{-1} de biosólidos en base seca (cuadro 1). Sin embargo, cuando los mismos datos se analizaron mediante el modelo de superficie de respuesta lineal segmentado, las dosis de biosólidos disminuyeron considerablemente, estando éstas entre 16.8 y 25.9 t ha^{-1} como lo muestra el cuadro 1 y la figura 1. Con los resultados anteriores y con el objeto de ajustar las dosis de biosólidos previamente exploradas y conciliarlas con el potencial riesgo de contaminación con metales pesados y nitratos, en el año 2001 se evaluaron cinco dosis de biosólidos (0, 10, 20, 30 y 40 t ha^{-1}) y un testigo con fertilización química. La aplicación de biosólidos produjo mayores rendimientos en comparación al testigo con fertilización química en todos los cultivos evaluados, donde el modelo lineal segmentado describe apropiadamente el comportamiento de las variables de rendimiento estudiadas en la aplicación de biosólidos. Las dosis más adecuadas fluctuaron desde 10.94 t ha^{-1} para maíz forrajero hasta 13.03 toneladas de biosólidos para alfalfa como se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 1. Rendimiento y dosis obtenidas con la aplicación de biosólidos en los cultivos en el año 2000. CEDEL-INIFAP. 2000.

Dosis de biosólidos (t ha^{-1})	Rendimiento (kg ha^{-1})			
	Alfalfa	Avena	Maíz	Algodonero
0	19,274	7,044	10,057	4,544
20	28,617	11,996	15,613	6,233
40	28,935	13,703	16,592	5,741
60	29,768	13,202	15,493	5,898
Fertilización Química	21,870	8,592	13,966	
Dosis Adecuada (t ha^{-1})				
Modelo cuadrático	46.3	44.6	40.2	39.3
Modelo lineal segmentado	22.0	25.9	21.5	16.8

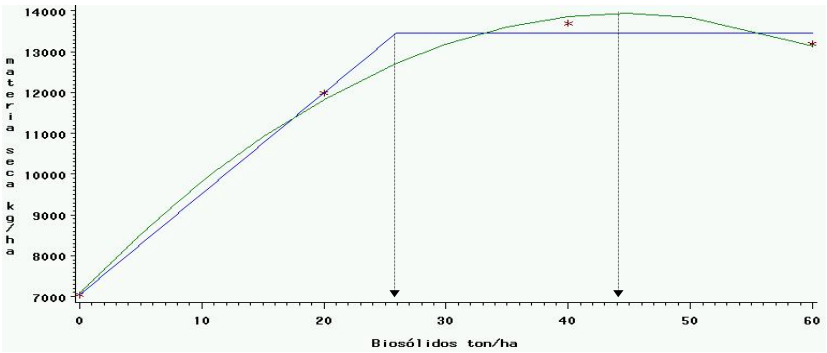


Figura 1. Modelo cuadrático y lineal segmentado del rendimiento obtenido en avena forrajera en el 2000. CEDEL-INIFAP. 2000.

Cuadro 2. Rendimiento y dosis obtenidas con la aplicación de biosólidos en los cultivos en el año 2001. CEDEL-INIFAP. 2001.

Dosis de biosólidos (t ha^{-1})	Rendimiento (kg ha^{-1})			
	Alfalfa	Avena	Maíz	Algodonero
0	14,425	7,083	12,893	3,981
10	17,369	10,889	16,212	4,837
20	17,891	11,081	16,264	4,878
30	18,264	11,364	16,765	4,875
40	19,467	11,521	16,335	5,305
Fertilización Química	14,854	9,168	14,301	4,142
Dosis Adecuada (t ha^{-1})	13.03	11.16	10.94	11.29

Los resultados de rendimiento obtenidos en este estudio son similares a los presentados por Quinteiro *et al*. (2001), quienes trabajando con dosis de biosólidos desde 5 hasta 40 t ha^{-1} en los cultivos de cebada y maíz, encontraron que la dosis más adecuada fue 20 t ha^{-1} y que la adición de lodos residuales aumenta el rendimiento de los cultivos, incluso cuando la dosis de aplicación no alcance a satisfacer la demanda de nitrógeno del cultivo. También, Ahlstrom (1995) evaluó en suelos calcáreos, biosólidos digeridos anaeróbicamente que proveyeran de 0 a 280 kg de N ha^{-1}, y encontró que los rendimientos de fibra de algodón mostraron un incremento lineal significativo al aumentar la cantidad aplicada del abono, donde la dosis apropiada resultó ser 15.6 t ha^{-1}. **Determinación de la dosis agronómica de biosólidos.** Los biosólidos digeridos anaeróbicamente tienen un alto valor agronómico; un manejo estratégico sustentable de estos residuos puede asegurar altos rendimientos y redituabilidad, y a su vez minimizar la acumulación de NO_3, P y otros elementos en el suelo (Binder *et al.*, 2002). La figura 2 muestra la respuesta en materia seca de forraje de maíz cuando se aplican biosólidos al suelo, donde se observa que se obtiene una producción similar con dosis desde 10 hasta 40 t ha^{-1} de biosólidos y se reduce considerablemente la producción al no aplicar este material. Considerando el comportamiento de la producción de materia seca en función de la dosis de biosólidos, se obtuvieron modelos de superficie de respuesta de tipo cuadrático, segmentado cuadrático y lineal segmentado. De acuerdo al coeficiente de determinación, significancia de los parámetros y la tendencia de los residuales de cada modelo, se

definió el modelo de regresión lineal segmentado como él más apropiado para describir este comportamiento, el cual es de la forma:

$$\text{Si } D < X_0 \ \therefore MS = \beta_0 + \beta_1 * D$$

$$\text{Si } D \geq X_0 \ \therefore MS = \beta_0 + \beta_1 * X_0$$

Donde: MS= Materia seca (kg ha^{-1})
β_0 = 12,893 (ordenada al origen)
β_1 = 331.9 (pendiente)
X_0 = 10.94 (punto de intersección)
D = dosis de biosólidos.

Con el modelo se determinó como punto de intersección de las líneas la dosis de 10.94 t ha^{-1} de biosólidos, con la cual se producen 16.53 t ha^{-1} de materia seca, concluyéndose que no existe respuesta a dosis mayores, por lo que agronómicamente se define como la dosis apropiada (figura 2). La dosis de biosólidos encontrada
en este estudio es muy parecida a la reportada por Binder *et al.* (2002), quienes mencionan que la cantidad de biosólidos para alcanzar los mayores rendimientos en maíz, fue de 11.5 t ha^{-1} en base seca (441 kg de N orgánico ha^{-1}).

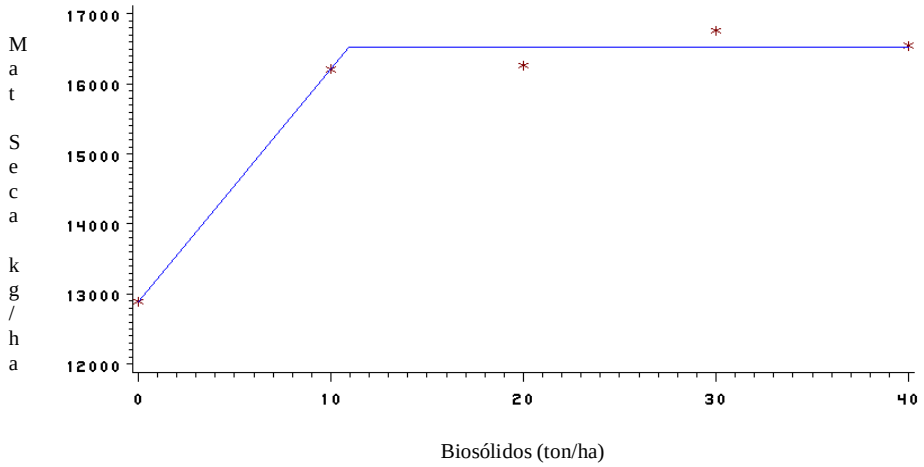


Figura 2. Rendimiento de materia seca de maíz en relación a la aplicación de Biosólidos.

Balance de nitrógeno en el suelo y mineralización del N de los biosólidos. Se muestreó el aporte y consumo de nitrógeno en las parcelas de los tratamientos estudiados (cuadro 4). Dentro del nitrógeno que entra al sistema está el nitrógeno residual al inicio del ciclo (N_{Ri}), el nitrógeno contenido en el agua de riego en forma de nitratos (N_A), el nitrógeno aplicado en forma de fertilizante químico (N_F), donde la suma de todos estos se clasifica como el nitrógeno de origen no orgánico (N_{NO}). También otra entrada de nitrógeno al sistema lo constituye el nitrógeno originado de la mineralización de los biosólidos (N_B). Del nitrógeno que sale del sistema únicamente se registró el absorbido por las plantas de maíz forrajero (N_C), desconociéndose la cantidad de nitrógeno que se pierde por desnitrificación o por lavado fuera del estrato 0-90 cm del suelo. En el cuadro 4 se observa que el nitrógeno absorbido por el cultivo y el contenido en el suelo al final del ciclo se incrementaron conforme se aumentó la dosis de biosólidos aplicada al suelo. Por otra parte, se estimó la cantidad de nitrógeno mineralizado de los biosólidos, obtenida al restar el nitrógeno de

origen no orgánico (N_{NO}) a la suma de nitrógeno absorbido por el cultivo (N_C) más el nitrógeno residual al final del ciclo (N_{Rf}), mostrando una tendencia a incrementar el contenido de N-mineralizado conforme se aumentó la dosis de biosólidos, sobre todo en las dosis 30 y 40 t ha^{-1}. Del nitrógeno mineralizado de los biosólidos, el 50%, 57%, 66% y 68% de las dosis 10, 20, 30 y 40 t ha^{-1} respectivamente, no fue utilizado por el cultivo y permaneció en el perfil 0-90 cm del suelo al final del ciclo. Esto sugiere la posibilidad de que este nitrógeno en forma de nitratos salga fuera del área radicular del cultivo mediante el lavado con el agua de riego y pueda contaminar cuerpos de agua. Por lo tanto, se recomienda no hacer aplicaciones arriba de 30 t ha^{-1} de biosólidos o bien sembrar cultivos de sistema radicular profundo, como alfalfa o algodonero.

Cuadro 4. Contenido de nitrógeno (kg ha^{-1}) en suelo, planta y mineralización de N de los biosólidos aplicados al suelo en maíz forrajero. CEDEL-INIFAP. 2001.

Biosólidos (ton ha^{-1})	Rendimiento (kg ha^{-1})	N_{Ri}	N_A	N_F	N_{NO}	N_C	N_{Rf}	N_T	N_B	% mineralización
T (180-60-00)	14,301	20	61	180	261	174.2	94.7	268.9	0	0
0	12,893	20	61	0	81	150.1	69.5	219.6	0	0
10	16,212	20	61	0	81	184.8	102.2	287.0	206.0	51.37
20	16,264	20	61	0	81	193.7	150.0	343.7	262.7	32.76
30	16,765	20	61	0	81	199.0	228.2	427.2	346.2	28.78
40	16,335	20	61	0	81	227.0	306.4	533.4	452.4	28.20

N_{Ri} = nitrógeno residual del perfil 0-30 cm del suelo, muestreado antes de la aplicación de Biosólidos; N_A = nitrógeno contenido en el agua de riego en forma de nitratos; N_F = nitrógeno aplicado como fertilizante; N_{NO} = nitrógeno con origen no orgánico ($N_{NO} = N_{Ri}+N_A+N_F$); N_C = nitrógeno removido por la parte aérea del cultivo; N_{Rf} =nitrógeno residual del perfil 0-90 cm del suelo, muestreado al final del ciclo del cultivo; N_T = nitrógeno total contenido en el sistema ($N_T=N_C+N_{Rf}$); N_B = nitrógeno mineralizado de los biosólidos en el ciclo de cultivo ($N_B=N_T-N_{NO}$); % de mineralización = N_B*100/Nitrógeno total orgánico en los biosólidos.

Conclusiones

En la región de Delicias, Chihuahua, en los cultivos estudiados, la aplicación de biosólidos produjo altos rendimientos y fue superior a la fertilización química. Además, dosis de 11 a 13 t ha^{-1} de biosólidos satisfacen los requerimientos nutrimentales para un ciclo. Dosis de biosólidos mayores a las necesarias para cada cultivo no incrementan la producción, este comportamiento se describe apropiadamente con un modelo lineal segmentado. Aplicaciones de más de 20 t ha^{-1} de biosólidos producen cantidades de N-NO_3 que el cultivo no utiliza (50-60%), y que potencialmente pueden contaminar cuerpos de agua, sobre todo cuando se siembra un solo cultivo en el año.

Referencias

Ahlstrom, S.B. 1995. Cotton responses to land application of water and wastewater residuals in El Paso county- 1993 and 1994. 1994 final report. Texas Agricultural Experiment Station. Texas A&M Research Station.

Barbarick, K.A. and J. A. Ippolito. 2000. Nitrogen fertilizer equivalency of sewage biosolids applied to dryland winter wheat. J. Environ. Qual. 29:1345-1351.

Barbarick, K.A., J. A. Ippolito and D.G. Westfall. 1996. Distribution and mineralization of biosolids nitrogen applied to dryland wheat. J. Environ. Qual. 25:796-801.

Cogger, C. G., D.M. Sullivan, A.I. Bary and S.C. Fransen. 1999. Nitrogen recovery from heat-dried and dewatered biosolids applied to forage grasses. J. Environ. Qual. 28:754-759.

Douglas, B.F. and F.R. Magdoff. 1991. An evaluation of nitrogen mineralization indices for organic residues. J. Environ. Qual. 20:368-372.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1974. Soil map of the world. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Paris, France. 59 p.

Gilmour, J.T. and V. Skinner. 1999. Predicting plant available nitrogen in land-applied biosolids. J. Environ. Qual. 28:1122-1126.

SAS Institute. 1988. SAS/STAT User's guide. Release 6.03 SAS Institute Inc. Cary N.C.

Sullivan, D. 1998. Fertilizing with biosolids. PNW 508. 12 p. Oregon State University.

Tester, C.F. 1990. Organic amendement effects on physical and chemical properties of a sand soil. Soil Sci. Am. J. 54:827-831.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

LA COMISION DE USO DE BIOSOLIDOS DEL VALLE DE JUAREZ: RETO PARA UN PROGRAMA SUSTENTABLE EN EL NORTE DE CHIHUAHUA

Flores-Margez, J.P.[1*]; Corral-Díaz, B.[1]; Osuna-Ávila, P.[1]; Flores-Arras, A.I.[2]

[1]Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, México.
[2]Servicios Agropecuarios Paso del Norte S.C. Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

*Autor responsable: juflores@uacj.mx; Calle Plutarco Elías Calles Núm. 1210, Col. Foviste Chamizal, Ciudad Juarez, Chihuahua, México. CP 32310; Tel. +52(656)-688-1800 ext. 1561, 1978 y 1621

Resumen

La organización y funcionamiento de una Comisión, es un asunto prioritario para activar programas de uso beneficio de biosolidos o lodos residuales, pero a la vez es un reto porque la disponibilidad de los integrantes requiere de un convencimiento sobre las ventajas ambientales y económicas. El presente estudio se realizó en el Valle de Juárez, Chihuahua, 2013 a 2018. Los objetivos fueron capacitar a los agricultores y técnicos sobre la aplicación de biosólidos en suelos agrícolas, utilizar estrategias de difusión del programa para fomentar el uso de biosolidos en suelos agrícolas y, estructurar y activar las funciones de los integrantes de la Comisión de Uso de Biosólidos (CUB) para esta región. Los resultados fueron cursos de capacitación con una asistencia total de 410 personas, lo cual incluyó agricultores, técnicos, funcionarios, estudiantes y público en general. Estos cursos fueron apoyados con información y publicaciones tipo desplegables informativas. Las actividades de difusión se llevaron a cabo mediante reuniones de grupos institucionales, promoción para formar la Comisión de Uso de Biosolidos en Ciudad Juárez, Chihuahua, notas en los principales periódicos locales, entrevistas de televisión, publicaciones en revistas técnicas, tesis generadas en el proyecto y agricultores que aplican biosolidos y apoyan en la promoción del programa en los tres municipios del Valle de Juárez. Las recomendaciones fueron continuar las gestiones ante las autoridades gubernamentales y representantes de productores agropecuarios para contar con una permanente CUB. Promover la adquisición de máquinas esparcidoras de biosólidos y continuar las actividades de extensión, demostración e investigación sobre las ventajas de los biosólidos en diferentes tipos de suelo y cultivos.

Palabras clave: Lodos residuales, agricultores, organizacion, difusion, publicaciones.

Introducción

La meta 3 del Programa Frontera 2020 (US-EPA, Región 6) se refiere a "promover la gestión integral de materiales, la gestión de residuos y la limpieza de sitios": residuos especiales como el lodo de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), en especial usos productivos para los lodos o biosólidos en la región del Valle de Juárez, Chihuahua, frontera con El Paso, Texas. (https://www.epa.gov/border2020). El tratamiento de aguas residuales en Ciudad Juárez, Chihuahua, está generando 3560 lps equivalente a 114 millones de metros cúbicos de aguas tratadas anualmente (JMAS, 2018) y generan 270 t lodos residuales por día, es decir, 98,550 metros cúbicos de biosólidos digestados anaeróbicamente, los cuales tienen 70% de humedad (JMAS-CAR-Degremont, 2018).

Los resultados del proyecto "Reciclaje de biosolidos en suelos agrícolas del Valle de Juárez, Chihuahua", llevado a cabo entre 2013 y 2015 con apoyo del Programa Frontera 2020, mostraron la factibilidad técnica, económica y ambiental de la disposición de biosolidos en cuatro parcelas agrícolas, así como el fomento de esta práctica entre los agricultores y esfuerzos realizados por constituir la Comisión de Utilización de Biosolidos (Flores et al., 2015; Flores y Méndez, 2013). El citado proyecto planteo la problemática de que no se tenía suficiente vigilancia técnica para el buen desarrollo de un programa sustentable de disposición de biosolidos en suelos agrícolas, ya que los biosolidos se seguían enviando a predios agrícolas del Valle de Juárez sin una supervisión técnica basada en la legislación vigente (NOM-004-ECOL-2002) y en la US-EPA (EPA, 2002; EPA 503 biosolids rule, 1994; Sullivan, 1999). Además, los agricultores y técnicos no disponían de la capacitación apropiada para la aplicación de biosólidos en las diferentes condiciones edáficas y de manejo agronómico que tienen en la región. Estas situaciones adversas pueden ocasionar impactos negativos en la calidad ambiental de esta región fronteriza, ya que las parcelas agrícolas en lugar de manejarse como sitios de disposición ecológica y productiva pueden estarse convirtiendo en tiraderos de lodos residuales.

Los impactos del proyecto anterior favorecieron en que la disposición de los biosolidos empezara a reducirse en envíos al relleno sanitario municipal de Ciudad Juárez a partir de 2014, ya que una parte importante se envió a predios agrícolas en tres modalidades: a) a cuatro parcelas agrícolas supervisadas en el proyecto; b) a predios de agricultores quienes solicitaron asesoría a los investigadores para aplicar biosolidos; y c) a predios de agricultores que solicitaron directamente a las PTAR y cuya ubicación de los predios se desconoce. De las modalidades anteriores, el escenario más apropiado fue el a) donde se llevaron a cabo las parcelas del proyecto bien supervisadas, pero se observaron situaciones en los casos b y c, en que los productores agrícolas no realizaron análisis de suelo y las dosis de biosolidos fueron aplicadas conformes sus criterios en dosis mayores a las requeridas y en otros casos dejaron los residuos sin incorporar al suelo hasta que se secó a la intemperie. Estos últimos casos reflejan un seguimiento inapropiado de estos materiales, ya que no se cuenta con supervisión técnica y legal por alguna institución de gobierno o privado regulador de prácticas de manejo agronómico y ambiental apropiadas.

La tendencia es reducir significativamente el confinamiento de biosolidos en el relleno sanitario municipal. Esto ayudara a reducir lixiviados que contaminen el acuífero, la emisión de malos olores, la atracción de vectores de enfermedades (roedores y perros u otras mascotas) sin control que pueden diseminar plagas y enfermedades existentes en estos residuos. Además, al considerar la dispersión de partículas al aire lo cual es común en esta región, por la ocurrencia de tolvaneras intensas que podrían afectar la salud de dos millones de habitantes en la Región Paso del Norte que incluye Juárez-El Paso, TX. Por lo anterior, es urgente continuar fomentando una de las mejores opciones reportadas por la US-EPA para el manejo y disposición de lodos residuales o biosólidos como fertilizante orgánico y mejorador de suelos agrícolas, que permite reciclar los nutrientes y materiales orgánicos en un sistema natural con beneficios ambientales y económicos (Cogger, et al., 2001; Sullivan, 1999). La investigación reciente sobre biosolidos en suelos agrícolas del Valle de Juárez ha mostrado ventajas en la economía de los agricultores al reducir el costo de fertilizantes químicos, aumentar la producción de cultivos sin afectar la calidad del suelo y mejorar las condiciones ambientales (Flores et al., 2015). Estos estudios coinciden con lo reportado por varios estudios en la región (Flores et al., 2007; Figueroa et al., 2008; Flores et al., 2010; Flores et al., 2013a; Flores et al, 2013b).

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en el Valle de Juárez, al norte del estado de Chihuahua. El grupo de trabajo del proyecto estableció como estrategias metodológicas de capacitación en dos formas: 1) Presentaciones sobre biosolidos, aguas residuales y legislación, entre otros, además se imprimió esta información y se elaboraron carpetas para entregar a los asistentes de estos cursos; 2) Publicaciones tipo desplegables informativas que fueron entregadas en los cursos, talleres o reuniones diversas. Estos fueron presentados en los Consejos Distritales de Desarrollo Rural organizados por SAGARPA en cada uno de los tres municipios (Juárez, Guadalupe y Praxedis), así como en reuniones de la sociedad de agrónomos y otros eventos.

El material de apoyo didáctico y actividades de difusión utilizadas en los cursos fueron preparados por los integrantes del proyecto UACJ y SAPN, así como previas reuniones de trabajo para acordar y distribuir los temas conforme la capacidad de cada integrante. Es importante resaltar que durante las sesiones con agricultores, técnicos, funcionarios y público en general se dio la información de biosólidos y aguas residuales mediante conferencias tipo curso breve, con discusión y análisis de seguimiento del programa de uso de biosolidos en agricultura. Además de la distribución de las publicaciones en cada sesión, se registró la asistencia y comentarios para retroalimentación de mejoras al proyecto de aplicación de biosolidos. Esta estrategia o modalidad permitió tener una estrecha relación de comunicación con los representantes del sector agropecuario y ambiental de la región, que brinda ventajas sobre la realización de cursos formales en los cuales se dificulta contar con audiencia suficiente y representativa para el éxito de la difusión y adopción de biosolidos con fines productivos. En apoyo a la capacitación se incluyó recorridos por la planta de tratamiento de aguas residuales sur con los representantes institucionales, agricultores, técnicos, investigadores y alumnos tesistas participantes en el proyecto.

La formación de la Comisión (CUB) para el adecuado uso de los biosólidos fue una de las actividades más consistentes en las diversas actividades de capacitación y difusión que incluyó el proyecto. La estrategia consistió en utilizar los siguientes tres medios:

a) Elaboración un escrito tipo acta constitutiva de la CUB y su entrega a cada Director de Desarrollo Rural de los municipios del Valle de Juárez, Chihuahua.
b) Utilización de la publicación No. 4 titulada ¨desplegable informativa de la CUB¨.
c) Contrato comodato entre la UACJ y la JMAS para el préstamo de la esparcidora de biosólidos.
d) Reuniones específicas de análisis para la formación de la CUB.

La elaboración del acta consistió en considerar lo referido en la Ley de Desarrollo Rural Sustentable y los estatutos de los Consejos Municipales para el Desarrollo Rural Sustentable. El Capítulo VIII de las comisiones de trabajo para cada municipio y los Artículos 39 a 47, establecen que el Consejo podrá formar comisiones de trabajo de los temas sustantivos en materia de la Ley y donde cada Comisión contará con un Coordinador. Con base en esto, se planteó la operación de un programa de utilización y manejo de biosolidos en suelos agrícolas. Esto consiste en establecer medidas de control que garanticen que el uso de los biosolidos en la agricultura se lleva a cabo de acuerdo con los lineamientos asentados en los reglamentos, leyes y normas oficiales que rigen la materia, y permitan asegurar que la salud humana y el medio ambiente estén protegidos. Los beneficios previstos del uso de biosolidos, realmente se reflejen en el mejoramiento de la productividad del sector agrícola. Esta condición de observación de cumplimento de las disposiciones legales exige la participación conjunta de todos los sectores involucrados en la generación, manejo y utilización de biosolidos a través de una Comisión de Utilización de Biosolidos, creado ex profeso para vigilar la buena marcha del programa, hacer partícipe a las autoridades de sus inquietudes y recomendaciones y promover el uso de los biosólidos.

Resultados y Discusión.

En total se impartieron 18 cursos de capacitación con una asistencia de 410 personas, cuya audiencia incluyó a los agricultores, técnicos, funcionarios, estudiantes y público en general. Estos cursos fueron apoyados con siete ponencias de los temas: a) Importancia y el programa sustentable de biosolidos, b) Tratamiento de aguas residuales y legislación, c) Muestreo y análisis físico química y microbiológica de agua potable y residual, d) Microrganismos patógenos en agua residual y biosolidos, e) Uso de biosolidos en cultivos del Valle de Juárez Chihuahua, f) Antecedentes de la investigación en biosolidos y la Comisión de uso de Biosolidos, y g) Uso de biosolidos en otros países. Los cursos fueron apoyados con 12 publicaciones tipo desplegables informativas con resultados del proyecto y temas de apoyo como la formación de la Comisión de Uso de Biosolidos. Los resultados de esta sección se pueden resumir en cuatro acciones principales: a) Elaboración de un acta constitutiva para la Comisión de Uso de Biosolidos, b) Reuniones de trabajo y entrega del acta a cada uno de los tres Directores de Desarrollo Rural Municipal, c) Recorridos por las plantas de tratamiento de agua residual de Ciudad Juárez, en las que integrantes del CUB fueron informados del proceso de digestión de lodos activados, transporte y almacenamiento, y d) Elaboración de un contrato-comodato entre la UACJ y la JMAS para el

préstamo de la maquina esparcidora de la JMAS, que permite fomentar la aplicación de biosólidos en suelos agrícolas. En apoyo a la formación del CUB se entregó el material de capacitación y difusión (presentaciones y publicaciones) a las autoridades de la JMAS y representantes de gobiernos e instituciones involucradas en el tema de lodos residuales o biosólidos.

Conclusiones

Las actividades de difusión fueron de utilidad en formar la Comisión de Uso de Biosolidos en Ciudad Juárez, Chihuahua. La activación de la CUB en cada municipio fue satisfactoria al darse el acta constitutiva y haber tenido reuniones de análisis para su puesta en marcha y permanencia. Aunque los integrantes de la Comisión cuentan con la información necesaria sobre legislación de biosólidos en México y aspectos técnicos de su transporte y aplicación en suelos agrícolas, se requieren más esfuerzos de gestión ante los integrantes de la Comisión para que puedan adquirir un ritmo de trabajo dentro de los Consejos de Desarrollo Rural Sustentable por municipio. Continuar aclarando las funciones específicas de cada integrante de la Comisión será una tarea a realizar para garantizar sus funciones. Una limitante adicional fue que los agricultores no disponen de suficientes esparcidoras de biosolidos.

Agradecimientos. Este proyecto fue financiado por Environmental Protection Agency (US-EPA) dentro del Programa Frontera 2020 Región 6, los recursos económicos fueron administrados por la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF), actualmente North American Development Bank (NADB). Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) a través del convenio Institucional COCEF – UACJ No. TAA16-016, PID:20298, B2020 R6. 335.

Referencias

Cogger, C., G. A.I. Baray, S.C. Fransen, and D.M. Sullivan. 2001. Seven years of biosolids versus inorganic nitrogen applications to tall fescue. J. Environ. Qual. 30:2188-2194.

Figueroa, V.U., M.A. Flores O., M. Palomo R., B. Corral D. y J.P. Flores M. 2008. Uso de biosólidos estabilizados con cal como fertilizante orgánico en algodonero para el Valle de Juárez, Chihuahua. Ciencia en la Frontera*:* revista de ciencia y tecnología de la UACJ. VIII (2):35-43.

Flores-Márgez, J. P., Poncio-Acosta, M. Z., Salas-Galván, E., Pérez-Casio, F., Corral Avitia. A. Y., Salazar-Sosa, E., Trejo-Escareño, H. I. 2010. Mineralización de nitrógeno en biosólidos estabilizados con cal. Terra Latinoamericana. 28. 307-317.

Flores-Margez, J.P., B. Corral D., P. Osuna A., E. Olivas E., L.C. Agüero R., L.E. Santana C. y A. I. Flores A. 2015. Reciclaje de biosolidos en suelos agrícolas del Valle de Juarez, Chihuahua. Informe final de proyecto de investigación, UACJ, COCEF, US-EPA, Programa Frontera 2020. 134 p.

Flores, M.J.P. y H. Méndez O. 2013. Evaluación de Biosolidos en una Predio Agrícola del Valle de Juárez, Chihuahua. Informe final de proyecto. Servicios Agropecuarios Paso del Norte S.C. Concesionaria de Aguas Residuales de Ciudad Juárez – Degremont, Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Ciudad Juárez, 38 p.

Flores, M.J.P., B. Corral D. y G.S. Mediano. 2007. Mineralización de nitrógeno de biosólidos estabilizados con cal en suelos agrícolas. Terra Latinoamericana. 25:409-417.

Flores, M.J.P., E. Jaramillo L., N.W. Assadian, G. Di Giovanni, F. Perez C. and M. K. Shukla. 2013a. Heavy metals in oat and soil treated with lime-stabilized biosolids and reclaimed wastewater. Journal of Environmental&Analytical Toxicology. Flores-Márgez et al., J Environ Anal Toxicol 2013,http://dx.doi.org/10.4172/2161-0525.S6-001.

Flores Márgez, J. P., Valero Córdoba, C., Osuna Ávila, P., Corral Díaz, B., y Shukla, M. 2013b. Textura del suelo y tipo de agua de riego en la disponibilidad de fósforo. Terra Latinoamericana, 11:220.

SEMARNAT, NOM-004-ECOL-2002. Norma oficial mexicana, protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Secretaria de medio Ambiente y Recursos Naturales-SEMARNAT. 18 p.

Sullivan, D.M. 1999. Toward quality biosolids management: a trainer's manual. Version 1.0, Oregon State University.128 p.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

SUELOS CON TEPETATES DEL AREA NATURAL PROTEGIDA DE LA SIERRA DE GUADALUPE, CIUDAD DE MÉXICO

Vela-Correa, G.[1*] y Rodríguez-Gamiño, Ma. de L.[2] Flores-Román, D.[†]

[1]Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Departamento El Hombre y su Ambiente.
[2]Facultad de Filosofía y Letras. Sistema de Universidad Abierta (SUA-yed). Universidad Nacional Autónoma de México.

*Autor responsable: gvela@correo.xoc.uam.mx. Calzada del Hueso 1100. Colonia Villa Quietud, Coyoacán. C. P. 04560, Ciudad de México. Tel: 54-83-70-00 (Ext. 3277).

Resumen

En México, los tepetates son capas endurecidas formadas por depósitos consolidados de cenizas volcánicas que limitan el establecimiento y crecimiento de las plantas. Lo anterior es importante, ya que la Sierra forma una barrera natural contra la contaminación y donde son frecuentes los suelos con tepetates. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue caracterizar los suelos con tepetates en el Área Natural Protegida (ANP) de la Sierra de Guadalupe. Por lo que a partir de fotografías aéreas se ubicaron los sitios S-1 La Caseta, S-2 Joya de Nieves y S-3 La Paloma, para el muestreo de suelos. En cada sitio se describió un perfil morfológico de suelos y se tomaron muestras por horizonte para su análisis físico y químico. A cada muestra se le determinó el color, densidad, textura, pH, materia orgánica, CIC, iones intercambiables de Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} y K^{+}. En cuanto a las capas endurecidas se identificó el cementante y se realizó su análisis químico con una microsonda y energía dispersiva de rayos X. En general, los suelos tienden a la neutralidad, tienen un contenido medio de materia orgánica y una elevada CIC debido a la presencia de arcillas y complejos alofánicos. Las capas endurecidas del 2Cx del S-1 La Caseta y S-2 Joya de Nieves corresponden a fragipanes que están formados por arcillas compactadas y el material endurecido del horizonte 2Cqm del Sitio S-3 La Paloma es un duripán formado por tobas cementadas por SiO_2.

***Palabras clave**: Micromorfología, Suelos volcánicos, duripán, fragipán, tobas*

Introducción

En México, es común encontrar suelos con capas endurecidas, las cuales se estima se presentan en el 30% de su superficie. A estas capas, los campesinos las conocen como tepetates, que son depósitos consolidados de cenizas volcánicas, con influencia de procesos edáficos y antropogénicos. Los tepetates, se encuentran en zonas donde se presenta un período de lluvia estacional y que en alguna época estuvieron expuestos a emisiones piroclásticas (Flores-Román *et al.*, 1992). Estos materiales son muy comunes en el Eje Neovolcánico y en muchos casos se caracterizan porque en ellos se encuentran asentamientos con una alta densidad de población de escasos recursos, por lo que terminan abandonándolos y considerándolos como áreas improductivas (Vela-Correa y Flores-Román, 2004). Es fundamental el estudio de estos materiales el cual involucra el conocimiento de su morfología, así como de los factores y procesos que les dieron origen (Bockeim *et al.*, 2005). La Sierra de Guadalupe ocupa una extensión considerable de recursos naturales al norte de la Ciudad de México y que forma una barrera natural contra la contaminación y degradación del ambiente, ya que interrumpe áreas con usos urbanos, industriales, explotación de minerales y áreas deforestadas por lo que es considerada como una de las reservas más importantes de la Ciudad de México. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue caracterizar los suelos

de la Sierra de Guadalupe con presencia de tepetates a partir de sus propiedades físicas, químicas y morfológicas.

Materiales y Métodos

La zona de estudio

El ANP de la Sierra de Guadalupe se encuentra al norte de la Ciudad de México en los 19°37' y 19°29' de latitud Norte y los 99°12' y 99°02' de longitud Oeste (INEGI, 1984), tiene una superficie total de 633.68 ha (Figura 1).

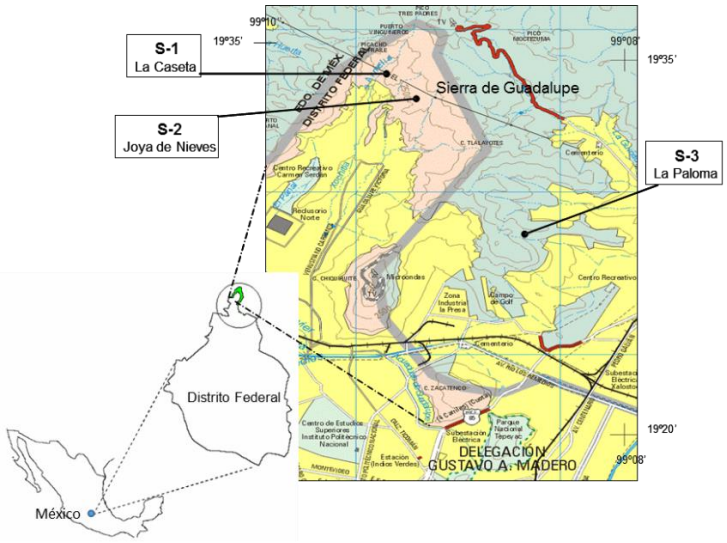


Figura 1. Localización de la zona de estudio y sitios de muestreo

Características fisiográficas

El ANP de la Sierra de Guadalupe es una formación volcánica, con elevaciones que se formaron a partir de erupciones estrombolianas y actividad piroclástica, durante el Cenozoico y el Plioceno. Las rocas que la conforman son andesitas y dacitas, aunque es común la exposición de lavas por la acción de los procesos denudativos que han removido materiales menos resistentes como cenizas, arenas y pómez (Mosser, 1990). En la parte central presenta un fracturamiento con evidencias de hidrotermalismo, por lo que son comunes los deslizamientos de rocas y suelos (Lugo y Salinas, 1996). El clima es C(wo)(w) templado subhúmedo con precipitaciones escasas en verano, con una temperatura anual de 16 ºC y una precipitación total anual de 548.7 mm. La vegetación está representada por *Eucalyptus* sp., *Casuarina equisetifolia*, *Cupressus lusitanica*, *Pinus montezumae*, y *P. radiata*, mientras que en las partes más elevadas se encuentran *Quercus rugosa*, y *Q. deserticola*, *Mammillaria rhodantha*, *Opuntia* sp. y *Yucca filifera*, entre otras (García, 1988; Rzedowski y Rzedowski, 1979).

Trabajo en campo y laboratorio

Mediante fotointerpretación se ubicaron los sitios para el muestreo de suelos y la designación de horizontes, descripción de perfiles y toma de muestras de suelo, así como el color, densidad aparente (Da) y real (Dr), textura, pH, materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y iones intercambiables de Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} y K^{+} (SEMARNAT, 2002). Los suelos que presentaron capas

endurecidas, estas se identificaron con base en Soil Survey Staff (1999) y su análisis químico se realizó con un equipo de energía dispersiva de rayos X marca Tracor.

Resultados y Discusión

Características morfológicas de los sitios de estudio

Los sitios estudiados se encuentran en la parte central de la Sierra y de acuerdo con Lugo y Salinas (1996), es donde más se aprecia el fracturamiento de los materiales tobáceos por la actividad hidrotermal que se presentó durante alguna época en la Sierra. En el Cuadro 1 se muestran las características geomorfológicas.

Cuadro 1. Características morfológicas de los sitios

Localización	Pendiente (%)	Altitud (m)	Geoforma	Uso de suelo y vegetación	Material parental
S-1. La Caseta. 19°33' N 99°06' O	**5**	2,620	Zona plana acumulativa	*Eucalyptus globulus*, *Casuarina equisetifolia*, *Schinus molle*, *Prosopis juliflora*, *Mimosa biuncifera* y *Opuntia imbricata*.	Tobas y andesitas
S-2. Joya de Nieves. 19°33' N 99°06' O	10	2,580	Zona plana acumulativa	*Eucalyptus* sp., *Pinus* sp., y *Opuntia* sp	Piroclásticos y andesitas
S-3. La Paloma 19º30’ N 99º07’ O	25	2,640	Ladera terraceada	Agrícola para el cultivo de maíz *(Zea maiz)* y frijol *(Phaseolus vulgaris)*	Andesitas

Propiedades físicas y químicas de los suelos

Sitio 1. La Caseta.

El color en seco del A11 es pardo grisáceo (10YR 4/2) y en húmedo, pardo grisáceo oscuro (2.5Y 4/2); presenta la densidad aparente más baja de todo el perfil y, por lo mismo, la mayor porosidad y una textura arcillosa. El horizonte A12 tiene un color en seco pardo grisáceo (10YR 5/2) y rojo claro (2.5YR 4/2) en húmedo; su densidad es menor a la unidad por la presencia de materiales orgánicos; tiene una porosidad mayor al 50% y su textura es arcillosa (Cuadro 2). El horizonte A presenta la mayor porosidad de este suelo que disminuye con la profundidad, donde dominan materiales más compactos, particularmente en los horizontes C y 2Cx. El horizonte C presenta un color en seco gris (10YR 6/1) y en húmedo pardo grisáceo (2.5Y 5/2); su textura es arcillosa, con agregados muy duros en seco, mismos que se disgregan al contacto con el agua. La capa 2Cx tiene un color en seco olivo claro (5Y 6/3) y olivo (5Y 5/3) en húmedo, es dominante la presencia arcillas, formadas por el intemperismo de los materiales piroclásticos que se depositaron sobre las coladas de lava de origen andesítico. El pH tiende a la neutralidad de acuerdo con Vázquez-Alarcón (1997), debido a las bases provenientes de los horizontes superficiales, lo que provoca que los horizontes sean ligeramente más básicos al incrementarse la profundidad. El horizonte A11 tiene un contenido medio de MO por los aportes de la vegetación del lugar. A su vez esta disminuye con la profundidad. La CIC es muy alta en todos los horizontes, por la presencia de arcillas y complejos alofánicos no cristalinos provenientes de la alteración del vidrio volcánico (Malucelli *et al*., 1999). El complejo de cambio está dominado por Mg^{2+} y Ca^{2+} provenientes de la alteración olivinos y feldespatos cálcicos, que se acumularon por el bajo nivel de agresividad climática de acuerdo con Fournier (1960).

Sitio 2. Joya de Nieves.

El horizonte A11 tiene un color en seco pardo grisáceo (10YR 5/2) y en húmedo pardo amarillento oscuro (10YR 4/4), presenta la menor densidad aparente debido a la acumulación de materiales de origen

orgánico, lo que se refleja en una mayor porosidad; su textura es franco arcillosa. El horizonte A12 tiene un color en seco pardo grisáceo (10YR 5/2) y en húmedo pardo amarillento oscuro (10YR 4/4), con una porosidad del 41.66 % y una textura franco-arcillosa. El horizonte C tiene un color en seco pardo muy claro (10YR 7/3) y olivo (5Y 5/3) en húmedo, con una textura franco-arenosa. El horizonte 2C tiene un color en seco pardo claro (7.5YR 6/4) y en húmedo pardo (7.5YR 5/4); su porosidad es de 40.59 % y presenta una textura franca. El horizonte 3Cx es pardo claro (7.5YR 6/4) en seco y pardo oscuro (7.5YR 4/4) en húmedo; tiene una porosidad < 30% y una textura franco-arenosa. Los horizontes A11 y A12 tienden a la neutralidad y tienen un contenido medio de MO, misma que disminuye con la profundidad. La CIC fue muy alta en todos los horizontes lo que se atribuye a la presencia de arcillas y de complejos alofánicos amorfos provenientes del intemperismo del vidrio volcánico y complejos humus-aluminio (Campos *et al*., 2001). El complejo de cambio está dominado por Mg^{2+} y Ca^{2+} provenientes de la alteración de olivinos y feldespatos cálcicos (Pascual-Aguilar *et al.*, 2001).

Sitio 3. La Paloma.

El horizonte Ap tiene un color en seco rojo oscuro (2.5YR 3/2) y negro (10YR 2/1) en húmedo; la densidad aparente es menor a la unidad debido al laboreo a que está sujeto y a la incorporación de residuos de las cosechas; su porosidad es mayor al 50 % con una textura franco-limosa. El horizonte AC tiene es de color gris muy oscuro (10YR 3/1) en seco y negro (10YR 2/1) en húmedo; con una densidad aparente de 1.23 Mg m^{-3} por la presencia de materiales más compactos, con una textura franco limosa. El horizonte 2Cqm es pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco y pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo; se encuentra sujeto a una fuerte cementación, ya que se estimó una porosidad menor al 30 %, por lo que dificulta el intercambio gaseoso, la penetración de raíces y el paso del agua a mayor profundidad. Particularmente, los horizontes A y AC tienen una alta CIC por la presencia de compuestos orgánicos y arcillas, mientras que en horizonte 2Cqm es baja. La saturación de bases está dominada por Ca^{2+} producto del intemperismo de feldespatos cálcicos y ferromagnesianos, así como por la posible aplicación de fertilizantes, misma que se refleja en el aporte de Na^{+} que es mayor que en los otros suelos estudiados.

Cuadro 2. Propiedades físicas y químicas de los suelos

Prof.	Hz	Densidad		Porosidad	Partículas			pH	MO	Corg.	CIC	Iones intercambiables				SB
		aparente	real		arenas	limos	arcillas					Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	
(cm)		(Mg m^{-3})		(%)		(%)			- - - % - - -			- - - - - - Cmol (+) Kg^{-1} - - - - - -				- % -
S-1. La Caseta																
0 - 13	A11	0.7	1.8	59.5	9.3	38.7	52.0	6.8	5.9	3.4	47.6	9.0	25.0	1.1	1.9	77.7
13 - 53	A12	0.9	1.8	52.5	6.7	37.9	55.4	7.0	2.4	1.4	55.7	13.0	46.0	0.8	1.1	100.0
53 - 68	C	0.9	1.9	49.5	17.2	32.0	50.8	7.0	0.8	0.5	51.8	11.0	60.0	1.1	0.9	100.0
>68	2Cx	1.0	1.8	47.8	23.5	29.3	47.2	7.1	0.1	0.0	47.6	8.0	52.0	1.1	0.7	100.0
S-2. Joya de Nieves																
0 - 10	A11	0.8	1.9	56.3	1.5	36.0	33.6	7.3	4.1	2.4	85.6	13.0	32.0	0.7	1.4	55.1
10 - 40	A12	1.0	1.7	41.7	4.4	43.4	29.5	7.2	1.7	1.0	50.5	15.0	39.0	0.9	1.7	100.0
40 - 62	C	1.0	1.8	46.0	16.5	38.0	7.5	8.0	0.2	0.1	95.1	13.0	42.0	1.5	1.7	61.2
62 - 100	2C	1.0	1.7	40.6	1.8	30.8	23.4	8.4	0.2	0.1	85.0	14.0	35.0	2.7	1.8	62.9
>100	3Cx	1.1	1.7	36.2	2.0	23.9	14.2	8.3	0.1	0.1	57.2	17.0	33.0	1.0	2.2	93.2
S-3. La Paloma																
0 – 20	Ap	0.9	2.2	58.7	3.8	64.5	21.7	6.9	5.3	3.1	26.4	18.2	0.8	7.7	0.6	100.0
20 – 80	AC	1.2	2.3	57.6	8.8	54.4	20.6	6.5	4.3	2.5	29.7	18.2	0.7	8.4	0.9	94.9
> 80	2Cqm	1.6	2.2	28.1	---	---	---	7.1	0.3	0.2	14.9	4.9	0.5	8.4	0.8	98.1

Características de las capas endurecidas

En los sitios S-1 La Caseta y S-2 Joya de Nieves los suelos presentaron horizontes 2Cx que se formaron a partir de la alteración de piroclastos, mismos que se disgregaron al sumergirse en agua, por lo que se consideraron como fragipanes. Mientras que el horizonte 2Cqm del S-3 La Paloma, es muy duro tanto en seco como en húmedo, y solo se colapsó cuando fue tratado con KOH caliente al 30 %, por lo que se consideró un material poco intemperizado cementado por SiO_2 considerado como un duripán.

El análisis químico indicó que presentan una elevada relación Si/Al (Cuadro 3) dominada por SiO_2 en comparación con Al_2O_3 y FeO derivados de un incipiente intemperismo. El horizonte 2Cx del S-1 tiene la menor cantidad de SiO_2 y las mayores cantidades de FeO, MgO, CaO y la menor relación Si/Al, lo que implica una mayor alteración, donde el relieve propició condiciones de drenaje moderado. Estos óxidos provienen de la alteración de feldespatos, olivinos y ferromagnesianos que forman una toba de origen dacítico-andesítico, cuyo intemperismo dió lugar a la formación de arcillas de tipo esmectítico (Duncan y Franzmeier, 1999).

Cuadro 3. Análisis del cementante de las muestras de tepetate

Sitio	Óxidos totales								Relación
	Hz	SiO_2	Al_2O_3	FeO	MgO	CaO	TiO_2	K_2O	Si/Al
				%					
S-1. La Caseta	2Cx	45.56	11.81	15.87	10.25	11.20	2.69	0.47	3.66
S-2. Joya de Nieves	2Cx	58.16	26.98	8.28	2.49	1.21	1.09	0.68	6.55
S-3. La Paloma	2Cqm	67.30	20.12	3.22	1.76	2.75	0.11	2.05	5.68

Conclusiones

– Los suelos con presencia de tepetates en el ANP de la Sierra de Guadalupe, se encuentran en laderas, son poco profundos, pedregosos y con horizontes superficiales ligeramente ácidos, ricos en MO, con una elevada CIC y una saturación de bases mayor al 50 %.

– Los horizontes 2Cx de los sitios S-1. La Caseta y S-2. Joya de Nieves se consideraron como fragipanes, debido a que se trata de materiales ricos en arcillas, que se encuentran compactadas más no cementadas, por los procesos de humedecimiento y secado característicos de la estacionalidad de las lluvias. Mientras que el horizonte endurecido 2Cqm del Sitio 3. La Paloma correspondió a un duripán, ya que está formado por tobas donde predominan los procesos diagénicos como es la cementación por SiO_2, material muy común en las laderas de la Sierra.

Agradecimientos

Al personal del Área Natural Protegida de Sierra de Guadalupe de la Comisión de Recursos Naturales (CORENA) del Gobierno de la Ciudad de México.

Referencias

Bockheim, J. G., Gennadiyev, A. N., Hammer, R. D. y Tandarich, J. P., 2005. Historical development of key concepts in pedology. Geoderma 124: 23-36

Campos-Cascaredo A., Oleschko, K., Cruz-Huerta, L., Etchevers, B. D. J., Hidalgo, M. C. 2001. Estimación de alófano y su relación con otros parámetros químicos en andisoles de montaña del volcán Cofre de Perote. Terra 19: 105-116.

Duncan, M. M. and D. P. Franzmeier., 1999. Role of free silicon aluminum and iron in fragipan formation. Soil. Sci. Soc. Am. J. 63: 923-929.

Flores-Román, D., Alcalá, M. J. R., González, V. A. y Gama-Castro, J. E. 1992. Suelos con fragipán de origen volcánico en clima semicálido y subhúmedo: El caso del noreste del Estado de Morelos, México. Revista del Instituto de Geología. 10(2): 151-163.

Fournier, F. 1960. Climat et érosion. Ed. Presses Universitaires de France, Paris. 221 p.

García, E., 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Ed. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1984. Carta edafológica: Ciudad de México. Escala 1:50,000 Clave E-14: A-39. México.

Lugo, H. J. y Salinas, M. A., 1996. Geomorfología de la Sierra de Guadalupe (al norte de la Ciudad de México) y su relación con peligros naturales. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 13(2): 240-251.

Malucelli, F., F. Terribile y C. Colombo. 1999. Mineralogy, micromorphology and chemical analysis of andosols on the Island of Sao Miguel (Azores). Geoderma 88: 73-98

Mosser F., 1990. Estratigrafía y estructuras del Valle de México. *In*: El subsuelo de la Cuenca de México y su relación con la ingeniería de cimentaciones a cinco años del sismo. E. Ovando Shelley y F. González Valencia (eds), Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos pp: 29-36

Pascual-Aguilar, J. A., Año-Vidal, C., Sánchez-Díaz, J. Masiá-Mira, F. J. y Arnau-Rosalén, E., 2001. Valoración de la idoneidad de los índices PCI y MFI para estimar la concentración y agresividad de las precipitaciones en la Comunidad Valenciana. Rev. C. & G., 15 (3-4): 77-84.

Rzedowski, J. y G. C de Rzedowski, 1979. Flora fanerogámica del Valle de México. Ed. LIMUSA, México 267 p.

SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis, *Diario Oficial de la Federación* 31-12-2002, 2a Sección, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

Soil Survey Staff, 1999. Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil survey. Second Edition. No. 436. Agriculture handbook. Ed. United States Department of Agriculture and Natural Resources Conservation Service., Washington, USA. 879 p.

Valerio, V. C. y García, P. A. 2004. Estudio de la estabilidad de taludes rocosos y zonificación de riesgo geotécnico en el cerro El Tenayo. GEOS 24(2): 264-265.

Vázquez-Alarcón, A. 1997. Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo. Ed. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. 2da. edición. Chapingo, México. 29 p.

Vela-Correa, G. y Flores-Román, D. 2004. Morfogénesis de suelos con capas endurecidas de la Sierra de Guadalupe, México. TERRA *Latinoamericana* 22(3): 255-265.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

HISTORIA EVOLUTIVA DE LADERAS CONTRASTANTES EN UN VALLE Y SU RELACIÓN CON LOS ATRIBUTOS ECOLÓGICOS DEL SUELO

López-López Alma Bella[1*]; Vázquez-Selem Lorenzo[2]

[1]Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, UNAM, Ciudad de México.
[2]Instituto de Geografía, UNAM, Ciudad de México.

*Autor responsable: almabella_lolo@hotmail.comBatalla 5 de mayo Esq. Fuerte de Loreto s/n. Col. Ejército de Oriente. Del. Iztapalapa, México, D. F. C. P. 09230; Tel. +52- 5623 0700 # 39183;

Resumen

La exposición de la ladera es un factor potencialmente significativo en generar características diferentes en el ecosistema (Yimer *et al*., 2006); ya que indica la dirección e incidencia del sol, alterando principalmente el contenido de humedad atmosférico y edáfico. Alcalica exhibe superficies orientadas principalmente hacia el NW, SW, N y S, representando cerca del 80% del área de la cuenca. El efecto de sombra por exposición de la ladera inicia en pendientes mayores al 10%; es decir que en los sitios planos a moderadamente inclinados no tienen tal efecto. La orientación de exposición de una ladera como factor ecológico, que está vinculado con la cantidad de luz recibida, humedad y evapotranspiración. Lo anterior se corroboró principalmente en el lomo de ladera, éste fue más cálido 1°C y menos húmedo 14.2% (López-López, 2014). En consecuencia, las laderas expuestas hacia el norte a lo largo de un gradiente altitudinal 3000-4300 m son más estables y domina la formación órgano-mineral. Sin embargo, en laderas solanas la actividad geomorfológica modifica el intemperismo de la ceniza y pómez volcánica en la secuencia topográfica. En estos sitios la vegetación ha amortiguado los efectos erosivos de clima, mediante la formación de mantillo, pero los ciclos de humedecimiento y secado podrían modificar la frecuencia de incendios superficiales, favorecer la escorrentía y la erosión, modificando el balance hídrico.

Palabras clave

Exposición, erosión, radiación, geomorfogénesis, pedogénesis

Introducción

La comprensión de cómo el paisaje y los suelos han coevoucionado con el tiempo provee información para el adecuado manejo de los recursos. Los cambios en el tiempo son reflejo de multitud de interacciones, procesos y factores. La influencia geomorfológica y pedológica en el paisaje, permitirá establecer la relación del suelo, vegetación y relieve; y su dinámica (eventos erosivos, frecuencia de incendios, establecimiento de la vegetación, entre otras) y con ello proporcionar información y herramientas útiles para el manejo de forestal y de suelos.

El relieve es un factor que condiciona la distribución de energía en un sistema morfopedológico, como es el caso de una ladera, donde el movimiento del agua y el material que transporta responde a las características ambientales del lugar, tales como el relieve, vegetación y el suelo (Conacher, 2002; Clemens *et al.*, 2010). En el hemisferio norte los terrenos expuestos hacia el norte (laderas umbrías), la cantidad de calor generada por el sol y recibida por la superficie del suelo son menores; como consecuencia, los ciclos de humedad y secado en el perfil son más largos que en terrenos expuestos hacia el sur (laderas solanas). En concordancia, la composición de especies vegetales en suelos expuestos hacia el norte produce mayor acumulación de materia orgánica humificada que en los suelos expuestos al sur (Chun-Chih *et al.*, 2004). Si se asume que en la cuenca de Alcalica las laderas que miran al norte presentan menor radiación solar que aquellas expuestas al sur, entonces se favorece la pedogénesis de la ceniza volcánica, sin embargo, esta ha sido interrumpida por la geomorfogénesis del lugar.

Materiales y Métodos

En un intervalo altitudinal entre 3000 y 4300 m, se eligieron dos laderas semejantes en forma, pero de orientación opuesta (solana y umbría), donde, se seleccionaron los sitios en el lomo de ladera de acuerdo al modelo de Ruhe (Schaetzl y Anderson, 2005) para realizar la descripción del perfil de suelos con base en su morfología y propiedades químicas distintivas de los andosoles. Alcalica es una microcuenca geo-morfológicamente representativa de las barrancas del occidente del parque Izta- Popo, con laderas con orientación hacia el sur (solana) y hacia el norte (umbría). Esta investigación se realizó inicialmente con una catena de suelos en un valle a 3000 en Alcalica, donde los datos obtenidos no permitieron establecer si la exposición de ladera tuvo o no efecto en los procesos pedogenéticos, porque el suelo se desarrolló sobre distintos materiales parentales. Además, la influencia de la morfogénesis en la ladera solana, dificultó comparar los indicadores de avance de intemperismo de ambas laderas. Sin embaro, las laderas muestraron dos historias evolutivas diferentes, una mayor radiación solar asociada a movimientos de ladera que interrumpen la pedogénesis y modifican los procesos ecológicos *in situ*. Dado que en la primera investigación se determinó que el lomo de ladera fue el sitio que presentó má cambios debido a la exposición. Se replicó en esta zona la evaluación edaefo-ecológica en ambas orientaciones a lo lago de la Barranca de Alcalica. Además, se evaluaron las propiedades fisicas y químicas propias del suelo.

Resultados y discusión

En en altitudes altas (4000 m), pese a que en superficie se encontró e mayor videncia de actividad geomorfológica, la dominancia de *Pinus harwtegii* en ladera solana provoca competencia evidente entre la formación de complejos organo-minerales y alofano. Contrario a altidudes bajas, donde se han erosionado los depósitos de pómez y por lo tanto los procesos formadores de Andosoles se han interrumpido.

La dominancia del género *Pinus* en ladera solana a 3000 my las gramíneas comunes en estos bosques están asociadas a incendios (Rzedowski, 2001). Cannac *et al.* (2009) relaciona un aumento de compuestos fenólicos de *Pinus laricio* por estrés térmico después de un incendio. Es por ello que se encontró carbón especialmente en los horizontes superficiales de la ladera solana. Esto indica que la zona ha sido alterada por incendios forestales; probablemente esta perturbación es favorecida por una mayor insolación. Se obtuvo casi el mismo porcentaje de cobertura de encino en las dos laderas; pero Wang *et al*., (2011) encontraron en laderas solanas, mayor transpiración de *Quercus liaotungensis* y en el suelo más evaporación, que, en laderas expuestas al norte, lo cual confirma la importancia ecológica de la exposición de las laderas. Además, se percibió mayor contenido de carbón bajo la cubierta de pino, y en México Rodríguez y Fulé (2003) señalan 35 especies de pino con diversas adaptaciones al fuego. En los incendios forestales hay un aumento de la fracción de ácidos grasos, terpenos y ceras que podrían explicar la repelencia al agua e incremento de la conductividad eléctrica (Mataix *et al*., 2011) (González-Pérez *et al*., 2004). Los incendios superficiales provocan el colapso y compactación de los agregados, la porosidad total, macroporos y conductividad hidráulica decrecen, por lo tanto, la frecuencia de los incendios afecta las propiedades físicas del suelo. Contrariamente al bosque de Alnus (especie localizada en el SHu) aparentemente constituye una etapa sucesional del establecimiento del bosque de Abies religiosa, pero sólo se presenta en localidades aisladas (Rzedowski, 2001). Y la presencia de especies afines a condiciones de humedad (*Oreopanax* y *Cornus*), se localizaron en el lomo de ladera umbría.

Estos cambios en el clima local podrían influir en los ciclos de humedad y desecación del perfil, humificación y probablemente en el intemperismo del suelo. Por ejemplo, en conos volcánicos de Arizona en un rango altitudinal de 2000 a 3000 m las laderas orientadas al sur se asocian a mayor intemperismo de suelo (Rech *et al.*, 2001) y en bosques de coníferas el contenido de materia orgántica y la actividad enzimatica incrementaron (Sidari et al., 2008). Estos cambios en el microclima podrían acentuar algunos disturbios naturales como los incendios e impactar la productividad del bosque (Duchesne & Houle, 2011).

Conclusiones

En valle de Alcalica, casi no se observaron indicios de erosión actualmente. La vegetación ha amortiguado los efectos erosivos del clima por la contribución de la materia orgánica. No obstante, en ladera solana la radiación a las tasas de evaporación modificando el balance hídrico de esta pendiente. Aunado al establecimiento de la vegetación que modifica a los procesos físicos y químicos en el intemperismo del suelo.

Referencias

Cannac, M., Pasqualini, V., Borboni, F., & Morandini, F. (2009). Phenolic compounds of Pinus laricio needles: A bioindicator of the effects of prescribed burning in function of season. *Science of the Total Environment*, 407: 4542–4548.

Chun-Chih., Zueg-Sang, C., y Chang-Fu. (2004). Relationships between soil proporties and slope positon. Geoderma. 123:131-142.

Conacher, A. (2002). A role for geomorphology in integrated. Australian Geographicar Sstudies, 40: 179-195.

Duchesne, L., & Houle, D. (2011). Modelling day-to-day stem diameter variation and annual growth of balsam. *Forest Ecology and Management*, 262: 863–872.

López-López, A. (2014). Influencia del relieve sobre las propiedades del suelo en una catena en laderas de montaña del Parque Nacional Izta-Popo. Tesis de Maestría, Instituto de Geología, UNAM.

Mataix, S., Cerdà, A., Arcenegui, V., & Jordán, A. (2011). Fire effects on soil aggregation: A review. *Earth-Science Reviews*, 109: 44–60.

Rech, J., Reeves, R., & Hendricks, D. (2001). The influence of slope aspect on soil weathering processes in the Springerville volcanic field, Arizona. *Catena*, 43: 49-62.

Rzedowski, J. (2006) *Vegetación de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 504 p.

Schaetzl, R., y Anderson, S., (2005) "Soil gemorphology and hidrology" en *Soils genesis and geomorphology* (págs. 465-546). New Yord EUA: Universidad Cambridge.

Wang, L., Wie, S., Horton, R., & Shao, M. (2011). Effects of vegetation and slope aspect on water budget in the hill and gully region of the Loess Plateau of China. *Catena*, 87: 90- González-Pérez, J., Gónzalez-Villa, F., Gonzalo, A., & Knicker, H. (2004). The effect of fire on soil organic matter — a review. *Environment International*, 30: 855 – 870.

Yimer, F., Ledin, S., y Abdelkair A. (2006). Soil propierty variotions in relation to topographic aspecto and vegetation. Forest Ecology and Manegement. 232:90-99

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

COMPARACIÓN DE COEFICIENTES DE REFUERZOS DE RAÍCES DE ESPECIES NATIVAS PARA USO POTENCIAL EN LA BIOINGENIERÍA DE SUELOS

Zavala-González, R.[1*]; Cantú-Silvia, I.[1]; Sánchez-Castillo, L.[1]; González-Rodríguez, H.[1] Kubota, T. [2]

[1]Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León, México.
[2]Laboratory of Forest Conservation and Erosion Control, Department of Agro–environmental Sciences, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka.

*rebecagzg@gmail.com; Calle Carretera Nacional Km.145 Núm. Linares, Nuevo León. México. CP 67700; Tel. +52(821)-117-5892

Resumen

En los últimos años, el efecto de la vegetación en la estabilidad de laderas ha jugado un papel muy importante en la bioingeniería de suelos. Sin embargo, debido a diferentes causas, como el registro de terremotos de pequeña escala o el aumento de ocurrencias de eventos extremos de lluvia, muchas pendientes se encuentran en una condición potencialmente inestable, por lo que los movimientos de suelo se pueden iniciar fácilmente. Se evaluaron las propiedades RAR y Coeficiente de Refuerzo entre especies de dos ecosistemas distintos: Matorral Espinoso Tamaulipeco (sitio 1) y Bosque de Pino-Encino (sitio 2). Las especies consideradas fueron seleccionadas con base en sus características nativas y su presencia en laderas. Para el sitio 1: *Acacia berlandieri*, *Cordia boissieri*, *Acacia rigidula*, *Havardia pallens*, *Acacia farnesiana*; Sitio 2: *Quercus rysophylla*, *Pinus pseudostrobus*, *Quercus canbyi*, *Quercus polymorpha* y *Arbutus xalapensis*. Las pruebas mecánicas fueron realizadas con la Máquina Universal Shimadzu tipo SLFL-100KN. El orden de importancia de las especies estudiadas, para su aplicación en las prácticas de bioingeniería del suelo, tomando en cuenta el refuerzo analizado en orden ascendente, fue el siguiente: *C. boissieri <H. pallens < P. pseudostrobus < A. xalapensis < Q. canbyi < A. farnesiana < A. berlandieri < Q. polymorpha < Q. rysophylla < A. rigidula.*

Palabras clave: Raíz, RAR, Coeficiente de Refuerzo.

Introducción

La Sierra Madre Oriental es un cinturón plegado y cabalgado que ha estado bajo una gran presión a lo largo del tiempo, incluidos terremotos de pequeña escala (Montalvo-Arrieta et al., 2010). Además, el reciente aumento de los episodios de lluvia han desencadenado áreas de inestabilidad en las laderas y, como resultado, la erosión y deslizamientos de suelo (Sánchez-Castillo et al. 2017). Esto juega un papel importante en las laderas de este cinturón orogénico, lo que hace que áreas como las consideradas en este estudio sean propensas a desastres por deslizamientos de suelo.

La estabilización biotécnica utiliza elementos mecánicos (o estructuras) en combinación con elementos biológicos (o plantas) para detener y prevenir fallas en las pendientes y la erosión (Gray y Sotir, 1996). Las plantas proporcionan la mayor parte de la cobertura del ecosistema y son un elemento activo de los ciclos de nutrientes (Begon et al., 1990; Friedel et al., 2000). Así mismo la vegetación aumenta la protección y disminuye la erosión en las áreas forestales urbanizadas. La aplicación de medidas de control con especies nativas para restaurar los sitios afectados podría ser significativa ya que son ecológicamente amigables, de bajo costo y fáciles de usar (Sánchez-Castillo, 2015).

Materiales y Métodos

Área de estudio.

El área de estudio se encuentra en dos sitios en el estado de Nuevo León, México. El sitio 1 está ubicado en la estación forestal experimental "Bosque Escuela" en un bosque de pino-encino en Iturbide, Nuevo León (24 ° 43 'N y 99 ° 52' O). De acuerdo con la clasificación de Köppen (1931), el clima predominante en la zona es el tipo A. En el sitio 1, la precipitación anual promedio es de 620 mm y las temperaturas alcanzan un mínimo de -10 ° C. La temperatura promedio anual es de 18 ° C (Marmolejo 2000, Cantú y González, 2002). El tipo de suelo que predomina en el área de estudio corresponde a la clase de calcio kastañozem, con altos contenidos de nutrientes minerales de K, Fe, Mn, Cu y bajos contenidos de Zn y P. El pH predominante en el área es moderadamente alcalino (7.5 - 8.5), con bajo contenido de materia orgánica y nitrógeno (Cantú y González, 2002).
El sitio 2 se encuentra en Linares, Nuevo León, (25 ° 09 'N y 99 ° 54') en el campus de la Facultad de Ciencias Forestales. El sitio donde se realizó el estudio es un fragmento de la vegetación que pertenece a la región del Matorral Espinoso de Tamaulipeco. El MET se distribuye en el noreste de México y el sur de Texas, con un área de más de 200,000 km^2 (Alanís et al., 2008). De acuerdo con la clasificación de Köppen (1938) modificada por García (1981), el tipo de clima en el área de estudio es un clima subtropical y semiárido con temperaturas de hasta 45 ° C durante el verano y una temperatura promedio de 14.7 ° C a 22.3 ° C, con una precipitación anual promedio de 805 mm (Yáñez, et al., 2014).

Selección de especies

La selección de especies se hizo considerando sus características nativas y presencia en laderas. Se seleccionaron de cinco a diez individuos por especie. En cada uno de los dos sitios, se encontraron diferentes condiciones tales como el origen del deslizamiento de tierra, la profundidad del suelo y la litología. El orden de las especies se muestra según su comunidad.

Método de muestreo.

Se extrajeron cincuenta muestras de raíces de cada especie con sistema de raíz expuesto, esto para explicar el porcentaje eventualmente descartado debido al daño, quiebre o prueba fallida.

Preparación de muestras de raíz para análisis.

Las raíces se extrajeron de los sistemas de raíces expuestas para causar la menor perturbación en el área. Las muestras fueron cortadas, cuidadosamente empacadas y almacenadas en bolsas de papel. Con el fin de preservar su contenido de humedad, se almacenaron en un recipiente desde el momento de la extracción y se transportaron al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias

Forestales para posteriores pruebas. En el laboratorio, las raíces dañadas fueron descartadas. Las consideradas se cortaron a 10 cm de longitud y se etiquetaron individualmente para sus posteriores pruebas. Las muestras se almacenaron en un refrigerador a 4 °C hasta minutos antes de la prueba mecánica.

Prueba mecánicas de raíz (resistencia a la tracción y módulo de elasticidad).
La prueba se llevó a cabo utilizando la máquina de prueba Universal SHIMADZU tipo SLFL-100Kn. Los datos se visualizaron utilizando el software de operación Trapezium. La fuerza requerida para romper la raíz se tomó en cuenta para calcular la fuerza de tensión (T_s).

$T_s = F_{max} / \pi (D/2)^2$

Estimación del Refuerzo suelo-raíz
En campo, se tomaron fotos para calcular la relación de área de raíz-suelo (RAR) que se define como la fracción del suelo ocupada por raíces por unidad de área (Gray y Leiser, 1982). El método de conteo de raíces por análisis de imagen fue descrito por Vogt y Persson (1991) y se usó para calcular la relación área de suelo-raíz (RAR), que consiste en el mapeo y conteo de las raíces expuestas en un perfil de suelo (A_R) con el fin de calcular el área de suelo (A) y recrear el sistema radicular, este método está basado en el método de pared de perfil tradicional propuesto por Bohm (1979).

Resultados y Discusión

El refuerzo adicional del suelo proporcionado por las raíces (ΔS) para las diez especies fluctuaron desde rangos de 0.02 a 0.21 kN/m^2 (*Cordia boissieri*), de 0.05 a 0.35 kN/m^2 (*Havardia pallens*), de 0.11 a 0.34 kN/m^2 (*Pinus pseudostrobus*), de 0.17 a 0.38 kN / m^2 (*Arbutus xalapensis*), de 0.24 a 0.56 kN/m^2 (*Quercus canbyi*), de 0.16 a 0.67 kN/m^2 (*Acacia farnesiana*), de 0.10 a 0.61 kN/m^2 (*Acacia berlandieri*), de 0.25 a 0.68 kN/m^2 (*Quercus polymorpha*), de 0.26 a 0.77 kN/m^2 (*Quercus rysophylla*), y de 0.05 a 0.81 kN/m^2 (*Acacia rigidula*).

Los resultados promedios ΔS de las 10 especies en orden ascendente es el siguiente: *C. boissieri* (0.12 kN/m^2) <*H. pallens* (0.21 kN/m^2) < *P. pseudostrobus* (0.23 kN/m^2) < *A. xalapensis* (0.27 kN/m^2) < *Q. canbyi* (0.39 kN/ m^2) < *A. farnesiana* (0.44 kN/m^2) < *A. berlandieri* (0.45 kN/m^2) < *Q. polymorpha* (0.49 kN/m^2) < *Q. rysophylla* (0.53 kN/m^2) < *A. rigidula* (0.54 kN/m^2)

El Coeficiente de Refuerzo del suelo proporcionado por las raíces depende del RAR, que es expresado como la relación de área de raíz en el plano de corte del suelo (Sánchez-Castillo et al., 2016). La comparación con resultados de otros estudios es difícil, ya que en ellos se presentó un gran variabilidad especial, por lo cual reportan valores de refuerzo mayores (Burroughs y Thomas, 1977; O'Loughlin y Watson, 1979; Ziemer, 1981; Coppin y Richards, 1990; Abernethy y Rutherfurd, 2001).

La relación de área de raíz-suelo (RAR) disminuye con la profundidad. Así mismo, debido a las limitaciones de la máquina de prueba, las muestras de raíz analizadas en este estudio correspondieron a diámetros pequeños (lejos de la superficie), lo cual influyó en la obtención de

valores bajos comparado con otros estudios (Morgan y Rickson, 1995; Abernethy y Rutherfurd, 2001; Tosi, 2007). Además de la relación del área de la raíz y refuerzo de raíz, los valores de refuerzo (ΔS) están influenciados por el tipo de especie, características del suelo y la pendiente (Bischetti et al., 2005; Stokes et al., 2002).

Conclusiones

Los resultados del refuerzo adicional del suelo proporcionado por raíces (ΔS) para las diez especies analizadas, variaron de 0.02 kN/m^2 en *C. boissieri* a 0.81kN/m^2 en *A. rigidula*, ambas especies del Matorral Espinoso Tamaulipeco. La especie que contribuyó con un mayor refuerzo al suelo fue *A. rigidula* con un promedio de 0.54 kN/m^2.

La relación área de raíz-suelo (RAR) se observó como el factor que más influye en el coeficiente de cohesión adicional proporcionado por las raíces en la ladera. Los resultados de refuerzos para las especies del MET son más altos debido a la gran cantidad de raíces de diametros pequeños de las especies comparado con lase species del Bosque de Pino-Encino. Esta información es importante para entender la contribución potencial a la estabilización de laderas de la Sierra Madre Oriental en el noreste de México

Referencias

Abernethy, B., and I.D Rutherfurd. 2001. The distribution and strength of riparian tree roots in relation to riverbank reinforcement. Hydrological processes, 15(1): 63–79.

Alanís E., Jiménez J., Aguirre O., Treviño E., Jurado E. and González M. 2008. Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco. Ciencia UANL XI: 56-62.

Begon, M., J. L. Harper and C. R. Townsend. 1990. Ecology Individuals, Populations and Communities. Blackwell Scientific Publications. Malden MA. USA. 94.

Bischetti, G. B., E.A Chiaradia, T, Simonato, B Speziali, B Vitali, P Vullo, P and A Zocco. 2005. Root strength and root area ratio of forest species in Lombardy (Northern Italy). Plant and soil, 278(1–2): 11–22.

Bohm, W. 1979. Methods of Studying Root Systems. Springer–Verlag, Berlin Heidelberg, New York.

Burroughs, E. R. Jr., and B. R. Thomas. 1977. Declining root strength in Douglas–fir after felling as a factor in slope stability,USDA Forest Service Research Paper INT–190. 27.

Cantú, I., and González, H. 2002. Propiedades hidrológicas del dosel de los bosques de pino-encino en el noreste de México. : Ciencia UANL 5(1): 72-78.

Coppin, N. J and I.G. Richards. 1990. Use of vegetation in civil engineering. London: Construction Industry Research and Information Association.

García, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana. Offset Larios. México. 246

Gray, D. H. and A. T. Leiser. 1982. Biotechnical Slope Protection and Erosion Control. Van Nostrand Reinhold Company: New York.

Gray DH. Sotir RB (1996) Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control. 35-37. New York: John Wiley & Sons.

Marmolejo J., 2000. Diversidad fúngica en dos ecosistemas forestales del estado de Nuevo León, México. Reporte Científico No. 36. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. 43.

Morgan, R. P. C. and R. J. Rickson. 1995. Water Erosion Control. In slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach, Morgan, R. P. C. and R. J Rickson. (eds), E & FN Spon, London, 133–190.

Montalvo J., Chávez G., Velasco F., Navarro I., 2010 .Causes and effects of landslides in the Monterrey Metropolitan area, NE Mexico. Nova Science Publishers, Inc. In: Landslides: Causes, Types and Effects 17-18.

O'loughlin, C. L. 1974. The effect of timber removal on the stability of forest soils. Journal of Hydrology, 13(2): 121–134

O'loughlin, C. L., and A. L. E. X. Watson. 1979. Root–Wood strength deterioration in radiata pine after clearfelling. NZJ For. Sci, 9(3): 284–293.

Sánchez Castillo, L. 2015. An integrated study of sediment related disaster prevent and erosion control for urbanized forest slopes in Nuevo León, México, 1-7, 36-39.

Sánchez-Castillo L., Kubota T., Cantu-Silva I., Yañez-Diaz I., Hasnawir, Pequeño-Ledezma M. 2017. Comparisons of the

Root Mechanical Properties of three Native Mexican Tree Species for Soil Bioengieneering Practices. Botanical Sciences 95(2):259-269.

Sánchez-Castillo L., Kubota T., Cantu-Silva I., Hasnawir. 2017. Influence of Root Reinforcement of Forest Species on the Slope Stability of Sierra Madre Oriental, Mexico. Journal Faculty of Agriculture Kyushu University 62 (1), 177–181.

Stokes, A., T. Fourcaud, J. Hruska, J. Cermak, N. Nadyezdhina, V. Nadyezhdin, and L. Praus. 2002. An evaluation of different methods to investigate root system architecture of urban tres in situ: I. Ground–penetrating radar. Journal o Arboriculture, 28(1): 2–10.

Tosi, M. 2007. Root tensile strength relationships and their slope stability implications of three shrub species in the northern Apennines (Italy). Geomorphology 87: 268–283.

Vogt, K. A. and H. Persson. 1991, Measuring growth and development of roots. Techniques and approaches in forest tree ecophysiology, 477–501

Waldron, L. J. 1977 The shear resistance of root–permeated homogeneous and stratified soil. Soil Science Society of America Journal, 41(5): 843–849.

Wu, T. H. 1976. Investigation of landslides on Prince of Wales Island, Alaska. Ohio State University Department of Civil Engineering, Geotechnical Engineering Report 5: 93.

Yáñez M. I., Cantú I., González H., Uvalle J. I., 2014. Redistribución de la precipitación en tres especies arbustivas nativas y una plantación de Eucalypto del Noreste de México. Tecnología y Ciencias del Agua, vol. V, núm. 2, marzo-abril de 2014, 71-84.

Ziemer, R. R. 1981. The role of vegetation in the stability of forested slopes. Proceedings of the International Union of Forestry Research Organizations, XVII World Congress, 6–17 September 1981, Kyoto, Japan. 1: 297–308.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

IMPACTO DEL USO DE SUELO EN INDICADORES EDÁFICOS DE SISTEMAS RIBEREÑOS DE MONTAÑA

Guerra–Hernández Eloisa Adriana[1*]; Cruz-Flores, Gerardo.[2]

[1]Posgrado en Geografía-Facultad de Estudios Superiores Zaragoza UNAM. CDMX. México
[2] Facultad de Estudios Superiores Zaragoza UNAM. CDMX. México

*Autor responsable: eagh@unam.mx; Calle Batalla 5 de mayo esq. Fuertes de Loreto S/N, Col. Ejército de Oriente, CDMX, México. CP 09230; Tel. +52(5526230700 ext. 39165 o 39183)

Resumen

- Los ecosistemas ribereños de montaña, sufren importantes alteraciones que afectan las propiedades físicas y químicas del suelo y el agua. En la Reserva de la Biosfera Los Volcanes, se estudiaron 78 sitios ribereños de corrientes permanentes. Se identificaron 7 usos de suelo: Pastizal montano, Forestal, Forestal perturbado, Recreativo forestal, Agrícola forestal, Agropecuario y Urbano. Se analizó el comportamiento de 11 propiedades edáficas y 2 parámetros hidrológicos en un periodo comprendido entre 2010 y 2014. Mediante los análisis de correlación y componentes principales se extrajeron 6 variables con mayor significancia para el sistema: pH, porcentaje de espacio poroso, conductividad eléctrica, carbono orgánico, nitrógeno total y fósforo extractable. Los usos de suelo que causaron mayor impacto en los indicadores edáficos fueron Forestal, Recreativo-Forestal, Agrícola-Forestal y Urbano.

Palabras clave

Iztaccíhuatl-Popocatépetl, calidad del suelo, ecosistemas riparios.

Introducción

Los sistemas ribereños son altamente influenciados por lo que sucede en su entorno a múltiples escalas. (Allan y col., 1997, Fausch y col., 2002.). Los arroyos y ríos se ha reconocido que modifican sus propiedades en función del área a través de la cual fluyen y esto refleja aspectos importantes de las aguas corrientes como heterogeneidad, conectividad (Vannote et al., 1980, Allan 1995).

El suelo es un recurso dinámico con un intercambio continuo de energía y materiales tanto minerales como biológicos que da soporte y provee de un medio para el crecimiento y desarrollo de recursos vegetales, hongos y numerosas especies de fauna. Su presencia y buen estado es fundamental para que los ciclos de nutrientes puedan llevarse a cabo, permite el desarrollo de los ciclos biogeoquímicos, almacena nutrientes y favorece su transformación química, para que se sean liberados y se encuentren disponibles para las plantas.

Esto hace que intervenga como almacén, como reactor, como dispensador y como emisor en diferentes momentos y en diferentes procesos. Por otro lado, facilita la degradación de los residuos orgánicos al ser hábitat de la fauna microbiana, tiene gran potencial como sumidero de carbono,

evitando así el incremento de CO2 en la atmósfera, este gas es el más importante de los Gases de efecto invernadero.

La conservación del suelo y el agua es una actividad prioritaria a nivel mundial, no hay ecosistema que sobreviva sin agua, su abastecimiento y calidad son algunos de los servicios que pueden brindar los ecosistemas forestales. El manejo inadecuado, las actividades de extracción, el aprovechamiento forestal intensivo, la acumulación de materiales contaminantes son actividades que impactan la vegetación forestal, someten el suelo superficial a las escorrentías y a la lluvia, alteran las propiedades edáficas, incrementan la erosión hídrica, alteran la calidad del agua al disminuir la capacidad de amortiguamiento en la interfase agua-suelo y reducen la capacidad de Infiltración (Croke *et al*., 2001).

Para que las funciones del ecosistema sean preservadas es indispensable que se mantenga la interacción continua entre el agua, el suelo, el aire y la vegetación, esto permitirá conservar sus propiedades y regular la calidad del entorno. Dentro de las estrategias de mitigación del cambio climático América latina está considerada región prioritaria, ya que los bosques son el ecosistema terrestre donde se captura, fija y almacena más carbono y constituyen sumideros de carbono altamente eficientes y el 60% de los bosques se encuentran en el continente (Torres y Guevara, 2005, FAO, 2006).

Zona de estudio

Esta investigación se llevó en la Reserva de Biosfera de Los Volcanes (RBLV), se localiza entre las siguientes coordenadas geográficas: límite extremo norte 19° 33' N, límite extremo sur 18° 54' N; límite extremo oeste 98° 49' W y límite extremo este 98° 29, con una superficie de 171,774 ha (incluyendo la zona de transición). Es hábitat de especies endémicas, amenazadas o en peligro de extinción, presenta una comunidad alpina excepcional (pinos, oyamel y praderas), proporciona importantes servicios ambientales como como el aporte de agua a la macrorregión más densamente poblada del país (http://www.unesco.org/new/es/unesco/): los valles de México, Puebla y Cuernavaca, además de su valor paisajístico y turístico (http://www.cronica.com.mx/noticias.php.). Esta reserva incluye en su territorio al Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatépetl (PN I-P) y su área de influencia y se han establecido 4 subzonas: a) Preservación, con una superficie total de 18,798.985 hectáreas; b) Uso Público, con 14,415.543 hectáreas; c) Recuperación con una extensión de 6,604.558 hectáreas y la zona de influencia que abarca un área de 17,442.1140 hectáreas.

Materiales y Métodos

Se eligieron 78 sitios de muestreo. La colecta de las muestras de suelo se efectuó en la ribera del río a lo largo de un transecto de 30 m, siguiendo la trayectoria del cauce y marcando a ambos lados del mismo cauce dos líneas a distancias perpendiculares, la primera a 1 m y la segunda a una distancia que podía variar entre 2 y 7 m, esta última en función de la geomorfología del sitio de muestreo y su cercanía a laderas o pie de monte; sobre cada una de las líneas se tomaron muestras del suelo con una profundidad de 0 a 20 cm, a distancias de 0, 15 y 30 m sobre el transecto. Por lo tanto, se tomaron 3 muestras en la línea de 1 m del lado izquierdo y 3 a 1 metro en el lado derecho, replicando esto en la segunda línea de cada lado. Las 12 muestras para cada sitio fueron colectadas

y almacenadas en bolsas con cierre hermético y posteriormente fueron mezcladas para formar una muestra compuesta. Las muestras de suelo se secaron al aire libre, se tamizaron con apertura de malla de 2 mm y se guardaron en frascos, para su posterior análisis.

Las propiedades físicas y químicas del suelo que se determinaron fueron: Temperatura, Textura, densidad aparente, porcentaje de humedad, porcentaje de espacio poroso, conductividad eléctrica, pH (activo), materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo extractable, velocidad de corriente, caudal. Los análisis y técnicas empleadas para las determinaciones edáficas, se realizaron de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2001.

Posteriormente los datos obtenidos fueron procesados a través de la aplicación de un análisis de correlación múltiple y otro de componentes principales para seleccionar las variables con mayor significancia en el sistema. Además se comparó el comportamiento de cada una de las variables en los diferentes Usos de suelo

Resultados y Discusión

La temperatura del suelo, no presentó diferencias significativas, entre los usos como Pastizal montano y Recreativo-Forestal, ni entre los usos Forestal, Forestal perturbado y Recreativo-Forestal, así como entre los usos Agrícola-Forestal, Agropecuario y Urbano.

El porcentaje de humedad no mostró diferencias significativas entre los usos de suelo identificados.

La conductividad eléctrica del suelo registró que los primeros 5 usos de suelo no tienen diferencias significativas entre sus medianas y se clasificaron con efectos despreciables de salinidad; sin embargo, el Agropecuario y el Urbano presentaron diferencias significativas con los otros 6 usos de suelo y ambos se consideran muy ligeramente salinos.

La densidad aparente del suelo presentó diferencias significativas del uso de suelo Urbano con todos los demás. Y ciertas similitudes en cada uno de los siguientes grupos: Pastizal montano, Forestal, Forestal perturbado y Agrícola-Forestal, así como entre Recreativo-Forestal y Agropecuario. De acuerdo a esta variable se considera que en todos los usos de suelo se encontraron suelos volcánicos y orgánicos, que van hasta suelos francosos en el Pastizal montano; hasta suelos arenosos en los usos Forestal, Forestal perturbado, Recreativo forestal y Agropecuario. Y en el uso Urbano fueron de volcánico orgánicos a minerales arcillosos.

El porcentaje de Espacio poroso no presentó diferencias significativas entre los usos de suelo Forestal perturbado, Recreativo-Forestal, Agropecuario y Urbano. Sin embargo, cada uno de los siguientes usos mostró diferencias significativas con todos los demás: Pastizal montano, Forestal y Agrícola forestal.

El porcentaje de COS, fue significativamente diferente entre el uso de suelo Urbano y todos los demás, sin embargo, no lo fueron el Pastizal montano. Forestal, Forestal perturbado y Agrícola-Forestal; ni el uso Agropecuario con el Recreativo-Forestal y el Agrícola-Forestal.

Según el porcentaje de materia orgánica se clasificaron como suelos volcánicos con muy alto nivel de MOS los siguientes usos: Pastizal montano, Forestal, Forestal perturbado, Recreativo-Forestal y Agropecuario; el uso Agrícola-Forestal como suelo volcánico con nivel medio de MOS y el de uso

Urbano como suelo volcánico con alto nivel de MOS. La menor variación para COS y MOS se registró en el uso de suelo Agrícola-Forestal y la mayor en el uso de suelo Urbano.

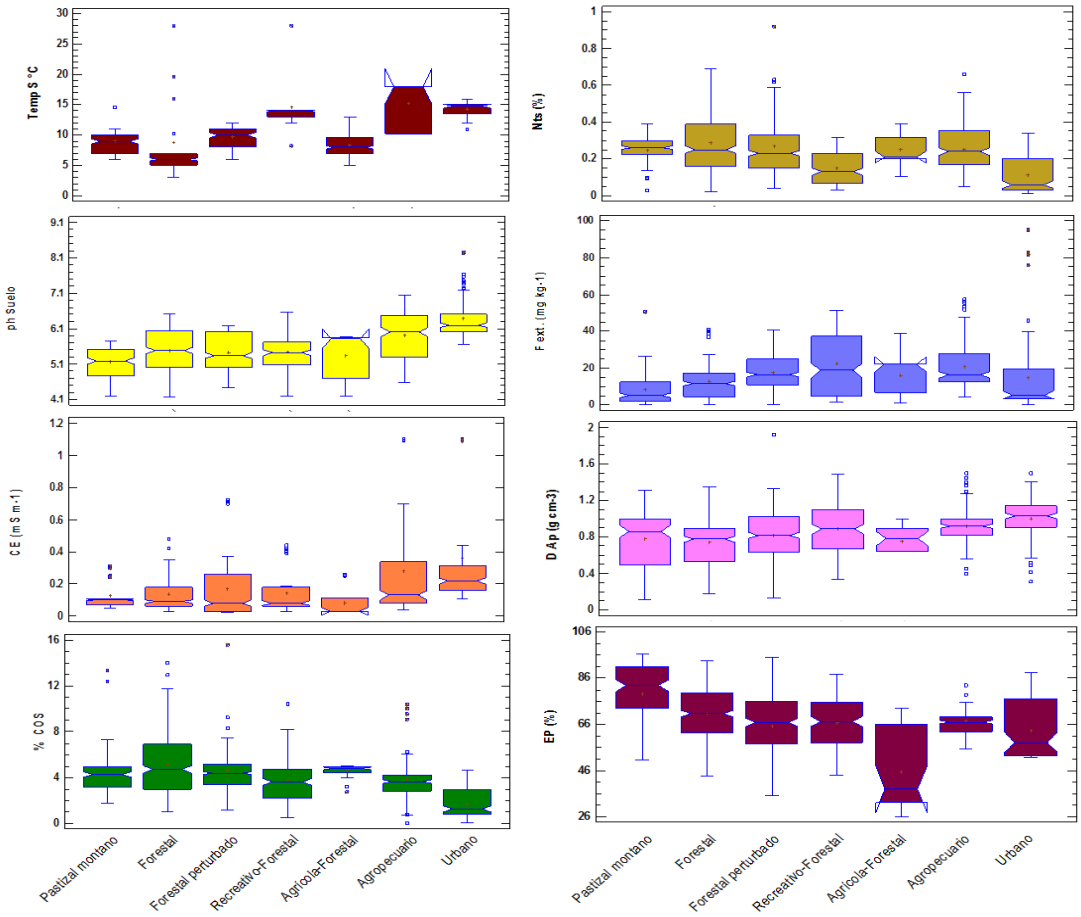


Figura 1. Variación de algunos parámetros en función del uso de suelo

El porcentaje de Nitrógeno fue significativamente diferente entre los usos Urbano y Recreativo-Forestal, con todos los demás. Se encontró ausencia de diferencias significativas entre Pastizal montano, Forestal perturbado, Agrícola-Forestal y Agropecuario en un primer grupo y en el segundo grupo entre los usos Forestal, Forestal perturbado y Agrícola-Forestal. Los niveles de nitrógeno disminuyen del Pastizal montano al Recreativo-Forestal, aumentan en los usos Agrícola-Forestal y Agropecuario y disminuye significativamente en el Urbano pero mantiene el mayor coeficiente de variación.

La concentración de Fósforo asimilable fue diferente de forma significativa entre el Pastizal montano y todos los demás usos de suelo. El uso Agrícola-Forestal no presentó diferencias el Forestal, el Forestal perturbado y el Agropecuario.

Así como no hubo diferencias significativas entre el Recreativo-forestal, el Agropecuario y el Urbano. La concentración promedio aumentó desde el uso como Pastizal montano al Recreativo-Forestal y disminuyó en promedio en el Agrícola-Forestal para incrementarse en el Agropecuario. El uso de suelo que registró las mayores concentraciones y tuvo la mayor variación fue el Urbano.

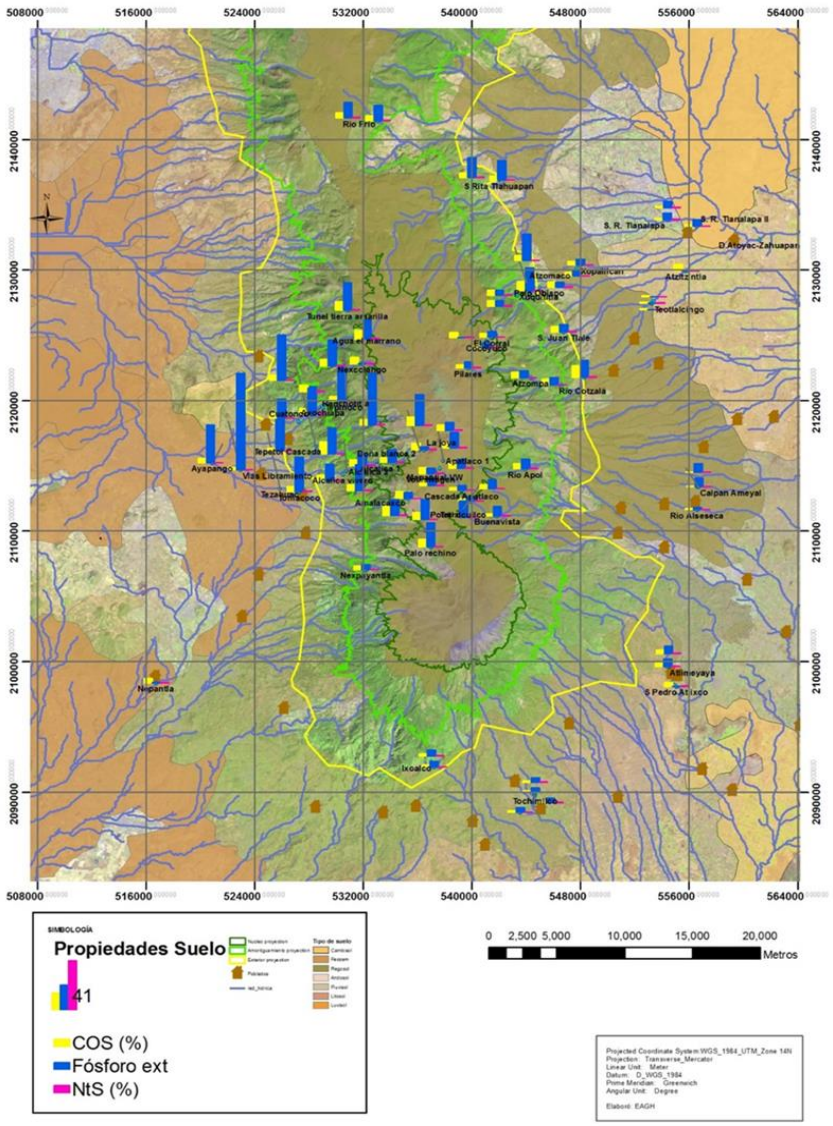


Figura 2. Distribución espacial de COS, fósforo extractable y Nitrógeno total

Conclusiones

- La caracterización de los suelos ribereños de la RBLV y su zona de influencia nos da una imagen clara del estado y salud de los suelos en los ecosistemas y los factores que los alteran.
- La selección de seis variables a partir de las trece registradas inicialmente, a través de la correlación múltiple y el ACP considerando la variabilidad explicada en un 60% es importante para la síntesis de información y dar un seguimiento más puntual y rápido a los cambios en la calidad del suelo
- Las variables más sensibles a los cambios en el uso del suelo fueron pH, conductividad eléctrica, porcentaje de espacio poroso, carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo extraíble.
- Los usos de suelo que tuvieron mayor impacto en las propiedades edáficas fueron: Forestal, Recreativo –Forestal, Agrícola-Forestal y Urbano.
- El primer componente extraído a partir del ACP, acertado ya que incluye dos parámetros que hablan de la calidad nutrimental de los suelos el carbono orgánico y el nitrógeno y el porcentaje de Arena que nos indica las condiciones de drenaje, aireación y soporte a la vegetación de los suelos.
- El segundo componente integrado por la conductividad eléctrica y el espacio poroso nos habla de la aireación y saturación de agua en el suelo, así como la presencia de sales y su fluctuación para evitar a futuro suelos salinos, ya que, en este momento, la salinidad no es un problema en estos suelos volcánicos.

Agradecimientos:

Al PASPA-DGAPA UNAM. A la FES Zaragoza y al Programa de Doctorado en Geografía UNAM.

Referencias

Allan, D., Erickson, D., y Fay, J. (1997). La influencia del uso de la tierra de captación en la integridad de la corriente en múltiples escalas espaciales. *Biología del agua dulce , 37* (1), 149-161.

Allan, JD, y Castillo, MM (2007). *Ecología de la corriente: estructura y función de las aguas corrientes* . Springer Science & Business Media.

Croke, J., & Mockler, S. (2001). Gully initiation and road-to-stream linkage in a forested catchment, southeastern Australia. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, *26*(2), 205-217.

Croke, J., P. Hairsine, P. Fogarty y R. T. Brooks. 2001. Soil recovery from track construction and harvesting changes in surface infiltration, erosion and delivery rates with time. For. Ecol. Manage. 143(1-3): 3-12

Fausch, K. D., Torgersen, C. E., Baxter, C. V., & Li, H. W. (2002). Landscapes to riverscapes: bridging the gap between research and conservation of stream fishes: A continuous view of the river is needed to understand how processes interacting among scales set the context for stream fishes and their habitat. *AIBS Bulletin*, *52*(6), 483-498.

SEMARNAT (2002) NOM-021-SEMARNAT-2001. Norma Oficial Mexicana, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. México. Pp. 85.

Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R., & Cushing, C. E. (1980). The river continuum concept. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, *37*(1), 130-137. *Ecological Monographs*, *53*(1), 1-25.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

LA FUNCIÓN ECOLÓGICA DE LOS HONGOS ENDÓFITOS EN EL DESIERTO CHIHUAHUENSE DE LA FRONTERA DE MÉXICO Y USA.

Osuna-Ávila, P.[1]; Flores-Margez, J.P.[1*]; Corral-Díaz, B.[1]

[1]**Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, México.**

*Autor responsable: posuna@uacj.mx; Calle Plutarco Elias Calles Núm. 1210, Col. Foviste Chamizal, Ciudad Juarez, Chihuahua, México. CP 32310; Tel. +52(656)-688-1800

Resumen

Los pastos, arbustos y especies invasoras son especies comunes en el ecosistema del desierto chihuahuense al suroeste de los Estados Unidos de América y al norte de México. Las raíces se sometieron a un proceso de tinción dual específicos para hongos (azul de tripano) y para lípidos (sudan IV). Evidencias microscópicas mostraron que los pastos de *Bouteloua eriopoda* y *Sporobulus cryptandrum* son más altamente colonizados por hongos endofiticos septados (HES) con pigmentos melanizados de color oscuro que por los hongos de micorriza. *Atrilpex canescens* solo fue colonizado por HES tanto en plantas muestreadas en el lado americano como en el mexicano. Este estudio confirma que este arbusto nativo continúa en la lista de especies no micorrizables. En contraste, la especie invasora del trompillo (*Solanum elaeagnifolium*) sus células radiculares son colonizados simultáneamente por ambos hongos: micorrizas y por HES. Esta asociación indica, una función ecológica y fisiológica en el manejo de carbono entre las raíces y el hongo.

Palabras clave: pastos, arbustos, especies invasoras.

Introducción

En el desierto chihuahuense del sureste de los Estados Unidos y al noreste de México, el establecimiento de las plantas y su crecimiento está siempre asociados con una infrecuente y escasa precipitación. La invasión de arbustos dentro de las áreas de pastizales es acompañada por una incrementada erosión en los inter-espacios de arbustos que limita la producción de pastos, así que los esfuerzos para restablecer la cobertura de pastizales son pocos alentadores (Cox *et al*., 1984). El calentamiento global impacta en la selección natural de la vegetación nativa que forza a su genoma a modificar sus raíces, tallos y hojas o bien asociarse a microorganismos del suelo para tener mayores posibilidades de establecerse, crecer y sobrevivir en los ambientes áridos. Existen grupos de hongos que hacen simbiosis en gramíneas que proporcionan protección al hospedero contra los herbívoros (Milinowki, 2000), y los que transfieren minerales en los arbustos como *Atriplex sp*. y ciertos pastos (Barrow *et al*., 1997). En estos estudios *A. canescens* y *B. eriopoda* fueron más comúnmente colonizado por hongos septados de color obscuros que por los hongos micorricicos tradicionales (Barrow *et al*., 1997). Sin embargo, hay evidencia de que la expresión de arbúsculos en las micorrizas (VA), es más común en las plantas de ambientes templados con más humedad que en ambientes de extrema sequía (Saif *et al*., 1977). Los endófitos podrían ser las asociaciones mejor

adaptadas y ser el método alternativo de intercambio de nutrientes con el huésped. Ellos podrían estar sustituyendo a los hongos VA bajo condiciones de sequía (Williams *et al*., 1974). *B. eriopoda* es una especie con un gran potencial forrajero en las zonas áridas y semiáridas de México y USA pero desgraciadamente se está extinguiendo por los cambios en el calentamiento global. *A. canescens*, es otra especie nativa como fuente primaria en la cadena trófica de la fauna silvestre y domestica del desierto chihuahuense. Es una planta halófila (Raven, 1992) que esta extensivamente colonizada por hongos endófitos que participan en la transferencia de fosforo (Barrow y Osuna, 2004, Osuna y Barrow, 2009, Lucero *et al.*, 2006, 2008), tal como lo hacen las tradicionales micorrizas arbusculares. Recientemente, Osuna *et al*., (2012) observo micelio cargados de lípidos en los espacios inter e intracelular de las raíces y parte aérea de pastos y arbustos.

Esto podría indicar que estos están involucrados en el manejo del carbono en estos ecosistemas. También se ha encontrado que tanto *A. canescens*, como *B. gracilis*, *B. eriopoda*, *S. cryptandrus* entre otros contienen hongos endófitos obligados y pocos de ellos son cultivados *in vitro* (Lucero *et al*., 2006). En contraste, el trompillo (*Solanum elaeagnifolium)* una especie nativa del noreste de México y sur-oeste de USA, donde se considera una planta invasora (Robinson *et al.*, 1978). Es una maleza agresiva que crece en casi todo el mundo con lluvias anuales de (250-600 mm), que llega a cubrir gran parte de tierras perturbadas y se ha convertido en una planta indeseable en zonas urbanas (EPPO, 2007). En general las investigaciones sobre la microbiología del suelo en el desierto son muy escasas y mínimo interés de inversión para reforestarlo. Estudios han demostrado que co-cultivando callos bajo condiciones *in vitro* de arbustos y pastos nativos del desierto chihuahuense han tenido una fuerte influencia positiva y negativa en la producción de biomasa tanto de raíz como de la parte aérea (Lucero *et al*., 2006). La inoculación de hongos endófitos de pastos y arbustos, podrían resultar en ventajas agronómicas muy significativas incluyendo la tolerancia a la sequía, salinidad y como efecto el aumento de la absorción de agua y nutrientes. La función ecológica y fisiológica de los hongos endofiticos en los ecosistemas desérticos con la frontera de USA serán discutidos en este estudio

Materiales y Métodos

Segmentos de raíces, hojas y semillas de BOER (*Bouteloa eriopoda* Torr. Torr.), Chamizo (*Atriplex canescens*), *Sporobolus cryptandrus* (SPCR), y raíces de trompillo (*Solanum elaeagnifolium)* fueron usadas en este estudio. Los tejidos fueron muestreados regularmente en cada estación del año de poblaciones nativas del desierto chihuahuense del Departamento de Agricultura del sureste de Nuevo México y en el lado mexicano en el área de influencia de la Universidad Autónoma de Cd Juárez, Chih. Los endófitos fueron aislados de raíces secundarias asépticas y cultivados en agar de papa dextrosa (PDA). Hifas emergiendo de las yemas o de la parte disectada de los segmentos de raíces fueron removidos y fueron transferidos a PDA para su crecimiento y formación de esporas para su identificación.

Preparación del tejido y tinciones
Las tinciones y los métodos de preparación fueron hechas según Barrow y Aaltonen (2001). Los tejidos fueron teñidos con combinaciones de azúl de tripano (TB) que es específico para la quitina del hongo y sudan IV (SIV) para teñir gránulos de lípidos asociados con estructuras del hongo. Las raíces, hojas y semillas teñidas fueron observadas con un estereoscopio y/o microscopio compuesto

de interferencia a 1000x de amplificación. Las imágenes fueron capturadas por una cámara digital de alta resolución y programada para fotos en tercera dimensión.

Resultados y Discusión

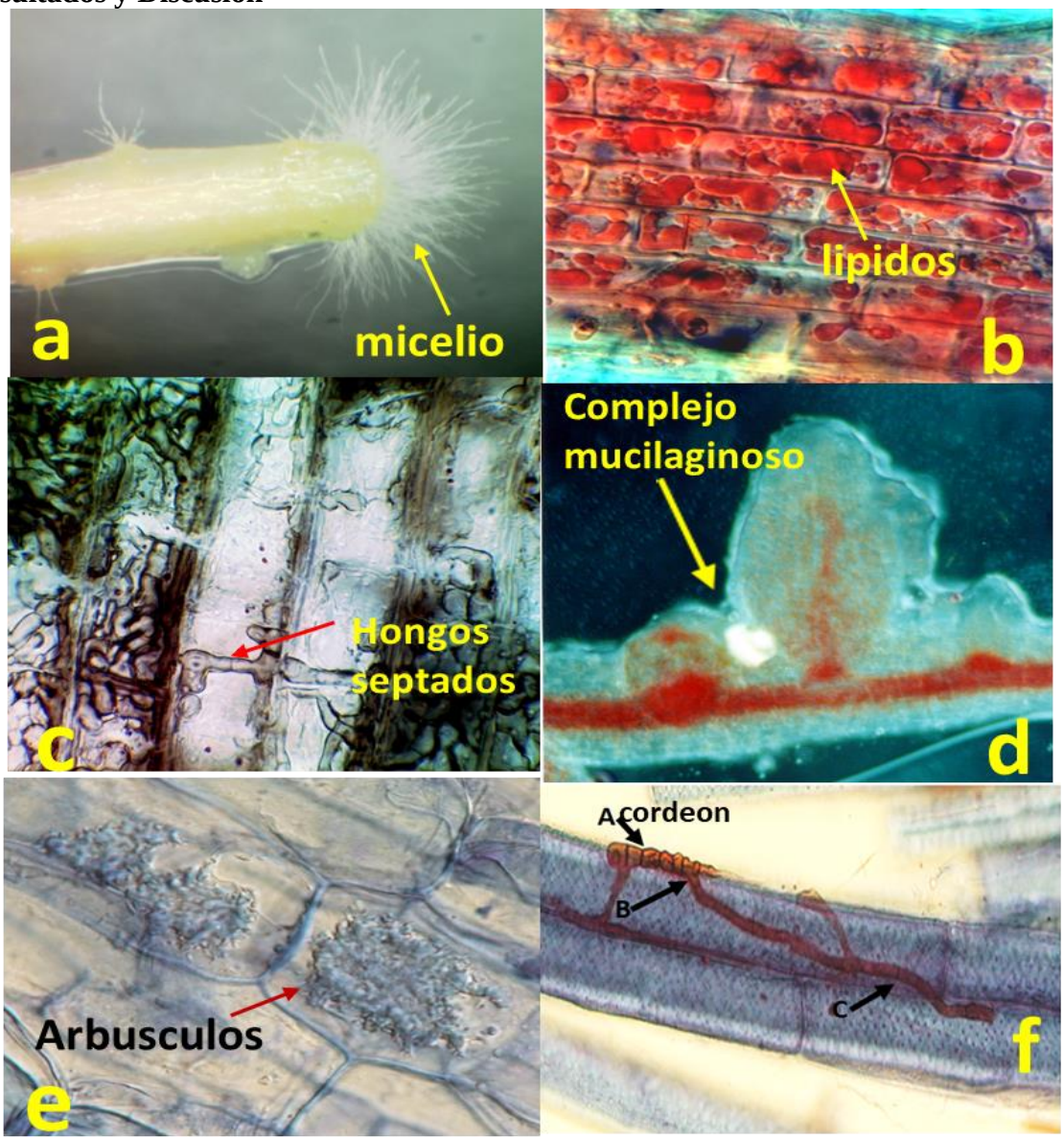


Figura 1. Colonización de hongos endofiticos en raíces de pastos y arbustos al sureste de Nuevo México, USA y norte de México. A) hongos endofiticos emergiendo de yemas y de la sección disectada en segmentos asépticos de raíces, B) Acumulación de lípidos en las estructuras de los hongos en plantas

fotosintéticamente activas en verano, **C) planta dormantes en la estación de invierno, cuyas raíces muestran una colonizacion intercelular melanizada, D) mucilago del hongo endofitico cubriendo las raíces recién emergidas, E) Micorrizas arbusculares en plantas invasoras de trompillo en verano, F) Hongos endofiticos melanizados en forma de acordeón en *Atriplex canescens* en otoño.**

Estas tinciones duales revelaron una diversidad de comunidades de hongos asociados con raíces a nivel intra o intercelular, cuya actividad estaba relacionado con las etapas fenológicas de la planta (Figura 1). Los segmentos de raíces asépticos mostraron una alta densidad de micelio justo en el corte y en sus yemas (Figura1a). En la etapa fotosintética de la planta, las estructuras de los hongos HES, funcionan como protoplastos sin una visible pared celular que escapan a su detección por métodos de tinciones para quitina de los hongos. Una característica de estos hongos, quizás única, fue la impresionante acumulación de lípidos dentro de sus órganos Osuna *et al*., 2012, en la etapa activa de la planta en verano (Figura 1b). En contraste, en raíces dormantes en invierno, las estructuras del hongo, se observan hifas septadas melanizadas (Figura 1c) y esporas en reposo que son típicos de los HES. Las raíces recién emergidas fueron cubiertas por un complejo mucilaginoso del hongo, quizás como una protección contra las frecuentes sequias en este ecosistema (Figura 1d)**.** La presencia de arbúsculos de las micorrizas fue frecuente cuando las plantas estaban fotosintéticamente activas en las plantas invasoras del trompillo (Figura 1e). Solo *A. canescens* fue colonizado por hongos endófitos melanizados durante las 4 estaciones del año (Figura1f). Estas asociaciones indica, una continua transferencia del medio ambiente a las platas y de las plantas al suelo (Tahtamouni *et al*., 2016) que tienen una función ecológica y fisiológica en el manejo de carbono entre las raíces y el hongo en los ecosistemas áridos de la frontera México-USA.

Conclusiones

Los pastos y arbustos fueron colonizados tanto por micorrizas arbusculares como por los hongos HES. Los HES no presentaron síntomas visibles de enfermedad en las plantas. En contraste, solo *Atriplex canescens* fue colonizado por HES. El trompillo como especie invasora sus raíces fueron colonizadas en forma simultanea por ambos hongos. La actividad de los hongos estuvo relacionada con la etapa fenológica de las plantas.

Referencias

Barrow, J. R. and R. E. Aaltonen. 2001. A method of evaluating internal colonization of *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. roots by dark septate fungi and how they are influenced by host physiological activity. Mycorrhiza. 11:199-205.

Barrow, J. R., Osuna-Avila, P. and I. Reyes-Vera. 2004. Fungal endophytes intrinsically associated with micropropagated plants regenerated from native *Bouteloa eriopoda* Torr. and *Atrilpex canescens* (Pursh) Nutt. In Vitro Cell Dev. Biol. Plant. 40: 608-612.

Barrow, J. R.; Havstad, K. M.; Hubstenberger, J.; McCaslin, B. D. 1997a. Fungal root endophytes in fourwing saltbush, *Atriplex canescens*, on arid rangelands of Southwestern USA. Arid Soil Res. Rehab. 11: 177-185.

Cox, J.R. H.L. Morton, T.N. Johnsen, Jr. G.L. Jordan, S.C. Martin and L.C. Fierro. 1984 Vegetation restoration in the chihuahuan desert and sonoran desert of North America. Rangelands 6:112-115.

EPPO, 2007 *Solanum eleagnifolium* Cav. Data sheets on quarantine pests. Bulletin OEPP/EPPO Bulletin 37, 236–245.

Lucero, M., J. Barrow, P. Osuna-Avila, I. Reyes. 2008. Cryptic microbial community persist within microparopagated *Bouteloua eripoda* (Toor.) Torr. Cultures. Plant Sciences 174: 570-575.

Malinowski, D.P. and D.P. Belesky. 2000 Adaptations of Endophyte-Infected Cool-Season Grasses to Environmental Stresses: Mechanisms of Drought and Mineral Stress Tolerance. Crop Science, 40, 923-940.

Osuna-Ávila, P. J. Barrow, M. Lucero. 2012. A relationship between lipid bodies and plant fungal symbiosis in native desert plants. Terra Latinoamericana. 30 (1). 39-45.

Osuna-Avila, P.; Barrow. J. R. 2009. *In vitro* system to determine the role of Aspergillus ustus on Daucus carota roots. Terra Latinoamericana 27: 363-372.

Raven, P. H.; Evert, R. F.; Eichhorn, S. E. 1992. Biology of plants. 5 ed. Worth Publishers, New York: 791.

Robinson, A. F.; Orr, C. C.; Heintz, C. E. 1978. Distribution of Nothanguina phyllobia and its potential as a biological control agent of silverleaf nightshade. Journal of Nematology 10, 361–366.

Saif, S. R.; Ali, I.; Zaidi, A. 1977. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in plants and endogonaceous spores in the soil of northern áreas of Pakistan. III. Dir and Chitral. Pakistan Journal of Botany 9:129-148.

Tahtamouni, M., S. khresat , M. Lucero, J.A. Sigala, 2016. Diversity of endophytes across the soil-plant continuum for *Atriplex spp*. in arid environments. J Arid Land. 8(2): 241–253 doi: 10.1007/s40333-015-0061-9

Williams, J. T.; Ford-Lloyd, B. V. 1974. The systematics of the Chenopodiaceae. Taxon 23: 353–354.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CALIDAD DEL SUELO EN EL PARQUE NACIONAL IZTA-POPO

Valderrábano-Gómez1, JM.[1*]; Cruz-Flores2, G.[2]
[1]**Facultad de Estudios Superiores Zaragoza-UNAM. Ciudad de México. México.**
[2] **Facultad de Estudios Superiores Zaragoza-UNAM. Ciudad de México. México.**
*Autor responsable: jumavalde@yahoo.com.mx; Calle Batalla 5 de mayo, Núm. s/n esquina Fuerte de Loreto, Col. Ejército de Oriente, Ciudad de México, México. CP 09230; Tel. +52(155)-14785844

Resumen

En 200 km^2 dentro del Parque Nacional IztaPopo y su zona de influencia, de 39 sitios al azar se tomaron muestras de suelo para determinar características físicas, químicas y bioquímicas. En cada sitio se obtuvieron muestras foliares de individuos de *Pinus* y *Abies religiosa* para analizar N y P, además de registrar diámetro a la altura del pecho para productividad forestal. Con el Análisis de Componentes Principales, de 23 variables edáficas, se identificaron 9 variables robustas (VR) que explican 80% de la variabilidad total (evolución de CO_2 del suelo, actividad de la fosfatasa alcalina, materia orgánica del suelo, pH activo, Na y Mg intercambiables, porcentaje de arena, conductividad eléctrica y densidad real). Con las VR se generaron Valores de Calidad de Suelo (VCS) y estimó el Valor Total de Calidad de Suelo (VTCS) con un modelo aditivo (VTCS = parámetros bioquímicos + parámetros físicos + parámetros químicos). Evolución de CO_2 del suelo, carbono de la biomasa microbiana, pH activo, conductividad eléctrica, carbono orgánico del suelo y N-foliar fueron las variables que mejor caracterizaron a los sitios de mayor productividad forestal. Se encontró que *A. religiosa* se relaciona con sitios de calidad de suelos alta en suelos menos ácidos que *Pinus*. Los suelos bajo *A. religiosa* tienen más productividad forestal, mayor contenido de N-total, menor desprendimiento de CO_2 del suelo y mayor concentración de N-foliar. Se exploraron tres métodos geoestadísticos (Spline, inverso de la distancia y Kriging) con el fin de obtener un mapa de VCTS representativo para la región.

Palabras clave:
Calidad del suelo; Distribución espacial; SIG.

Introducción

El concepto de calidad del suelo (CS), tiene como base la premisa de manejo, estabilización y mejoramiento de sus funciones en los ecosistemas terrestres tendientes a promover la salud vegetal y animal como resultado de la combinación de sus atributos físicos, químicos y biológicos (Board on Agriculture, 1993; Doran y Parkin, 1994; Franzluebbers, 2002). Los indicadores para evaluar CS deben reflejar sus procesos, integrar sus propiedades y ser sensibles a cambios ambientales. La diversidad de suelos es uno de los factores que dificulta que sea propuesto un índice que combine todas sus propiedades en una fórmula sencilla y permita comparar la CS entre sitios y parcelas (Janvier *et* a*l*., 2007; Velásquez *et al*., 2007; Zornoza *et al*., 2007).

Cuando se pretende analizar amplios conjuntos de datos de diferentes variables en diversas Unidades Experimentales (UE), se pueden aplicar técnicas de análisis estadístico multivariado. El Análisis de Componentes Principales (ACP) es útil para cribar datos de variables múltiples y agruparlas en subgrupos semejantes (Johnson, 2000), como puede ser el análisis de CS de diferentes unidades edáficas con distinto manejo. Ante la aplicación inapropiada de los métodos de la estadística clásica que ignoran las asociaciones espaciales entre los datos analizados, recientemente se ha incrementado la demanda y uso del análisis estadístico inherente a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que pueden analizar y transformar la información espacial para construir modelos predictivos y mapas relacionados con la información contenida en la base de datos (Jay y Wong, 2001; ESRI, 2002; MapInfo Corporation, 2004). Así, con la determinación y estudio de las propiedades físicas, químicas y bioquímicas del suelo, el objetivo de esta investigación fue conocer la calidad de los suelos del Parque Nacional IztaPopo, utilizando por grupo de propiedades, el Análisis de Componentes Principales (ACP) que destaca las variables robustas y, mediante un modelo aditivo, agruparlas en clases que, desplegadas en un SIG, representarlas espacialmente.

Materiales y Métodos

El Parque Nacional IztaPopo, Zoquiapan se ubica en la parte centro-oriental del Eje Volcánico Transversal, dentro de una cordillera con cuatro volcanes (Tláloc, Telapón, Iztaccíhuatl y Popocatépetl). En etapa de gabinete se analizó una base de datos de muestras de suelo de 39 sitios georeferenciados, colectadas entre 2001 y 2006, procedentes de resultados de investigaciones hechas en el Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal de la Unidad Multidisciplinaria de Investigación Experimental de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. Entre junio de 2007 y octubre de 2008, de estos 39 sitios se visitaron nuevamente 17 para colectar suelo, medir su profundidad con una barrena y evaluar y recabar información de productividad forestal. Con la información obtenida de los análisis de suelo registrados en la base de datos y de la obtenida recientemente, se generaron Valores de Calidad de Suelo (VCS) por grupo de parámetros edáficos mediante un Análisis de Componentes Principales (ACP) y un modelo aditivo (VTCS = parámetros bioquímicos + parámetros físicos + parámetros químicos) que dieron como resultado un Valor Total de Calidad de Suelo (VTCS), el cual fue validado con análisis de varianza y de correlación simple de Pearson con los parámetros de productividad forestal (DAP y altura del árbol) y los contenidos de N y P foliar de las especies de *Pinus* y *Abies religiosa*, tomadas al azar de individuos arbóreos que no presentaron evidencias de tala, herbivoría, incendio o plaga (Chapingo, 2001; Valderrábano-Gómez, 2005). Se exploraron tres análisis geoestadísticos (inverso de la distancia, kriging y spline) para compararlos y conocer cuál representa mejor la distribución espacial del VTCS en una superficie obtenida con un SIG (Fuenzalida *et al*., 2015). Del trabajo de campo, se describieron los sitios elegidos dentro de zonas con bosques de pino y oyamel donde se realizaron cuadrantes rectangulares de 50 x 20 metros cuadrados (1000 m^2) (Moscovich y Brena, 2006; Inventario Nacional Forestal y de Suelos, 2004-2010). El trabajo de laboratorio consistió en secar las muestras de suelo a temperatura ambiente y tamizarlas en malla de 2 mm. A cada muestra se le determinaron propiedades Físicas: Conductividad eléctrica de la solución del suelo relación 5:1 (Richards, 1990), textura del suelo mediante la técnica de Bouyoucos, densidad real (DR) por la técnica del picnómetro y la densidad aparente (DA) por la técnica del cilindro.

El espacio poroso (EP) se estableció mediante la ecuación: (1-DA/DR) x 100 (Elliott *et al*., 1999); Químicas: pH potencial del suelo con KCl 1N y el activo con H_2O (ambos relación 1:2) (Jackson, 1964); cationes intercambiables (CI) por extracción con acetato de amonio 1N a pH 7 y cuantificación por absorción atómica (Robertson et al., 1999); materia orgánica del suelo (MOS) por Walkley y Black (Jackson, 1964) y a partir de ella C-orgánico del suelo (COS) mediante el factor de Van Bemmelen (SSSA, 1996); porcentaje de N-total por semimicro-kjeldahl modificado para incluir nitratos (Sollins et al., 1999) y el P-disponible se cuantificó con solución extractante de Bray y Kurtz con lectura en espectrofotómetro a 660 nm (Lajtha *et al*., 1999); Bioquímicas: Las muestras destinadas para análisis bioquímicos se almacenaron a 4 °C hasta su estudio (Jenkinson *et al*., 2004), respiración microbiana mediante evolución de CO_2 del suelo por el método de fumigación-incubación (Paul *et al*., 1999) y la actividad de la fosfatasa ácida y fosfatasa alcalina por el método del p-Nitrofenil-fosfato (Tabatabai, 1994). El Análisis del tejido foliar consistió en pesar las muestras foliares al llegar a laboratorio y después fueron secadas en una estufa a 70°C hasta peso constante. Posteriormente fueron molidas, tamizadas (malla 2 mm) y almacenadas hasta su determinación. El porcentaje de nitrógeno fue cuantificado con el método semimicro-kjeldahl (Sollins, 1999) y el de fósforo mediante solubilización por digestión con ácidos nítrico y perclórico y desarrollo de color con el reactivo vanadomolíbdico (Allan, 1971).

Resultados y Discusión

Con el ACP se encontró que el VTCS está determinado principalmente por la producción de CO_2 del suelo, fosfatasa alcalina, materia orgánica del suelo, pH activo, Mg y Na intercambiables, porcentaje de arena, densidad real y conductividad eléctrica; parámetros que en conjunto explican 80% de la variabilidad total del ACP. Los resultados demostraron que suelos con VTCS muy bajo tuvieron alta producción de CO_2 del suelo, alta actividad de la enzima fosfatasa alcalina, presentaron menor porcentaje de MOS en referencia al promedio general y pH fuertemente ácido según la NOM-021-SEMARNAT-2000. Al revisar ciertos parámetros del suelo por clase de VTCS, se observó que fue alto casi siempre que el promedio de MOS fue igual o superior a 10 porciento, el de arena ubicado entre 73 y 74 porciento y pH activo cercano a 6.0, además de tener mayor contenido de N-total, COS, CBM, P-disponible, N-foliar y relación CBM/COS que los de calidad baja. Estadísticamente, el análisis de correlación indicó que el VTCS fue alto cuando la calidad atribuible a los parámetros bioquímicos ($r= 0.7$, $p\leq0.05$) y químicos también lo fue ($r=0.7$, $p\leq0.05$), mientras que entre el VTCS y el cociente CO_2/CBM se presentó tendencia negativa ($r=-0.4$, $p\leq0.05$). El análisis de varianza ($p\leq0.05$) mostró que la calidad de los suelos atribuida a parámetros químicos del suelo y total es mejor bajo *A. religiosa* que bajo *Pinus*, lo cual explica que el porcentaje de N-foliar en individuos de *A. religiosa* fue mayor que en las acículas de los del género *Pinus*, con diferencia significativa $p\leq0.05$. De la productividad forestal, la más baja se encontró en bosques de *P. hartwegii*, donde se presentaron los suelos más ácidos y en consecuencia donde el VTCS fue bajo. El análisis de varianza demostró diferencias significativas ($p\leq0.05$) de volumen maderable entre sitios con bosques de *A. religiosa* respecto de los bosques de *Pinus*. Finalmente, se encontró que, tanto en bosques de *Pinus* como en los de *Abies religiosa*, al disminuir la producción de CO_2 del suelo y en consecuencia la relación CO_2/CBM, los sitios tuvieron mayor volumen de madera y sus suelos fueron clasificados como calidad media (M), lo cual coincide con que en bosques de *A. religiosa* con mayor volumen de madera, hay más contenido de COS, N-total y CBM. En general, los bosques de *Pinus* con mayor producción de madera se distribuyeron principalmente al este de la Sierra Nevada y los de *A. religiosa* al oeste.

La relación inversa entre evolución de CO_2 del suelo y el carbono de la biomasa microbiana se considera como una medida de la actividad microbiana del suelo que puede expresar la velocidad de mineralización de la MOS (Janvier *et al*., 2007). Así, los indicadores metabólicos (CBM/COS y CO_2/CBM) son parámetros que muestran eficiencia de la mineralización del sustrato orgánico e indican la calidad y salud del suelo mediante la relación de la actividad microbiana produciendo CO_2 y la cantidad de biomasa microbiana por unidad de tiempo (Acuña *et al*., 2006). Los suelos con relación de CO_2/CBM alta muestran un medio edáfico inmaduro o estresado, donde la MOS puede acumularse bajo condiciones limitantes para el desarrollo de biomasa microbiana donde ésta destinará menos energía a procesos de biosíntesis, gastando una porción importante en el mantenimiento de sus células que finalmente se perderá como CO_2 (Zagal y Córdova, 2005). Kurganova *et al*., (2007) demostraron que la producción de CO_2 en suelo cultivado seco es mayor que en suelo húmedo. Así mismo, señalaron que, en suelos forestales, la actividad respiratoria aumenta cuando la temperatura disminuye. Lo anterior explica que los coeficientes metabólicos con los valores más bajos se hayan correspondido con los sitios donde el VTCS y el volumen maderable fueron altos, además que en sitios de mayor altitud o alterados y donde la actividad metabólica no es la adecuada, el C proveniente de la mineralización de la MOS no es aprovechado por los microorganismos como aporte de energía, por lo que no pueden abastecer a las plantas de nutrimentos para que éstas sinteticen apropiadamente los carbohidratos que incrementan su biomasa; lo cual concuerda con la tendencia observada entre volumen maderable y relación CBM/COS, que demuestran que a mayor cantidad de C en la biomasa microbiana (fracción lábil de C en el suelo) la productividad forestal es mayor.

Conclusiones

De veintitrés variables experimentales se obtuvieron nueve variables robustas (VR) que explicaron 80% de variabilidad del suelo (CO_2 y fosfatasa alcalina, MOS, pH activo, Mg y Na intercambiables, porcentaje de Arena, DR y CE).

Se encontró que los suelos con mayor valor de calidad tuvieron una producción de CO2 del suelo menor de 150 kg ha^{-1} $día^{-1}$ y una relación CO_2/CBM baja.

La productividad forestal tuvo tendencia positiva con la calidad del suelo. Sitios con mayor productividad, tanto en *A. religiosa* como en *Pinus* tuvieron mejor VCST.

Bosques de *A. religiosa* tuvieron mayor volumen maderable respecto a sitios con bosques de *Pinus*.

El modelo aditivo propuesto permitió establecer la calidad de los suelos del PN IztaPopo y su zona de influencia, al incluir parámetros Físicos, Químicos y Bioquímicos que reflejan el estado que guardan los suelos.

Referencias

Acuña O., W. Peña, Serrano, E., Pocasangre, L., Rosales, F., Delgado, E., Trejos, J., Segura, A. 2006. La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de los suelos. XVII Reunião Internacional da Asociação para a Cooperação nas Pesquisas sobre Banana no Caribe e na America Tropical. Santa Catarina Brasil.

Allan J. 1971. The preparation of agricultural samples for analysis by atomic absorption spectroscopy. Varian Techtron, Walut Creek, California. U. S. A.

Board on Agriculture. 1993. Soil and water quality. Comitte on Long-Range soil and water conservation-National Research Council. National Academy Press. U. S. A. 187-235 pp.

Chapingo. 2001. Programa de la materia de producción forestal. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 1-25 pp.

Doran, J. W. y T. B. Parkin. 1994. Defining and Assessing Soil Quality. pp. 3-22. In: Doran J., Coleman D, Bezdicek D. y Stewart B. (Ed.). SSSA Special Publication no. 35. Wisconsin, U.S.A.

Elliott, E. T., J. W. Heil, E. F. Kelly, and H. C. Monger. 1999. Soil structural and other physical properties. In: Standard Soil Methods for Long-Term Ecological Research. Robertson, G. P., D. C. Coleman, C. S. Bledsoe, and P. Sollins (eds). Oxford University Press, New York. pp: 74-85.

Franzluebbers, A. J. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. Soil and Tillage Res. 66: 95-106.

Fuenzalida, M., G. D. Buzai, A. Moreno-Jiménez y A. García de León. 2015. Geografía, Geotecnología y Análisis Espacial: Tendencias, Métodos y Aplicaciones.Editorial Triángulo.Chile. 208 pp.

Inventario Nacional Forestal y de Suelos. 2004-2010. SEMARNAT-CONAFOR. México. 140 pp.

Jackson M. L. 1964. Análisis químico de suelos. Editorial Omega. España.

Janvier, E., F. Villeneuve, C. Alabouvette, V. Edel-Herman, T. Mateille, C. Steinberg. 2007. Soil health through soil disease suppression: Wich strategy from descriptors to indicators?. Elsevier-Soil Biology & Biochemistry.

Jay, L. y W. S. D. Wong. 2001. Statistical Analysis With ArcView GIS. John Wiley & Sons Inc. Canadá. 192 pp.

Johnson, D. 2000. Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. International Thomson Editores. México. 561 pp.

Jenkinson, D., P. C. Brookes y D. S. Powlson. 2004. Measuring soil microbial bimass. Elsevier-Soil Biology & Biochemistry. Vol. 36, 5-7 pp.

Kurganova, I., R. Teepe y N. Loftfield. 2007. Influencia de los eventos de congelamiento-descongelamiento sobre emisiones de CO2 del suelo en diferentes usos de suelo y humedad. Carbon Balance and Management.

Lajtha K., C. T. Driscoll, W. M. Jarrell, and E. T. Elliott. 1999. Soil phosphorus: characterization and total element analysis. In: Standard Soil Methods for Long-Term Ecological Research. Robertson, G. P., D. C. Coleman, C. S. Bledsoe, and P. Sollins (eds). Oxford University Press, New York. pp: 115-142.

MapInfo Corporation. 2004. MapInfo Profesional versión 7.5/7.8, Supplement. Minfo Corpotation. Troy, New York. 266 pp.

Moscovich, F. A. y D. A. Brena. 2006. Comprobación de cinco métodos de muestreo forestal en un bosque nativo de Araucaria angustifolia Bert. O. Ktze. Quebracho. No. 13. 7-16 pp.

Richards, L. A. 1990. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 6ª edición. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. LIMUSA. México.

Sollins, P., C. Glassman, E. A. Paul, C. Swanston, K. Lajtha, J. W. Heil, and E. T. Elliott. 1999. Soil carbon and nitrogen: pools and fractions. In: Standard Soil Methods for Long-Term Ecological Research. Robertson, G. P., D. C. Coleman, C. S. Bledsoe, and P. Sollins (eds). Oxford University Press. New York. pp: 89-105.

SSSA, 1996. Methods of soil Analysis, part 3, chemical methods. Soil Society of America-American Society of Agronomy. 961-1068 pp.

Tabatabai, M. 1994. Soil Enzymes. in R.W. Weavwe, J.S. Angle and P.S. Bottomley. 1994. Methods of Soil Analysis. Part 2 Microbiological and Biochemical Properties. Soil Science of America. U.S.A.

Valderrábano-Gómez J. M. 2005. Calidad del suelo y estado nutrimental de la vegetación forestal del Parque Nacional Zoquiapan y Anexas. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza-UNAM. México. 130 pp.

Velásquez, E. P. Lavelle y M. Andrade. 2007. GISQ, a multifuncional indicator of soil quality. Elsevier-Soil Biology and Biochemistry. No. 39. 3066-3080 pp.

Zagal, E. y C. Córdova. 2005. Indicadores de calidad de la materia orgánica del suelo en un andisol cultivado. Agricultura Técnica. 65(2). Página consultada en septiembre de 2010. http://www.inia.cl/at.

Zornoza, R., J. Mataix-Solera, C. Guerrero, V. Arcenegui, F. García-Orenes, J. Mataix-Beneyto, A. Morugán. 2007. Evaluation of soil quality using multple lineal regresión based on physical, chemical and biochemical properties. Elsevier-Science Direct. 233-237 pp.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

CALIDAD INHERENTE Y DINÁMICA DE ANDOSOLES COMO INDICADORAS DEL MANEJO SUSTENTABLE DE LOS ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

Chavarin-Pineda, Y.[1]; Cruz-Flores, G.[2]; Torres-Trejo, E.[3]; Linares-Fleites, G[3]; Tenorio-Arvide, M. G.[3]; Valera-Pérez, M. A.[3*]

[1]Posgrado en Ciencias Ambientales, BUAP. Puebla, Puebla. México.
[2] UNAM, ENEP-FES Zaragoza, Ciudad de México, México. México.
[3] Depto. Inv. Ciencias Agrícolas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, Puebla. México.

*Autor responsable: miguelangelvaleraperez@gmail.com; Calle 14 sur Núm. 6301, Ed. IC4, Col. Jardines de San Manuel, Puebla, Puebla. México. CP 72570; Tel. +52(222)2 29 55 00 Ext. 7355.

Resumen

La definición de calidad de suelo también considera por algunos autores como salud del suelo, dependerá en gran medida del uso que se pretenda dar al recurso suelo. En este trabajo se ha considerado la calidad inherente y dinámica de los suelos como indicadores de sustentabilidad, en particular en suelos de origen volcánico, estos suelos tienen propiedades fisicoquímicas únicas, ya que por un lado son sistemas altamente productivos y al mismo tiempo son susceptibles de intemperizarse rápidamente. En el presente trabajo, se baso en el modelo Presión-Estado-Respuesta, para seleccionar los indicadores más apropiados que definieran los suelos seleccionados en un sistema de montaña de la Sierra Nororiente de Puebla, se observó que la cantidad de residuos presentes en el zona de estudio marca una diferencia considerable al momento de evaluar la calidad del recurso; por otro lado, el pH es un indicador que responde a un conjunto básico de atributos de sustentabilidad del sistema.

Palabras clave Calidad de suelos, Calidad Inherente; Calidad dinámica; Andosoles

Introducción

La evaluación de la calidad o salud del suelo y la variación del cambio con respecto al tiempo es el primer indicador del manejo sustentable de la tierra (Doran, 2002; Doran *et al*., 2002), la condición del suelo determina la salud humana (Doran, 2002); por otro lado esta evaluación se contempla como una herramienta para valorar el impacto de las prácticas de manejo utilizadas, así como para diagnosticar las causas de los problemas presentes en la región en estudio (NRSC, 2001).
Los suelos desarrollados a partir de depósitos volcánicos tienen diversas características, son altamente productivos dependiendo del grado o intensidad del desarrollo pedogenético (Valle y Carrasco, 2018), sin embargo este tipo de suelos se intemperiza rápidamente presentando atributos negativos. Para maximizar su productividad es necesario entender sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas para poder hacer un propuesta adecuada de manejo (Dalhgren et al., 2004); en el caso particular de los Andisoles (de acuerdo a la clasificación de la Soil Taxonomy, 2014 y Andosoles en la World Reference Base for Soil Resources (WRB), 2014) se realizan esfuerzos

significativos para evaluar la calidad y manejo de prácticas para minimizar el impacto negativo que causa el uso y manejo de este particular recurso (Valle y Carrasco, 2018).

Para evaluar la calidad de suelo se requiere de indicadores, Winograd (1995), señala que para desarrollar esta herramienta se requiere, a nivel general y mundial, una marco metodológico específico y considera el modelo presión-estado-respuesta (PER) desarrollado por la OCDE como el más aceptado a nivel mundial por su simpleza, facilidad de uso y posibilidad de aplicación en diferentes niveles, escalas y actividades humanas. Sin embargo, Muller (1996) menciona que a un nivel jerárquico más bajo (por ejemplo, finca, cuenca, etc.), no existe tal marco común, sino que los indicadores se definen mediante la sabiduría común o de acuerdo con la experiencia específica de la persona que los seleccionó.

La calidad de suelo no es un tema que solo tenga que ver con la agricultura, sino también con la salud humana, como lo resalta Forman desde 1952. Várallyay (2006), la relaciona con criterios de calidad de vida: salud, alimentos seguros y de calidad, calidad del agua, combinados en un medio ambiente agradable. Los anterior se relacionan con el uso racional y el manejo sustentable del recurso. Para la Natural Resources Conservation Service (NRSC, 2001) es la capacidad que tiene cada tipo de suelo en su función natural o en su manejo como limite de un ecosistema. Además la clasifica en Calidad Inherente (CI) y Calidad Dinámica (CD). Propiedades tales como textura, mineralogía, color, etc., son innatas del suelo, determinadas por sus factores formadores y conforman así su calidad inherente. La cual al ser modificada por actividades antropogénicas, da como resultado una calidad dinámica.

Materiales y Métodos

El estudio se realizo en la zona nororiental del estado de Puebla, el cual corresponde a una zona de montaña con suelos de origen volcánico que soportan vegetación de bosque mesófilo de montaña. Se contemplaron las etapas de: a) Etapa de gabinete: delimitación de la zona en estudio se realizó mediante el uso de material cartográfico editado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). b) Etapa de campo: una vez delimitada la zona de estudio en las cartas se realizó un recorrido preliminar por la zona, localizando los sitios de muestreo, para la determinación del “Estado” del recurso suelo, de acuerdo al modelo Presión-Estado-Respuesta propuesto (FAO, 1977; NOM-021-RECNAT-2000; Schoeneberger et al., 2000). c) Etapa de laboratorio: análisis fisicoquímico considerando la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 y el Soil Survey Laboratory Methods Manual (Burt, 2004), y referencias complementarias. Finalmente la etapa d) La evaluación estadística de las propiedades físicas y químicas de las muestras de suelo correspondientes a los horizontes A de los 28 perfiles representativos y georeferenciados. Se consideraron tres problemas 1: Materia orgánica y residuos del suelo (% Carbono orgánico, % Nitrógeno total, % en volumen raíces finas, % en volumen de residuos). 2. pH del suelo (pH en H2O, relación suelo:agua 1:2 y pH en solución KCl 1N pH 7; relación suelo:solución 1:2) y 3. Fertilidad del suelo (% Carbono orgánico, pH en H2O, relación suelo:agua 1:2, % Nitrógeno, Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C), % Saturación de bases, Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio intercambiables. La selección de las variables para el análisis estadístico se hizo de acuerdo al planteamiento de los problemas considerados en la guía para valorar la calidad de suelo en planes de conservación del NRCS (2001) modificada por algunos parámetros considerados importantes para el estudio del la calidad de suelos en la zona de estudio. El análisis estadístico de los resultados obtenidos se efectuó con el sistema MINITAB 15 (Minitab, 2005). Análisis Multivariado de

Varianza (MANOVA): para determinar si las variables observadas expresaban las diferencias entre los dos grupos de suelos considerados y cuáles de ellas explicaban esas diferencias, además de análisis discriminante lineal para obtener las funciones discriminantes y valorar la calidad de las mismas. Desde el punto de vista del cálculo, para tamaños de muestras moderados (como es nuestro caso) es recomendable el estadístico conocido como criterio de Wilks, (Linares, 2006; Peña, 2002).

Resultados y Discusión

La zona en estudio se encuentra inmersa en la Región Terrestre Prioritaria: 105, está ultima también alberga el Área de Importancia para la Conservación de Aves (AICA) C-47: Cuetzalan. El contexto en que se encuentran los perfiles seleccionados en este estudio son, 1) suelos que soportan vegetación forestal, especialmente bosque mesófilo de montaña y 2) suelos deforestados que actualmente están siendo utilizados para actividades agrícolas, y estos se encuentran en la zona de amortiguamiento o zona de influencia de la reserva. De acuerdo a la NRCS (2001), entre las variables originales para el problema 1: Materia orgánica y residuos, no se consideraba el porcentaje de nitrógeno (%N) como variable en la evaluación de la calidad del suelo, sin embargo, en algunos trabajos sobre la calidad de los Andisoles, el %N ha sido considerado en este proceso de evaluación (Roldán et al., 2003), por lo que se decidió incluirlo en el presente estudio. El contenido de materia orgánica ha sido considerado como un factor clave en la calidad del suelo, ya que es una importante fuente de nutrientes para las plantas y cultivos, favorecen la infiltración de aire y agua, promueve la retención de agua, absorbe substancias toxicas naturales o antropogénicas controlando sus efectos tóxicos; ayuda a proteger el suelo de los efectos de la precipitación, la erosión hídrica y ayuda en la conservación del agua; además la materia orgánica se asocia con el incremento en la estabilidad de los agregados (Sikora y Stott, 1996). Cabe señalar que los cambios en las características de la calidad dinámica de los suelos pueden cambiar en períodos de tiempo relativamente cortos, además se deben considerar las actividades humanas, y las prácticas de uso y manejo a los que estén sometidos los suelos. Una de las características que cambia en relativamente poco tiempo es el contenido de materia orgánica (Fließbach et al., 2007), no obstante, en sí misma es clave para definir la calidad de los suelos (Sikora y Stott, 1996).

Con respecto al problema 2, pH, otra propiedad importante en los Andisoles y que se relaciona estrechamente con el pH, es la carga variable de los suelos. Los resultados estadísticos de este problema, podría decirse que el pH en sí, no es un indicativo en la calidad de suelos, puesto que no existe una diferencia significativa en los grupos de muestras estudiadas, sin embargo para Schoenholtza et al., (2000), el pH debe ser incluido en la evaluación de la calidad de los estos como un indicador clave, en especial en suelos forestales. Al mismo tiempo, el pH en los suelos influye simultáneamente en procesos químicos y biológicos; y provee en sí mismo información directa acerca de los procesos que afecta, también se puede conocer la relación que guarda con los componentes ambientales de la calidad de suelos; la capacidad de producción del suelo o la disponibilidad de nutrientes para las plantas; Schoenholtza et al. (2000), también señala que es importante considerar, que las curvas de pH generalmente se relacionan con el desarrollo agrícola y que además no necesariamente aplican a suelos forestales, ya que estos requiere de un pH óptimo para el desarrollo de los árboles. Nuevamente se hace evidente que no se tienen indicadores de calidad generalizados para todo tipo de suelo. Por otra parte, Karlen y Stott (1994) y Doran y Parkin (1994) sugieren que el pH es un indicador de primer orden ó básico en la evaluación de la calidad; también en Astier et al, (2002) se señala que el pH en suelos con un manejo racional, el tiempo

requerido para percibir cambios en el pH en los primeros 7 cm del perfil del suelo es de cinco años, sin embargo se recomienda que la medición se realice estacionalmente, esto debido a que en suelos altamente dinámicos la variación puede apreciarse en menos de un año (Cruz et al., 2003). De los resultados de pH entre ambos grupos de suelo, se observa que este valor no varía bruscamente entre los grupos de calidad propuestos, esto conduce a considerar que el sistema es resilente, es decir, es capar de resistir cambios adversos bajo una serie de condiciones ecológicas y de uso del suelo, y de retornar a su estado original de equilibrio dinámico después de la perturbación, por ejemplo después de un evento catastrófico como las lluvias de alta intensidad registradas o el uso intensivo de agroquímicos y monocultivo. De esta forma el pH es un indicador que responde a un conjunto básico de atributos de sustentabilidad del sistema, como son: productividad, equidad, estabilidad, resiliencia y adaptabilidad. Los atributos productividad, estabilidad y resiliencia están estrechamente relacionados con la calidad de los suelos (Bezdicek et al., 1996 y Astier et al., 2002) Finalmenten, con respecto al problema 3. La capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) es un atributo crítico en la evaluación de la calidad de los suelos agrícolas ya que se relaciona con la retención y disponibilidad de nutrientes, mientras que en los suelos forestales esta propiedad muchas veces esta ausente en la evaluación de la calidad. En suelos forestales, la C.I.C. en sí misma es menos importante que el porcentaje de saturación de bases como indicador de nutrientes disponibles. Esto concuerda con el resultado estadístico al observar que la variable que más destaca las diferencias entre las medias de los niveles es el % de saturación de bases y en valor absoluto el % de carbono orgánico también es capaz de señalar diferencia entre las medias de la calidad inherente y la calidad dinámica. De esta forma, se observa que las variables que marcan la diferencia entre la CI y la CD en los suelos estudiados son básicamente el porcentaje de saturación en bases y el porcentaje de carbono orgánico.

Conclusiones

Los indicadores seleccionados fueron apropiados para diferenciar la calidad inherente y dinámica de los suelos de origen volcánico que soportan vegetación de bosque mesófilo de montaña y son: porcentaje de residuos, pH en H_2O y en KCl, porcentaje de saturación de bases y carbono orgánico. De los problemas seleccionados, una de las variables a considerar fue el porcentaje de residuos, el cual esta altamente correlacionado con el porcentaje de carbono orgánico y de nitrógeno. De esta forma estos parámetros se consideran como indicadores para evaluar la calidad de los suelos. Por otro lado, con respecto al pH, se concluye que para estimar la calidad de los suelos debe hacerse multivariadamente, es decir usar valores de pH en H_2O como en KCl. El pH es un indicador que responde a un conjunto básico de atributos de sustentabilidad del sistema, especialmente de resiliencia.

Referencias

Astier, C.M.; M. Maass-Moreno y J. Etchevers-Barra. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. Agrociencia 36:605-620.

Bezdicek, D.F.; R.L. Papendick y R. Lal. 1996. Introduction: Importance of Soil Quality to Health and Sustainable Land Management. p. 1-8. In: Doran, J.W. y Jones, A. J. (Eds). Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Special. Publication Number. 49. Soil Science. Society. of America, Inc. Madison, WI, USA

Burt, R. 2004. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42. Version 4.0. United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service.

Cruz, M. A.; M. A. Valera P.; C. I. Hidalgo M. y M. G. Tenorio A. Calidad del Suelo y su Sustentabilidad. XX Curso Diplomado Internacional de Edafología "Nicolás Aguilera"

Dahlgren, R.A.; M. Saigusa y F.C. Ugolini. 2004. The nature, properties and management of volcanic soils. Advances in Agronomy. 82:113-182.

Doran, J.W. 2002. Soil health and global sustainability: translating science into practice. Agriculture, Ecosystems and Environment. 88:119-127.

Doran, J.W. y T. B. Parkin. 1994. Defining and Assessing Soil Quality. p. 3-21. In: Doran, J.W; Coleman, D.C.; Bezdicek, D.F. y B.A.Stewart (Eds). Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA Special. Publication Number. 35. Soil Science. Society of America, Inc. Madison, WI, USA.

Doran, J.W.; S.I. Stamatiadis y J. Haberern. 2002. Soil health as an indicator of sustainable management. Agriculture, Ecosystems and Environment 88:107-110.

FAO-UNESCO, 1980. Metodología Provisional para la evaluación de la degradación de los suelos, UNESCO/PNUMA, Roma, Italia.

Fließbach, A.; H.-R. Oberholzer; L. Gunst y P. Mäder. 2007. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. Agriculture, Ecosystems and Environment 118:273-284.

Forman, J. 1951. Soil, Health, and the dental profession. Journal of Prosthetic Dentistry. 1:508-522.

Karlen, D.L. y Stott, D.E., 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil

Linares, F. G., 2006. Análisis de Datos Multivariados. Editorial Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Facultad de Computación. México. 277p (ISBN 968 9182 15 3).

MINITAB Release 15 (2005). Statistical Software. Minitab. Inc.

Muller, S. 1996. ¿Cómo medir la sostenibilidad? Una propuesta para el área de la agricultura y de los recursos naturales. GTZ/IICA. Serie Documentos de Discusión sobre Agricultura Sostenible y Recursos Naturales. No.1.

Norma Oficial Mexicana NMX-AA-091-1987. Calidad del Suelo - Terminología. Soil Quality – Terminology. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. 23 de julio de 1987.

Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación, 31 de diciembre de 2002.

NRSC, 2001. Natural Resources Conservation Service. Guidelines for Soil Quality Assessment in Conservation Planning. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Soil Quality Institute.

Peña, D. 2002. Análisis de Datos Multivariantes. Mc. Graw Hill/Interamericana de España, S. A U. Madrid, España. 539p (ISBN 84-481-3610-1)..

Roldán, A.; F. Caravaca; M. T. Hernández; C. García; C. Sánchez-Brito; M. Velásquez y M. Tiscareño, 2003. No-tillage, crop residue additions, and legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico). Soil & Tillage Research. 72: 65–73

Schoeneberger, P.J.; D. A. Wysocki; E. C. Benham y W. D. Broderson. 2000. Libro de campaña para descripción y muestreo de suelos. 2000. Traducción al español por J. C. Salazar Lea. Título original: Schoeneberger, P.J.; Wysocki, D.A; Benham, E.C., and Broderson, W.D. 1998. Field book for describing and sampling soils. Natural Resources Conservation Service, USDA, National Soil Survey Center, Linconl, NE. 182 p.

Schoenholtza, S.H.; H.V. Miegroet y J.A. Burger. 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. Forest Ecology and Management 138:335-356.

Sikora, L. J. y D. E. Stott. 1996. Soil Organic Carbon and Nitrogen. p. 123–141. En: Doran, J.W. y Jones, A. J. (Eds). Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Special. Publication Number 49. Soil Science Society of America, Inc. Madison, WI, USA.

Soil Survey Staff. 2014. Claves para la Taxonomía de Suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos Servicio de Conservación de Recursos Naturales. 339p.

Valle, S. R., & Carrasco, J. (2018). Soil quality indicator selection in Chilean volcanic soils formed under temperate and humid conditions. *Catena*.

Várallyay, G. 2006. Ideas on the future of soil science. p.145-146. In: The future of soils science. Alfred E. Hartemink. (Ed). IUSS International Union of Soil Sciences. The Netherlands.

Winograd, M. 1995. Marco conceptual para el desarrollo y uso de indicadores ambientales y de sustentabilidad para toma de decisiones en Latinoamérica y el Caribe. Documento para discusión. Taller Regional sobre uso y desarrollo de indicadores ambientales y de sustentabilidad. PNUMA-CIAT. México, D.F.

WRB. World Reference Base for Soil Resources. 2006. IUSS Working Group. World Soil Resource Reports No. 103. FAO, Rome.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

NANOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA Y AMBIENTAL PARA PROMOVER EL DESARROLLO SUSTENTABLE

Fernández-Luqueño, F.[1*]; Gutiérrez-Ramírez, R.[1]; Medina-Pérez, G.[2]; López-Valdez F.[3]

[1] Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav), Unidad Saltillo. Ramos Arizpe, Coahuila de Zaragoza, México.
[2] Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav), Zacatenco. Ciudad de México, México.
[3] Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA-IPN). Instituto Politécnico Nacional. Tlaxcala, México.

*Autor responsable: cinves.cp.cha.luqueno@gmail.com; Av. Industria Metalúrgica Núm. 1062, Parque Industrial Saltillo-Ramos Arizpe, Ramos Arizpe, Coahuila de Zaragoza, México. CP 25900; Tel. +52(844)-438-9625

Resumen

Durante los últimos años se han sintetizado, caracterizado, patentado y evaluado miles de materiales o dispositivos a escala nanométrica. El uso potencial de esos materiales o dispositivos también se ha estudiado en la agricultura y el cuidado del ambiente para contribuir al logro de algunas de las 17 metas del desarrollo sustentable (DS). En particular, hemos evaluado el efecto de nanomateriales sobre el desarrollo de cultivos y el uso de nanopartículas (NP) en la remediación de suelo y agua. La adición de NP de Fe_2O_3, TiO_2 o ZnO a suelo agrícola con frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) modificó significativamente algunas características de la planta. Las NP-Fe_2O_3 incrementaron significativamente el N total de raíz y tallo, la longitud de la parte aérea, número de vainas, número de semillas y el rendimiento. Además, se diseñó, construyó y evaluó un filtro con NP de Fe_2O_3, TiO_2 y ZnO, biomasa fúngica y montmorillonita, para descontaminar agua con AsO_4^{-3}, $CaCO_3$, Pb^{+2} y SO_4^{-2}. El filtro tuvo una eficiencia de remoción de 50% para As-AsO_4^{-3} y de 78% para Pb^{+2}. Las NP evaluadas y el filtro tienen potencial para contribuir en tres de las 17 metas del DS: i) hambre cero, ii) agua limpia y saneamiento y, iii) producción y consumo responsable. Sin embargo, es necesario realizar más investigaciones debido a que existe una preocupación mundial relacionada con el daño colateral del uso y disposición final de nanomateriales o nanodispositvos, lo cual se ha documentado en decenas de artículos sobre nanotoxicología y econanotoxicología.

Palabras clave

Agronanobiotecnología; Remediación ambiental; nanotoxicología.

Introducción

La nanociencia y la nanotecnología se han desarrollado durante los últimos años para ofrecer soluciones a diversos problemas que aquejan a los más de 7,700 millones de personas (León-Silva *et al*., 2016). Entre estos problemas están aquellos relacionados con las 17 metas y los 169 objetivos del desarrollo sustentable, establecidos en 2015 en la Agenda 2030 (Medina-Pérez *et al*., 2018a). Diversos autores han demostrado que las nanopartículas mejoran el desarrollo de los cultivos y reducen el ataque de patógenos y enfermedades (Medina-Pérez *et al*., 2018b; Sarabia-Castillo y Fernández-Luqueño, 2016). Por otro lado, se ha reportado el daño o la toxicidad que los

nanomateriales puede causar a las plantas (Cvjetko *et al.*, 2017; Pradhan y Mailapalli, 2017; Rizwan *et al.*, 2017), mientras que también se han reportado estudios que indican que los nanomateriales no tienen efectos significativos sobre los cultivos. Adicionalmente, el efecto de los nanomateriales sobre el ambiente y la salud humana también han sido discutido en varios artículos (Medina-Pérez y Fernández-Luqueño, 2018; León-Silva *et al*., 2016). Se ha determinado que miles de toneladas de nanomateriales son producidos cada año para su uso en cosméticos, empaques de alimentos, dispositivos electrónicos, medicamentos, telas o pinturas. Esto implica que la liberación y disposición de esos nanomateriales es difícil de controlar, por lo que los nanomateriales están entrando en contacto con el suelo, el agua y el aire, así como los organismos que están en ellos. Es importante indicar que los nanomateriales naturales son inocuos y que todos los suelos contienen una gran cantidad de ellos en forma de fracción orgánica, imogolita, alófano, arcilla, oxi-hidroximetálicos, etc. Estos nanomateriales naturales han estado en el suelo por miles de años, por lo que los organismos han evolucionado con ellos, por tanto, no comprometen el equilibrio o bienestar de los organismos.

El objetivo de esta contribución es presentar y discutir el efecto de nanomateriales sobre los cultivos y el ambiente. En particular, se analizan los resultados de dos investigaciones en las que se emplearon NP metálicas para contribuir al desarrollo sustentable. El objetivo de la primera investigación fue determinar el efecto de NP metálicas sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivado en un suelo agrícola en condiciones de invernadero. El objetivo de la segunda investigación fue diseñar, construir y evaluar un filtro a base de NP de Fe_2O_3, TiO_2 y ZnO, biomasa fúngica y montmorillonita, para descontaminar agua con AsO_4^{-3}, $CaCO_3$, Pb^{+2} y SO_4^{-2}. Las hipótesis fueron: que las NP metálicas afectan el crecimiento y desarrollo de frijol común y su interacción simbiótica con *Rhizobium*, debido al efecto de área superficial y a su interacción con los agregados u organismos del suelo. La hipótesis de la segunda investigación fue que las NP metálicas, la biomasa fúngica y las arcillas remueven contaminantes del agua a través de su actividad fotocatalítica, intercambio catiónico y su área superficial.

Materiales y Métodos

Efecto de nanopartículas metálicas sobre el frijol común (Phaseolus vulgaris L.).

Las semillas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad pinto saltillo se adquirieron en el "INIFAP-Saltillo". La cepa de *Rizobium etli* se obtuvo de la "Colección Nacional de Cepas Microbianas y Cultivos Celulares del Cinvestav-Zacatenco". Macetas de plástico tipo vivero de 10.0×9.3×7.0 cm (Ø superior × altura × Ø inferior, respectivamente), se llenaron con vermiculita y se regaron con agua común. Tres días después se sembraron tres semillas de frijol en cada maceta, a 1.5 cm de profundidad. Posteriormente, las macetas se regaron con suspensiones de NP metálicas de Fe_2O_3, TiO_2 y ZnO, a concentraciones de 0, 3 o 6 g L^{-1}. Durante todo el experimento se realizaron riegos adicionales con la solución nutritiva propuesta por Fernández-Luqueño *et al.* (2008). Los muestreos destructivos se realizaron a los 20, 30, 60 y 90 días después de la siembra (DDS). Durante los muestreos destructivos las plantas se extrajeron de su respectiva maceta y se lavaron cuidadosamente para no dañar el sistema radicular. La caracterización de la raíz, tallo y nódulos de cada planta, así como el análisis estadístico se realizó con base en Medina-Pérez et al. (2018b).

Filtro a base de NP de Fe_2O_3, TiO_2 y ZnO, biomasa fúngica y montmorillonita.

Las nanopartículas de Fe_2O_3, TiO_2 y ZnO se compraron al Centro de Investigación y Desarrollo de

Nanomateriales (ID-nano). La cepa de *Aspergillus niger* (ATCC 9642) se obtuvo de la "Colección Nacional de Cepas Microbianas y Cultivos Celulares del Cinvestav-Zacatenco". El suelo vertisol se muestreó en suelos de Cinvestav Irapuato. Las soluciones estándar de AsO_4^{-3}, Pb, $CaCO_3$ y SO_4^{-2} (pruebas de adsorción) se obtuvieron de AccuStandard a una concentración de 1 mg mL^{-1}. El quitosano (Sigma-Aldrich) fue utilizado como referencia. Para separar la arcilla del suelo, se secaron 50 g de suelo al aire previamente tamizado en la malla 30 y se colocaron en una probeta de 1 L. Se agregaron 10 mL de hexametafosfato de sodio (5 g /100 mL) y se agitó por 5 min. Se aforó a 1 L con agua destilada y se dejó sedimentar por 24 h. Los cinco materiales (NP de Fe_2O_3, TiO_2 y ZnO, biomasa fúngica y montmorillonita) y el quitosano se caracterizaron por microscopia electrónica de barrido (MEB). La composición química de la arcilla se determinó por fluorescencia de rayos X (FRX) con dispersión de longitud de onda y la identificación por patrones de difracción se realizó por difracción de rayos X (DRX). Para entender el proceso de adsorción y el diseño de filtros fue necesario entender las cinéticas de adsorción (CA) y las isotermas de equilibrio (IE). Las primeras determinan la velocidad de adsorción, mientras que las segundas la capacidad de adsorción. En este sentido, las CA y las IE fueron determinadas para todos los contaminantes (AsO_4^{-3}, $CaCO_3$, Pb^{+2} y SO_4^{-2}), en cada material (NP de Fe_2O_3, TiO_2 y ZnO, biomasa fúngica y montmorillonita). Después de realizar las pruebas para cada material, se diseñó y construyó el filtro en el que se pasó el agua contaminada, para determinar el porcentaje de remoción de contaminantes.

Resultados y Discusión

Las NP de ZnO y Fe_2O_3 disminuyeron significativamente la longitud de la raíz a los 20 DDS, mientras que a los 20 y 30 DDS las NP ZnO disminuyeron significativamente la longitud de la parte aérea. De igual forma, las NP ZnO (3 g L^{-1}) y Fe_2O_3 (6 g L^{-1}) disminuyeron significativamente la longitud de la parte aérea a los 35 DDS. Sin embargo, las NP de Fe_2O_3 aumentaron significativamente la colonización de las raíces de frijol común por *R. etli* al observarse mayor cantidad de nódulos a los 20 DDS. Fan *et al.* (2014) reportaron que las NP de TiO_2 disminuyeron la simbiosis de chícharo (*R. leguminosarum)*, mientras que Huang *et al.* (2014) reportaron que la presencia de NP de ZnO afectaron la nodulación en plantas de chícharo inoculadas con *R. leguminosarum*, lo que retrasó la fijación biológica de nitrógeno y causó la senescencia temprana de los nódulos. Al menos una concentración de las NP de TiO_2 y ZnO disminuyeron significativamente el número de vainas, su peso fresco y el número de semillas. Jacob *et al*. (2013) reportó que las NP de TiO_2 no afectaron significativamente la producción de biomasa de plantas de frijol. Sin embargo, Adhikari *et al.* (2016) observaron que las NP de ZnO mejoraron la producción de ácido indolacético en raíces de plantas de maíz (*Zea mays* L.) y soya (*Glycine max* L.).

Las micrografías de los nanomateriales se presentan en la Figura 1. En la Figura 1a se observa la micrografía de la montmorillonita con superficie rugosa con una amplificación 20000 ×. La Figura 1b muestra la estructura de la biomasa fúngica como una membrana lisa y esponjosa con orificios o grietas, mientras que la micrografía de la Figura 1c corresponde al quitosano a 5000 ×, con una estructura rugosa compuesta por microfibrillas. El prototipo del filtro consta de un cilindro de 25 cm de largo y 5 cm de diámetro. En su interior cuenta con 5 divisiones correspondientes a 5 cartuchos en los cuales se colocan las NP de Fe_2O_3, TiO_2 y ZnO, la biomasa fúngica y la arcilla. Una vez realizadas las pruebas de remoción, el filtro tuvo una eficiencia de remoción del 50% del ión AsO_4^{-3} y del 78% del ión de Pb^{+2}.

El uso de nanomateriales y tecnologías de avanzada para remediar el ambiente han sido ampliamente estudiadas en los últimos años (Medina-Pérez *et al*., 2018a; Vázquez-Núñez *et al*.,

2018).

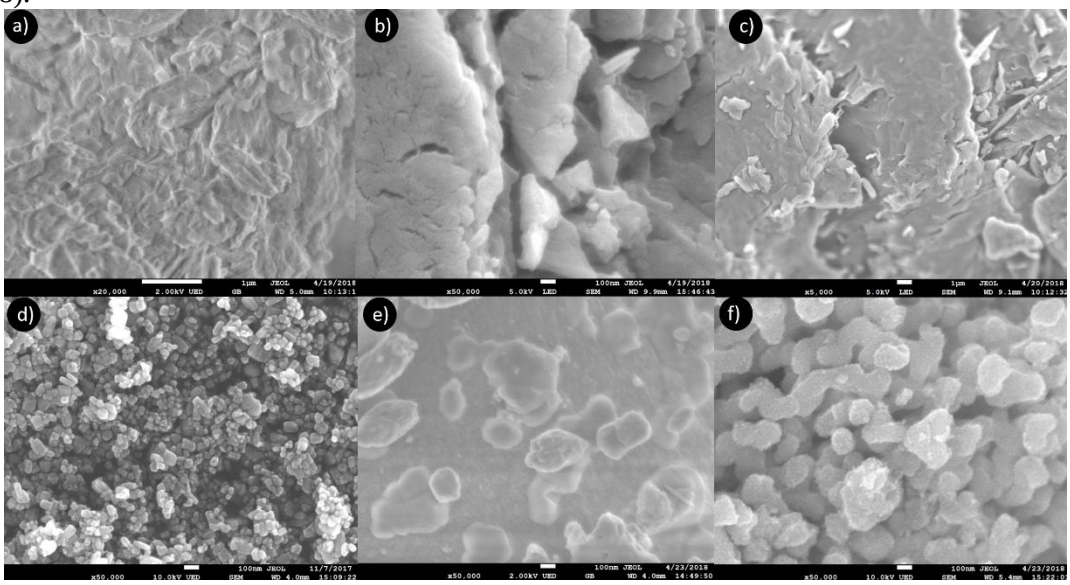


Figura 1. Micrografías de MEB. a) montmorillonita (20,000 ×), b) biomasa fúngica (50,000 ×), c) quitosano (5000 ×), d) nanopartículas de Fe_2O_3, e) TiO_2, y f) ZnO (50,000 ×).

Conclusiones

Se registraron cambios morfológicos en el desarrollo de las plantas de frijol, *i.e.* disminución en la longitud de raíz y tallo, lo que se relaciona con efectos fitotóxicos de las NP metálicas. Además, las NP de óxidos metálicos (TiO_2 y ZnO) retrasaron la formación de los nódulos y por consiguiente el inicio de la fijación biológica de nitrógeno; sin embargo, las NP de Fe_2O_3 aceleraron y aumentaron la formación de nódulos de *R. etli*. Además, las NP de Fe_2O_3 también incrementaron el N total de las raíces y parte aérea, el número de vainas, su peso seco y el rendimiento. Por lo anterior, se demuestra que el frijol es vulnerable a la presencia de algunas NP metálicas (TiO_2 y ZnO), lo que ocasionaría un bajo rendimiento en un cultivo de alto valor social, económico y ambiental, pero es claro que las NP de Fe_2O_3 sí favorecen algunas características del frijol. Es decir, el efecto de las NP metálicas en las plantas de frijol está en función de tipo de NP y de su concentración.

Se diseñó, construyó y evaluó un filtro para tratar agua contaminada aprovechando los procesos fotocatalíticos y la superficie específica de nanopartículas de Fe_2O_3, TiO_2 y ZnO, las propiedades adsorbentes de la arcilla montmorillonita y la biomasa fúngica, realizadas las pruebas se encontró una eficiencia de remoción del 50% del ión AsO_4^{-3} y del 78% del ión de Pb^{+2}. El uso de nanopartículas para incrementar el rendimiento de los cultivos y el aprovechamiento de materiales adsorbentes de origen natural y de bajo costo representa una alternativa viable para contribuir en tres de las 17 metas del desarrollo sustentable: i) hambre cero, ii) agua limpia y saneamiento y, iii) producción y consumo responsable. Es imperativo continuar con las investigaciones para determinar los riesgos potenciales de las NP en plantas, o bien, para reportar las dosis ideales de NP en los cultivos. Además, es importante continuar con la búsqueda de materiales adsorbentes de bajo costo y altas eficiencias de remoción de contaminantes, ante el creciente número de personas afectadas por el consumo de agua contaminada.

Las nanotecnologías ofrecen estrategias novedosas para resolver problemas que atañen a todos los

seres humanos, pero, se debe asegurar la inocuidad de los nanomateriales, tener evidencias suficientes de su efecto favorable y significativo y, se deben hacer pruebas de nanotoxicidad y econanotoxicidad antes de que los nanomateriales sean liberados al mercado y al ambiente. Además, se debe cumplir con la normatividad aplicable a nivel nacional e internacional.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada a través de los proyectos SEP-Ciencia Básica-CONACyT 151881 y 287225 y, por los Programas de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía de Cinvestav Saltillo. G-R R y M-P G recibieron beca de maestría y doctorado, respectivamente, del CONACyT. F-L F y L-V F recibieron apoyo del SNI-CONACyT.

Referencias

Adhikari, T., S. Kundu and A.S. Rao. 2016. Zinc delivery to plants through seed coating with nano-zinc oxide particles. J. Plant Nutr. 39(1): 139-149.

Cvjetko, P., A. Milosic, A.M. Domijan, I.V. Vrcek, S. Tolic, P.P. Stefanic, I. Letofsky-Papst, M. Tkalec and B. Balen. 2017. Toxicity of silver ions and differently coated silver nanoparticles in Allium cepa roots. Ecotox. Environ. Safe. 137: 18-28.

Fan, R., Y.C. Huang, M.A. Grusak, C.P. Huang and D.J. Sherrier. 2014. Effects of nano-TiO_2 on the agronomically relevant *Rhizobium*-legume symbiosis. Sci. Total, Environ. 466: 503-512.

Fernández-Luqueño, F., L. Dendooven, A. Munive, L. Corlay-Chee, L. M. Serrano-Covarruvias and D. Espinoza-Victoria. 2008. Micro-morphology of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) nodules undergoing senescence. Acta Physiol. Plant. 30: 545-552.

Huang, Y.C., R. Fan, M.A. Grusak, J.D. Sherrier and C. P. Huang. 2014. Effects of nano-ZnO on the agronomically relevant *Rhizobium*–legume symbiosis. Sci. Total Environ. 497: 78-90.

Jacob, D.L., J.D. Borchardt, L. Navaratnam, M.L. Otte and A.N. Bezbaruah. 2013. Uptake and translocation of Ti from nanoparticles in crops and wetland plants. Int. J. Phytoremed. 15(2): 142-153.

León-Silva, S., F. Fernández-Luqueño and F. López-Valdez. 2016. Silver nanoparticles (AgNP) in the environment: a review of potential risks on human and environmental health. Water Air Soil Pollut. 227(9). Art. Number 306.

Medina-Pérez, G. and F. Fernández-Luqueño. 2018. Nanotoxicidad: Retos y oportunidades. Mundo Nano. 11(20), 7-16.

Medina-Pérez, G., F. Fernández-Luqueño, E. Vazquez-Nuñez, F. López-Valdez, J. Prieto-Mendez, A. Madariaga-Navarrete and M. Miranda-Arámbula. 2018a. Remediation of polluted soils using Nanotechnologies: Environmental benefits and risks. Pol. J. Environ. Stud. IN PRESS.

Medina-Pérez, G., F. Fernández-Luqueño, L.I. Trejo-Tellez, F. Lopez-Valdez and L. Pampillón-González. 2018b. Growth and development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Pinto Saltillo exposed to iron, titanium, and zinc oxide nanoparticles in an agricultural soil. Appl. Ecol. Environ. Res. 16, 1883-1897.

Pradhan, S. and D.R. Mailapalli. 2017. Interaction of engineered nanoparticles with the agri-environment. J. Agric. Food Chem. 65: 8279-8294.

Rizwan, M., S. Ali, M.F. Qayyum, Y.S. Ok, M. Adrees, M. Ibrahim, M. Zia-ur-Rehmand, M. Farid and F. Abbas. 2017. Effect of metal and metal oxide nanoparticles on growth and physiology of globally important food crops: A critical review. J. Hazard. Mater. 322: 2-16.

Sarabia-Castillo, C.R. and F. Fernández-Luqueño. 2016. Efecto de nanopartículas sobre la simbiosis rhizobia-leguminosa y morfología de *Phaseolus vulgaris* L. Rev. Mex. Agroecosis. 3(2): 122-132.

Vázquez-Núñez, E., J.M. Peña-Castro, F. Fernández-Luqueño, E. Cejudo-Espinoza, G. de la Rosa-Alvarez and M.C García-Castañeda. 2018. A review on genetically modified plants designed to phytoremediate polluted soils: biochemical response and international regulation. Pedosphere. IN PRESS.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

IMPLICACIONES FISIOLOGICAS Y BIOQUIMICAS ASOCIADAS A LA APLICACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ZnO EN PLÁNTULAS DE *Capsicum annuum*

Vera-Reyes, I*.[1,4], Grajales-Sarabia, F.[1]; De los Santos Villarreal G.[2] García-Cerda, L.A.[3]; Lira-Saldivar, R.H.[1]

[1]**Depto. de Plásticos en la Agricultura, Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), Saltillo, Coah., México.**
[2]**Depto. de Síntesis de Polímeros, CIQA, Saltillo, Coah., México.**
[3]**Depto. de Materiales Avanzados, CIQA, Saltillo, Coah., México.**
[4]**CONACYT-CIQA. Blvd. Enrique Reyna Nº 140, Saltillo, Coah., México.**

*Autor responsable: ileana.vera@ciqa.edu.mx; Blvd. Enrique Reyna Hermosillo 140, Col. San José de los Cerritos, Saltillo, Coahuila, México, CP 25294; Tel. +52(844)-4389830-1018

Resumen

Esta investigación se realizó para determinar el impacto de NPs de ZnO en la germinación y crecimiento de plántulas de chile (*Capsicum annuum*) cv. Ancho San Luis. Las plantas fueron germinadas en condiciones *in vitro*, utilizando medio MS suplementado con las NPs de ZnO en concentraciones de 0, 5, 10 y 50 mg L^{-1}. A los 14 días después de la siembra se evaluó el porcentaje de germinación, crecimiento de plántulas, contenido de clorofila total, enzimas antioxidantes y producción de H_2O_2. Los resultados mostraron que la presencia de las NPs de ZnO en el medio MS incrementó significativamente la germinación de las semillas. La dosis de 50 mg L^{-1} mostros los mayores incrementos en la germinación, crecimiento y contenido de clorofila. Las NPs afectaron diferencialmente la actividad enzimática antioxidante relacionada con el perfil de prolina, la cual puede estar actuando como un antioxidante. Los resultados sugieren que las NPs de ZnO utilizadas pueden estar siendo utilizadas en los procesos metabólicos de desarrollo y crecimiento de las plántulas de *C. annuum.*

Palabras clave

Nanotecnología; agricultura de precisión; promoción de crecimiento

Introducción

A inicios del siglo XXI la nanotecnología (NT) ha adquirido una notable relevancia en todas las áreas del conocimiento. La NT estudia el diseño, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas al nivel de nano escala, o sea menos de 100 nm (Duhan *et al*., 2017). Cualquier material, cuando está a escala nanométrica forma nanopartículas (NPs), las cuales presentan diferentes propiedades en comparación con los materiales convencionales, debido a su pequeño tamaño y elevada relación superficie volumen, expresada en mayor reactividad química y energía superficial, con alta movilidad en el cuerpo de un organismo incluyendo la entrada celular (Tripathi *et al*., 2016).

La NT tiene una gran importancia en la formulación de productos con ingredientes activos de tamaño nanométrico, que permiten un aumento de la productividad agrícola, por lo que actualmente

se está desarrollando una extensa variedad de NPs de hierro (Fe), cobre (Cu), plata (Ag), zinc (Zn) y los polímeros con base en óxidos metálicos, incluyendo óxido de zinc (ZnO) y dióxido de titanio (TiO_2), para usos agrícolas, ya que tienen el potencial de utilizarse como nanofertilizantes (Naderi, 2013) y nanoplaguicidas (Grillo *et al*., 2016).

Entre los diversos metales, las NPs de ZnO desempeñan un papel vital en los procesos bioquímicos, fisiológicos y anatómicos, relacionados con el crecimiento de plantas (Zafar *et al*., 2016). El zinc es un micronutriente esencial para el crecimiento y la mejora de plantas y seres humanos, desempeña la posición más importante en varias rutas metabólicas, ya que participa en el metabolismo de hormonas al regular el nivel de auxinas a través de la síntesis del aminoácido triptófano y es esencial para activar varias enzimas como el superóxido dismutasa y deshidrogenasas (Narendhran *et al*., 2016).

Las NPs metálicas como las de ZnO tienen importantes efectos en la promoción de la germinación y crecimiento de semillas y plantas de gran importancia económica (Lira-Saldivar y Méndez-Argüello, 2018; Rizwan *et al*., 2017), ya que afectan notablemente diversos aspectos fisiológicos como fotosíntesis, transpiración y conductancia estomática (Lira-Saldivar *et al*., 2016), por lo que tienen un gran potencial para emplearse como nanofertilizantes y promotores del crecimiento en la moderna agricultura sustentable y de precisión. Con base en lo antes señalado, el objetivo del presente trabajo fue determinar algunos efectos fisiológicos asociados a la aplicación de nanopartículas comerciales de ZnO en plántulas de *C. annuum* cv. Ancho San Luis.

Materiales y Métodos

Germinación de semillas

Semillas de chile (*C.annuum* cv. Ancho San Luis) fueron esterilizada mediante un tratamiento de 10 minutos con una solución de cloro al 50% y luego se enjuagaron cinco veces con agua estéril. Veinticinco semillas estériles de tomate se colocaron en medio Murashige y Skoog (MS) conteniendo nanopartículas de ZnO en concentraciones de 0, 5, 10, 50 mg L^{-1} para evaluar su efecto en la germinación de semillas, así como en la longitud de raíz y la plúmula de plántulas de chile.

Nanopartículas de óxido de zinc

Para este estudio se utilizaron NPs de óxido de cobre comerciales, las cuales se obtuvieron a través de Nanostructured & Amorphus Materials, Inc., Katy, TX, USA. Las muestras fueron examinadas por microscopia electrónica de trasmisión de alta resolución (TEM).

Extracto proteico para las actividades enzimáticas. El tejido vegetal (200 mg) congelado con nitrógeno líquido se trituraró en un mortero; las muestras se homogenizaron en 500 µl de solución amortiguadora de fosfatos 0.2 M pH 7.8, 0.1 mM EDTA. Las muestras se centrifugaron a 14000 rpm durante 20 min a 4 ºC. El sobrenadante fue almacenado a -20 ºC hasta su uso posterior. Se determinó la actividad de la enzima guayacol peroxidasa (POD), habiéndose cuantificado por la oxidación del guayacol, siguiendo el método propuesto por Pütter (1971). La actividad de peroxidasa se determinó como la cantidad de proteína necesaria para oxidar un µmol de guayacol por minuto. La actividad de catalasa (CAT) que es una hemo proteína que cataliza la descomposición de H_2O_2 a H_2O y O_2, se evaluó determinando la descomposición de H_2O_2 en presencia de catalasa, por la disminución en la absorbancia a 240 nm (Elevarthi y Martin, 2010).

Detección de peróxido en tejido. La detección de peróxido de hidrógeno *in situ* se realizó utilizando tinción con 3-3'-diaminobenzidina (DAB), este compuesto en presencia de peróxido de hidrogeno genera un precipitado café (Daudi y O´Brian, 2012).

Cuantificación del contenido de clorofilas. El contenido de clorofila se realizó por el método descrito por Ábrahám *et al*. (2010).

Cuantificación de prolina. El contenido de prolina en plantas es un indicador de estrés biótico o abiótico para evaluar la tolerancia a este en las plantas superiors y se cuantificó por un método espectrofotométrico propuesto por Ábrahám *et al*. (2010).

Resultados y Discusión

En la figura 1A se muestra una imagen TEM típica de la muestra de ZnO. En esta micrografía puede distinguirse claramente la morfología de las NPs ZnO, la cual es semi-esférica. Estas NPs aparecen bien dispersas en la foto obtenida del TEM. La Figura 1 (B) muestra la distribución promedio de tamaños de las NPs de ZNO obtenidas al medir más de 300 partículas. La mayoría de las partículas de esta muestra (~ 75%) mostraron diámetros de 12 a 24 nm, y ~ 30% exhibieron tamaños mayores de 12 nm y menores a 20 nm.

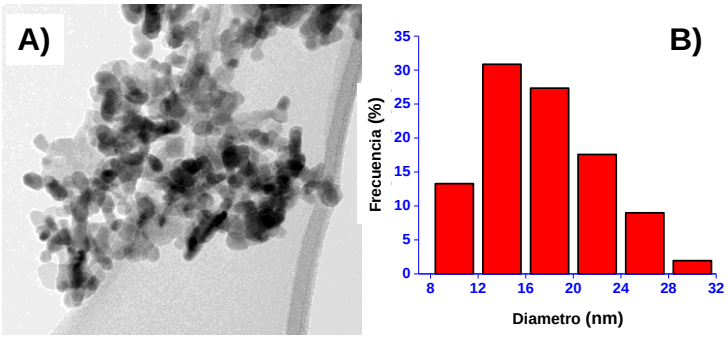


Figura 1. Micrografías de las NPs de ZnO. A) Imagen TEM típica de NP; B) Distribución del tamaño.

En la Tabla 1 se muestras los resultados obtenidos de las variables fisiológicas evaluadas de las plántulas germinadas en medio de cultivo que contenía diferentes concentraciones de NPs de ZnO, el porcentaje de germinación incremento con la concentración de NPs en el medio, no presentando diferencias significativas en los tratamientos de 10 y 50 mg L^{-1} y tuvieron un porcentaje de germinación del 100 %.

También encontramos que las semillas germinaron más rápido a los 7 días en los medios que contenían 50 mg L^{-1} de NPs de ZnO. Esto puede ser debido a que las NPs de ZnO afectan la beta-oxidación de los ácidos grasos que induce la latencia de las semillas (Pracharoenwattana *et al*., 2010), o incrementa la acumulación de especies reactivas de oxígeno (ERO) la cual puede resultar beneficiosa para la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas regulando el crecimiento celular, asegurando una protección contra los patógenos o controlando el estado redox de las células (El Maarouf Bouteau y Bailly, 2008).

Por otro lado, las NPs de ZnO indujeron un mayor crecimiento de las plántulas de chile, incrementando hasta 1.3 veces más la longitud de las raíces tratadas en comparación con las plantas del tratamiento control, no habiéndose detectado diferencias estadísticas significativas entre concentraciones o dosis evaluadas. El mayor crecimiento de la raíz y plúmula se observaron a 50 mg L^{-1}. Los resultados sugieren que las NPs ZnO pudiesen estar interviniendo en mantener la integridad de la membrana celular y de esta manera elongar la célula bajo condiciones de estrés, lo que implica un aumento en el crecimiento radicular de las plántulas (Sedghi *et al*., 2013).

Estudios previos han reportado el efecto de NPs de ZnO en diferentes especies de plantas; algunos informes muestran que promovieron la germinación de las semillas y un mejor vigor de las plántulas (Siddiqui *et al*., 2015; Ko *et al*., 2014). Por su parte Adhikari *et al*. (2016) indican que las semillas de *Z. mays*, *G. max*, *Cajanus cajan* y *Abelmoschus esculentus* tratadas con NPs de ZnO, mejoraron el porcentaje de germinación. Méndez-Arguello *et al*. (2016) demostraron que la aplicación foliar de NPs de ZnO aumenta el crecimiento de plantas y la producción de biomasa seca de plantas de *C. annuum*

Tabla 1. Efectos fisiológicos evaluados en plantúlas de *C. annum* expuestas NPs de ZnO.

Concentración (mg L^{-1})	Germinación (%)	LR (mm)	LP (mm)	Clorofila Total (mg L^{-1})	Prolina (µg.g PF^{-1})	
					Plúmula	Raíz
0	85±2.68c	6.4±0.6b	4.1±0.3b	4.83±0.39bc	0.56±0.05a	0.22±0.02b
5	90±2.07b	8.0±1.3a	3.7±1.2b	5.11±0.92bc	0.36±0.03b	0.24±0.05b
10	100±1.92a	8.1±1.1a	4.1±0.9b	5.25±0.76bc	0.42±0.03c	0.44±0.01a
50	100±2.44a	8.6±1.2a	5.8±0.6a	8.06±0.75a	0.30±0.00b	0.44±0.00a

Se observó un incremento en el contenido de clorofila 1.7 veces mayor en el tratamiento con 50 mg L^{-1} de NPs ZnO (8.06±0.75 mg L^{-1}) comparado con el control (4.83±0.39 mg L^{-1}). Diversos autores señalan que la aplicación de NPs de ZnO incrementan además de variables morfológicas el contenido de clorofila en la planta (Raliya *et al*. 2015; Tarafdar *et al*., 2014). La exposición a las NPs ZnO no reveló un incremento en el contenido de prolina celuar en la parte aérea de la plántula, sin embargo, el contenido de este aminoácido se incrementó en la zona radicular a concentraciones de 10 y 50 mg L^{-1} la cual se encontraba en contacto con el medio MS suplementados con NPs.

Aunque no se observó un incremento en el contenido de prolina en la parte aérea de las plántulas, se encontró la formación de depósitos de H_2O_2 en las plántulas tratadas con NPs de ZnO (50 mg L^{-1}; Figura 2B). El incremento en el contenido de prolina se vio acompañado de la activación de peroxidasas en las raíces de las plántulas, mientras que en la parte área para compensar la producción de H_2O_2, se detectó un incremento en ambas enzimas CAT y POD. Los resultados muestran una activación diferencial enzimática, lo cual puede ser debido a que las células tienen compuestos antioxidantes le ayudan a mantener el estado redox, entre ellos se ha considerado a la prolina como uno de ellos, ya que se ha reportado elimina las ERO actuando como chaperona de ajuste osmótico, brindando protección a proteínas y membranas que están involucradas en reducir el estrés oxidativo (Ábrahám *et al*., 2010).

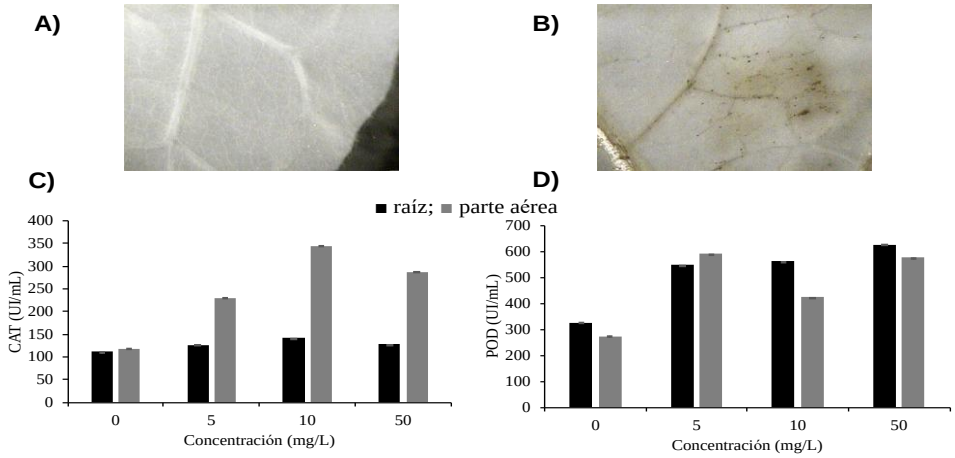


Figura 2. Evaluación de estrés en las plántulas de *C. annum* inducido para la exposición a NPs de ZnO. Detección de peróxido de hidrógeno en hojas con tinción DAB, A) Hojas plántulas control; B) Hojas plántulas expuestas a 50 mg L^{-1} de NPs de ZnO; C) Actividad enzimática de catalasas; D) Actividad enzimática de guiacol peroxidasas.

El incremento de los niveles de ERO´s dentro de los parámetros apropiados estimulan la salud de las plantas (Mittler, 2017), provocando alteraciones en las actividades enzimáticas en las plantas como respuesta a modular en la concentración de estas, hasta el momento no esta claro el papel de las NPs en la modulación de los sistemas de defensa antioxidantes de las plantas. Las NPs metálicas de metales zinc son esenciales para el crecimiento normal de las plantas, aunque las concentraciones elevadas de este metal pueden dar como resultado inhibición del crecimiento y síntomas de toxicidad (Ruttkay-Nedecky *et al*., 2017). En nuestro experimento las concentraciones utilizadas mejoraron la germinación y crecimiento de las plántulas de chile.

El efecto de NPs ZnO sobre el crecimiento de las plantas podría estar relacionado con la actividad del zinc como precursor en la producción de auxinas reguladoras del crecimiento como el ácido indol-3-acético, que también promueve la elongación y división celular (Rehman *et al*., 2012). Además, de ser zinc cofactor de enzimas responsables de reacciones metabólicas en la producción de clorofila; germinación de la semilla; producción de polen y biomasa (Shyla y Natarajan, 2014; Pandey *et al*., 2010).

Conclusiones

Nuestros resultados indican que a pesar de que las NPs de ZnO inducen estrés en *C. annum*, este resulta ser benéfico traduciendo en un mejor crecimiento y desarrollo de las plántulas de chile. Es necesario realizar más estudios para corroborar esta información y para determinar los efectos de las NP ZnO en la acumulación y calidad de los frutos.

Agradecimientos

Al proyecto Fronteras de la Ciencia 268 CONACYT por el financiamiento del trabajo.

Referencias

Ábrahám, E., Hourton-Cabassa, C., Erdei, L., and Szabados, L. 2010. Methods for Determination of Proline in Plants. En R. Sunkar, Plant Stress Tolerance Methods and Protocols (págs. 317-328). New York: Humana Press.

Adhikari, T., Kundu, S., and Rao, A. S. 2016. Zinc delivery to plants through seed coating with nano-zinc oxide particles. Journal of plant nutrition, 39: 136-146.

Daudi, A., and O'Brien, J. A. 2012. Detection of hydrogen peroxide by DAB staining in Arabidopsis leaves. Bio Protoc, 2: e263-e263.

Duhan, J. S., Kumar, R., Kumar, N., Kaur, P., Nehra, K. and Duhan, S. 2017. Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. Biotechnology Reports, 15: 11-23.

Elavarthi, S., and Martin, B. 2010. Spectrophotometric assays for antioxidant enzymes in plants. In Plant Stress Tolerance (pp. 273-280). Humana Press.

El-Maarouf-Bouteau, H., and Bailly, C. 2008. Oxidative signaling in seed germination and dormancy. Plant Signaling & Behavior, 3: 175-182.

Grillo, R., Abhilash, P. C. and Fraceto, L. F. 2016. Nanotechnology applied to bio-encapsulation of pesticides. Journal of nanoscience and nanotechnology, 16: 1231-1234.

Ko, K. S., and Kong, I. C. 2014. Toxic effects of nanoparticles on bioluminescence activity, seed germination, and gene mutation. Applied microbiology and biotechnology, 98: 3295-3303.

Kumar, R., Rawat, P. S., Ram, P. and Pandey, P. 2018. Wheat Seed Germination in Relation to Nanoparticles Treated Seed. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering, 5(1).

Lira-Saldivar, R.H., Méndez-Argüello, B. 2018. Nanotechnology: A new scientific paradigm on agricultural production of the XXI century. Ecosist. Recur. Agropec. 5 (13):1-2. DOI: 10.19136/era.a5n13.1500.

Lira-Saldivar, R.H., Ponce-Zambrano, R., Ruiz-Torres, N.A., Méndez-Argüello, B., Mendoza-Mendoza, E., García-Cerda, L.A. and Vera-Reyes, I. 2016. Synthesis of zinc oxide nanoparticles and its influence on seed germination and growth of *Solanum lycopersicum* seedlings. Wulfenia Journal, 23: 220-235.

Mittler, R. 2017. ROS are good. Trends in plant science, 22: 11-19.

Naderi, M.R., and Danesh-Shahraki, D.A. 2013. Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture. International Journal of Agriculture and Crop Science 5: 2229-2232.

Nakano, Y., and Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant and cell physiology, 22: 867-880.

Narendhran, S., Rajiv, P. and Sivaraj, R. 2016. Toxicity of ZnO nanoparticles on germinating *Sesamum indicum* (Co-1) and their antibacterial activity. Bulletin of Materials Science, 39: 415-421.

Pandey, A. C., S. Sanjay, S., and S. Yadav, R. 2010. Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum*. Journal of Experimental nanoscience, 5: 488-497.

Pracharoenwattana, I., Zhou, W., and Smith, S. M. 2010. Fatty acid beta-oxidation in germinating *Arabidopsis* seeds is supported by peroxisomal hydroxypyruvate reductase when malate dehydrogenase is absent. Plant molecular biology, 72: 101.

Pütter, J. 1971. Peroxidases. In: Bergmeyer HU (ed) Methods of enzymatic analysis 2. Academic Press, New York. 685-690.

Raliya, R., Nair, R., Chavalmane, S., Wang, W. N., and Biswas, P. 2015. Mechanistic evaluation of translocation and physiological impact of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles on the tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plant. Metallomics, 7: 1584-1594.

Rehman, H. U., Aziz, T., Farooq, M., Wakeel, A., and Rengel, Z. 2012. Zinc nutrition in rice production systems: a review. Plant and soil, 361: 203-226.

Rizwan, M., Ali, S., Qayyum, M. F., O, Y. S., Adrees, M., Ibrahim, M. and Abbas, F. 2017. Effect of metal and metal oxide nanoparticles on growth and physiology of globally important food crops: A critical review. Journal of hazardous materials, 322: 2-16.

Ruttkay-Nedecky, B., Krystofova, O., Nejdl, L., and Adam, V. 2017. Nanoparticles based on essential metals and their phytotoxicity. Journal of nanobiotechnology, 15:33.

Sedghi, M., Hadi, M., and Toluie, S. G. 2013. Effect of nano zinc oxide on the germination parameters of soybean seeds under drought stress. Annales of West University of Timisoara. Series of Biology, 16: 73.

Shyla, K. K., and Natarajan, N. 2014. Customizing zinc oxide, silver and titanium dioxide nanoparticles for enhancing groundnut seed quality. Indian Journal of Science and Technology, 7: 1376-1381.

Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M.H., Firoz, M., and Al-Khaishany, M. Y. 2015. Role of nanoparticles in plants. In Nanotechnology and Plant Sciences (pp. 19-35). Springer International Publishing.

Sunkar, R. 2010. Plant Stress Tolerance-Methods and Protocols-. New York: Humana Press.

Tarafdar, J. C., Raliya, R., Mahawar, H., and Rathore, I. 2014. Development of zinc nanofertilizer to enhance crop production in pearl millet (*Pennisetum americanum*). Agricultural research, 3: 257-262.

Tripathi, D.K., Singh, S., Singh, S., Pandey, R., Singh, V.P., Sharma, N.C. and Chauhan, D.K. 2017. An overview on manufactured nanoparticles in plants: uptake, translocation, accumulation and phytotoxicity. Plant Physiology and Biochemistry, 110: 2-12.

Zafar, H., Alli, A., Ali, J.S., Haq, I.U. and Zia, M. 2016. Effect of ZnO nanoparticles on *Brassica nigra* seedlings and stem explants: Growth dynamics and antioxidative response. Frontiers in Plant Science 7: 1-8.

LAS NANOPARTÍCULAS COMO NANOFERTILIZANTES

López-Valdez, F.[1*]; Miranda-Arámbula, M.[1]; Fernández-Luqueño, F.[2]

[1]Centro de investigación en Biotecnología Aplicada - IPN. Tepetitla de Lardizábal, Tlx. México.
[2]Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Saltillo, Coahuila. México.

*Autor responsable: flopez2072@yahoo.com; Carr. Estatal Sta. Inés Tecuexcomac – Tepetitla, km 1.5 s/n, Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala. México. CP 90700; Tel. +52 (55) 5729 6000, ext. 87839.

Resumen

Las nanopartículas utilizadas como fertilizantes (nanofertilizantes) son una reciente área de investigación, que está impactando en diversos campos: la ciencia del suelo, la ciencia de los cultivos, las ciencias ambientales y desde luego, la agronomía. Dicho impacto cubre las propiedades (fisicoquímicas, bioquímicas y biológicas) del suelo, las comunidades microbianas del suelo, el cultivo y, el crecimiento y desarrollo de las plantas. De manera que, la agronanobiotecnología, será de suma relevancia en los campos anteriormente mencionados, debido a la cada vez mayor demanda de alimentos vegetales de calidad e inocuos, es decir, cultivados orgánicamente o con fertilizantes diseñados para impactar menos o neutralmente al ambiente como a la salud en una forma sustentable y amigable. Los nanofertilizantes pueden ser más estables y eficientes que los fertilizantes convencionales sintéticos, dado que su principal ventaja reside en la capacidad de aplicarse de forma más local y directa, evitando así, su excesiva o desmedida aplicación en campo.
En esta presentación, veremos las principales características de las nanopartículas como potenciales nanofertilizantes, tales como sus propiedades, toma de nutrientes por plantas y sus procesos celulares involucrados en la toma de nutrientes, y materiales involucrados en la liberación controlada de las nanopartículas. Todo esto con la finalidad de conocer y estudiar mejor esta alternativa de fertilización.

Palabras clave:

Nanofertilizantes; nanopartículas; fertilizantes.

Introducción.

La demanda mundial de alimentos de calidad e inocuos es cada vez mayor. Cada vez más las personas se cuestionan estos aspectos, buscan una mejor forma de alimentación, prefiriendo cada vez más vegetales, legumbres o frutas cultivadas en forma segura y saludable. Asimismo, se cuestionan el cómo se producen sus alimentos, en este aspecto las técnicas agrícolas son realmente cuestionables, los fertilizantes químicos o sintéticos son figuradamente: espadas de doble filo. Por un lado, incrementan la producción o rendimiento de los cultivos y por otro, irrumpen en el balance mineral y natural de suelo, decreciendo la fertilidad del suelo, favoreciendo la erosión y degradación de dichos suelos a través del tiempo, y daño a las reservas de agua dulce por lixiviación de algunos fertilizantes sintéticos, como los de base amoniacal (López-Valdez y Fernández-Luqueño, 2018).

En este sentido, las nanopartículas están jugando un papel muy importante en la agricultura como nutrientes para plantas. Un aspecto importante es que, tanto los fertilizantes químicos como los nanofertilizantes (NF) pueden tener el mismo origen: sintético, sin embargo, ambos poseen propiedades y efectos completamente distintos. Las nanopartículas (NP) ofrecen una importante gama de propiedades en función de su tamaño y funcionalización. El tamaño de las NP es por lo general de 1 a 100 nm, esto se puede interpretar como una mayor eficiencia de aplicación y al mismo tiempo, una menor pérdida del nanofertilizante, lenta o controlada entrega, y una menor degradación del mismo. Ciertamente, las NP como nanofertilizantes son una reciente área de investigación en lo que atañe a su aplicación a campo. Aún hay muchas preguntas que requieren de respuesta en las diversas áreas del conocimiento, se requiere conocer las propiedades de las NP, materiales empleados para la liberación controlada del fertilizante, la toma de NP como nutrientes por las plantas, ventajas y desventajas de las NP, impactos en el ambiente y la salud, entre otros temas de relevancia (López-Valdez y Fernández-Luqueño, 2018).

Discusión.

Algunos aspectos básicos.

Los fertilizantes son compuestos químicos que su principal rol es de servir como nutrientes para las plantas. Pueden ser naturales o sintéticos, empleados para cubrir las necesidades nutricionales de las plantas. Los fertilizantes pueden dividirse en metálicos y no metálicos. En los no metálicos, su base puede ser N, P o S, entre otros; y los metálicos como: potasio (K), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), cinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo), y cloro (Cl) (Fernández-Luqueño *et al*., 2015). Otros elementos importantes son el níquel (Ni), selenio (Se), vanadio (V), sodio (Na), silicio (Si), cobalto (Co) y aluminio (Al) (Fernández-Luqueño *et al*., 2015) porque funcionan como cofactores para enzimas, dependiendo de las plantas, algunas los pueden requerir y otras no pero, las cantidades variaran dependiendo de la especie. Algunos elementos se reconocen más por sus efectos adversos que sus efectos benéficos hacia las plantas, como Al, Co, Na, y Se (Pilon-Smits *et al*., 2009). Las NP ofrecen tamaños de partícula de escala nanométrica (10^{-9} m), donde la escala provee una alta relación de área-superficie por volumen (León-Silva *et al*., 2016). Las NP muestran propiedades dependientes del tamaño de la partícula como propiedades físicas, químicas y biológicas (León-Silva *et al*., 2016).

Algunas principales características de las NP.

Las principales características de las NP son el tamaño, forma, carga superficial, composición química, concentración, y estabilidad, entre otras. Las NP muestran propiedades químicas, formación de agregados, propiedades eléctricas, paramagnéticas y magnéticas comparado con los iones de los mismos elementos. Esto abre la posibilidad de múltiples usos y aplicaciones para las NP.

Mecanismos de toma de nutrientes por las plantas.

Hay vías esenciales para la toma de nutrientes por las plantas vía raíces: difusión simple, difusión facilitada y transporte activo. En la difusión simple, las moléculas no polares fluyen de acuerdo al gradiente de concentración. En la difusión facilitada, solutos o iones fluyen de acuerdo al gradiente de concentración facilitada por el transporte de proteínas. Transporte activo, los iones o moléculas van en contra del gradiente de concentración, facilitada por el transporte de proteínas.

Síntesis de NP.

Hay dos caminos: natural y sintético. En la vía sintética, se pueden distinguir los metálicos y óxidos metálicos, incluso los no metálicos (Husen y Siddiqi, 2014). La síntesis de NP puede estar dirigida por diversos materiales, por ejemplo, los extractos de plantas que a su vez contienen resinas, látex, flavonoides, fenoles, alcoholes y proteínas. Todas estas sustancias antes descritas pueden formar NP en presencia de sales metálicas. Además a partir de extractos de plantas, los microrganismos y las algas también es posible sintetizar NP. Desechos orgánicos, restos de plantas y pieles de frutas pueden ser también una alternativa viable para al síntesis de NP (Husen y Siddiqi, 2014; Ghosh *et al*., 2017). Ghosh *et al.* (2017) establecieron los principales pasos para síntesis biogénica de NP metálicas: nucleación, crecimiento de NP, estabilización y agentes de cobertura (grupos funcionales, proteínas, etc.), donde se han preparado diversas NP de Ag, Au, Pd, Pt, FeO_2, etc.

Formulación de las NP.

Las NP metálicas pueden ser de hierro, cobalto, zinc, aluminio, oro, plata, cobre, entre muchos metales, asimismo, se incluyen sus combinaciones y aleaciones. Estas a su vez, son acompañadas de los fertilizantes o nutrientes para las plantas de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre, etc., y sus posibles combinaciones. También se pueden incluir agentes bioactivos, pesticidas y otros tipos de nutrientes para las plantas (Lillard *et al*., 2017).

Procesos involucrados en la elaboración de NP.

En la producción de las NP intervienen procesos en forma individual o serial, tales como: las coberturas de NP, síntesis por reducción de sales, síntesis solvotermal, irradiación ultrasónica, reducción fotoquímica, bioreducción, síntesis electroquímica, entre otros procesos y sus combinaciones. Un ejemplo de las técnicas de producción de NP fue realizado por Cabrero-Fernández (2017), donde empleo el método de síntesis solvotermal para la preparación de NP de carbono (C-dots), utilizando como precursores del C, la glucosa y el ácido cítrico y como disolventes, agua y etanol; los C-dots fueron caracterizados mediante las técnicas TEM, FT-IR o Raman, considerando distintos parámetros como el tiempo y la temperatura del horno, y la concentración.

Formas de aplicación.

Las técnicas de aplicación pueden ser una adaptación de otras técnicas, como las técnicas de

hidroponía o aeroponía, asimismo, otra forma de aplicación es la irrigación convencional o por goteo. Dado que las fórmulas son en medios acuosos, permite su aplicación en rocío, tratamiento directo a semillas, impregnación directa de raíces, aplicación directa a suelo (para cultivo de precisión o invernaderos) o cultivo *in vitro.*

Interacción de las NP con las raíces de las plantas.

Acerca de este tema importante, la información al respecto es escasa en la literatura. La interacción de las NP dentro de las plantas y sus fenómenos de transporte, los mecanismos subyacentes a la absorción/acumulación de NP, asimismo, el transporte de NP desde la raíz son mecanismos no estudiados completamente (Anjum *et al*., 2016). Sin embargo, la interacción de las raíces de las plantas con las NP puede darse por dos vías: aérea o por raíces. En la vía aérea, las estomas juegan un rol muy importante. Por otro lado, vía raíces, las plantas pueden estar expuestas a suelos con NP o contaminados por éstas. Dependiendo del tamaño, tipo, composición química y estabilidad de las NP, estas pueden entrar a las plantas por el siguiente mecanismo: adsorción, absorción, traslocación y acumulación de NP (Anjum *et al*., 2016).

Nuestro interés como línea de investigación.

Estamos interesados en responder algunas preguntas como si las NP se aplican como fertilizantes ¿Mejoran o favorecen los cultivos? Segundo, cómo afectan las NP la germinación, crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos. Adicionalmente, queremos saber cómo se afectan las propiedades del suelo y los microrganismos bajo diversas condiciones de cultivo y diferentes cultivares (*Zea mays* L., *Phaseolus vulgaris* L. and *Helianthus annuus* L.), evaluando NP oxido metálicas como α-Fe_2O_3-NP, ZnO-NP, y TiO_2-NP.

Conclusiones.

Es necesario realizar investigación a diferentes niveles para innovar y mejorar las tecnologías existentes en la búsqueda de nuevos productos. En cuanto al impacto ambiental, de salud, social y económico también se requiere de una investigación más profunda y multidisciplinaria. Además, es necesario establecer las metodologías adecuadas para cuantificar y corroborar el mecanismo y sus procesos (adsorción, absorción, traslocación y acumulación de NP) en las plantas, para lograr establecer ventajas, desventajas, uso racional y responsable, con base en evidencias, no en ideologías o intereses.

Agradecimientos.

Al CONACyT por el financiamiento del proyecto CB-2016-01 287225. Al Instituto Politécnico Nacional y al Cinvestav por el apoyo y financiamiento.

Referencias.

Anjum, Naser A., Miguel Angel Merlos Rodrigo, Amitava Moulick, et al. 2016. Transport Phenomena of Nanoparticles in Plants and Animals/Humans. Environmental Research 151: 233–243.

Cabrero Fernández, Cristina. 2017. Síntesis solvotermal y caracterización de C-dots fluorescentes. https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/12311, accessed September 17, 2018.

Fernández-Luqueño, Fabián, Fernando López-Valdez, and María Fernanda Valerio-Rodríguez. 2015. Mineral Fertilizers, Bio-Fertilizers and PGPRs: Advantages and Disadvantages of Its Implementation. In: Shishir Sinha, KK Pant and Shailendra Bajpai (Eds.). Fertilizer Technology II, Biofertilizers. Studium Press, USA. ISBN: 978-1-62699-045-6. Fertilizer Technology II, Biofertilizers, II. Studium Press.

Ghosh, Purabi R., Derek Fawcett, Shashi B. Sharma, and Gerrard E. J. Poinern. 2017. Production of High-Value Nanoparticles via Biogenic Processes Using Aquacultural and Horticultural Food Waste. Materials 10(8): 852.

Husen, Azamal, and Khwaja Salahuddin Siddiqi. 2014. Phytosynthesis of Nanoparticles: Concept, Controversy and Application. Nanoscale Research Letters 9: 229.

León-Silva, Sein, Fabián Fernández-Luqueño, and Fernando López-Valdez. 2016. Silver Nanoparticles (AgNP) in the Environment: A Review of Potential Risks on Human and Environmental Health. Water, Air, & Soil Pollution 227(9): 306.

Lillard, J.R., W James, and Rajesh Singh. 2017. Nanoformulations for Plants. US.

López-Valdez, Fernando, and Fabián Fernández-Luqueño, eds. 2018. Agricultural Nanobiotechnology: Modern Agriculture for a Sustainable Future. Springer International Publishing. //www.springer.com/gb/book/9783319967189, accessed September 17, 2018.

Pilon-Smits, Elizabeth AH, Colin F Quinn, Wiebke Tapken, Mario Malagoli, and Michela Schiavon. 2009. Physiological Functions of Beneficial Elements. Physiology and Metabolism 12(3): 267–274.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

LA NANOTECNOLOGÍA APLICADA PARA DETECTAR, DEGRADAR Y REMOVER PLAGUICIDAS

Miranda-Arámbula M.[1]; Fernández-Luqueño F.[2]; Cabrera-Hilerio S.L.[3]; López-Valdez F.[1*]

[1]Centro de investigación en Biotecnología Aplicada - IPN. Tepetitla de Lardizábal, Tlx. México.
[2]Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Saltillo, Coahuila. México.
[3]Facultad de Ciencias Químicas, BUAP, Puebla. México.

*Autor responsable: flopez2072@yahoo.com; Carr. Estatal Sta. Inés Tecuexcomac – Tepetitla, km 1.5 s/n, Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala. México. CP 90700; Tel. +52 (55) 5729 6000, ext. 87839.

Resumen

Los plaguicidas son ampliamente empleados con la intención de eliminar plagas y enfermedades de los cultivos agrícolas, resaltando que son aplicados de manera masiva e indiscriminada y al ser dispersados en los campos agrícolas afectan a organismos blanco, organismos benéficos, el ambiente, suelo, agua y la salud humana y animal. Algunos plaguicidas y sus residuos son ubicuos, persistentes, recalcitrantes y contaminantes peligrosos que influyen en la pérdida de la biodiversidad, en la reducción de poblaciones de aves, insectos y microorganismos, entre otros. En este trabajo, exponemos las ventajas de las nuevas tecnologías como la Nanotecnología y las nanopartículas (NP), como una alternativa para un mejor manejo de los plaguicidas en el control de plagas y enfermedades en los cultivos agrícolas. Sin embargo, aún se deben realizar diferentes pruebas y estudios para evaluar la toxicidad y posible bioacumulación de las NP en las diferentes estructuras vegetales, así como mejorar los dispositivos nano para la detección, degradación y remoción de los plaguicidas y evaluar nuevas moléculas de origen biológico que sean principalmente biodegradables y específicas para organismos blanco.

Palabras clave:

Nanotecnologia; Nanopartículas; Plaguicidas.

Introducción.

Los plaguicidas son ampliamente empleados con la intención de eliminar o controlar plagas y enfermedades de los cultivos y productos agrícolas, resaltando que la aplicación de los plaguicidas (más del 90 %) al ser dispersados en los campos agrícolas, afectan de manera indistinta tanto a organismos blanco, como organismos no blancos, organismos benéficos (polinizadores, insectívoros, etc.), entre otros. Algunos químicos que componen los plaguicidas persisten en el suelo, en diferentes cuerpos de agua (ríos, lagunas, etc.), en productos y subproductos agrícolas (Khatri y Tyagi, 2015) y se les relaciona con los efectos adversos en la salud humana y en el

ambiente; además, influyen en la pérdida de la biodiversidad, en la reducción de poblaciones de aves, insectos polinizadores, entre otros (Rawtani *et al*., 2018). Los plaguicidas se clasifican de acuerdo a 1) tipo de plaga blanco, como insecticidas, herbicidas, fungicidas, algaecidas, bactericidas, rodenticidas, larvicidas, repelentes, viricidas, ovicidas, acaricidas, nematicidas, etc., y 2) por tipo de origen a) químico: organofosforados, organoclorados, carbamatos, sulfonilureas, etc., y b) biológicos: microbianos, productos vegetales y bioquímicos (Rawtani *et al*., 2018).

La mayoría de los plaguicidas químicos son solubles en grasas (compuestos no polares), por lo que se retienen dentro de los cuerpos de los organismos, considerándose como la principal razón por la que se encuentran trazas de plaguicidas en toda la cadena alimenticia. Los principales efectos de los plaguicidas en la salud humana, son afecciones en piel y ojos, daño en el sistema nervioso, son la causa principal de ciertos tipos de cáncer, actúan igual que algunas hormonas y son responsables de algunos casos severos de muerte. Cada año, más de un millón de agricultores desarrollan síntomas de envenenamiento por plaguicidas y esto se debe principalmente a las pocas herramientas y técnicas analíticas para detectar plaguicidas, las más utilizadas son por cromatografía liquida de alta resolución (HPLC, por sus siglas en inglés) y cromatografía de gases acoplado a masas (GC-MS, por sus siglas en inglés). Sin embargo, registran bajos niveles detección ya que se requieren altos niveles de purificación de las muestras, equipos costosos y operadores especializados para el manejo y funcionamiento de los equipos (Rawtani *et al*., 2018).

En años recientes, se han desarrollado estrategias y metodologías para reducir los niveles de los residuos de los plaguicidas, dentro de los principales métodos son con base a la absorción de superficie, filtración por membranas y degradación biológica, con relativos éxitos en el ambiente, especialmente en los cuerpos de agua y en suelo (Rawtani *et al*., 2018). Actualmente, y gracias a algunas ventajas de las recientes y nuevas tecnologías, tenemos la posibilidad de que sean más eficientes y específicas, con algunas limitaciones aún; como es el caso de las técnicas a niveles moleculares y atómicos; en este sentido, la Nanotecnología es un campo que involucra y manipula átomos y moléculas para elaborar materiales con dimensiones en la escala de los nanómetros, y por ello, esta tecnología puede apoyar para la detección de plaguicidas (Rawtani *et al*., 2018). Esta tecnología ha captado la atención global para detectar, degradar y remover plaguicidas peligrosos, ya que por su pequeña escala (nano), las propiedades fisicoquímicas, mayor superficie de contacto y su alta especificidad pueden ser más eficientes que otras estrategias convencionales (Khatri, 2017). Las nanopartículas (NP) comprenden moléculas de diversos materiales con medidas de 1 a 100 nm.

Nanopartículas metálicas.

En diferentes trabajos de investigación, las principales NP utilizadas para evaluar la detección, degradación y remoción de residuos de plaguicidas, son las NP metálicas (AgNP, AuNP y FeNP), las NP bimetálicas (Fe/NiNP y Ag/CuNP) y las NP óxido metálicas (NP de óxido de titanio, NP de óxido de zinc, NP de óxido de hierro, y NP de óxido de silicio). Las reacciones redox de algunas NP tienen un papel fundamental en la degradación de residuos de plaguicidas peligrosos, transformándolos a pequeños compuestos mucho menos tóxicos (Diallo *et al*., 2014; Street *et al*., 2014). Otras NP como las de oro (AuNP), cambian de color en función de su tamaño; los colores cambian conforme cambian los diferentes aglomerados, propiedad considerada ideal en materiales ópticos para detectar diferentes analitos e utilizarlas como sensores para la detección química y biológica. Además, a este tipo de NP se les ha encontrado una importante variedad de aplicaciones para la detección de plaguicidas como los del tipo organofosforados y organoclorados en diferentes

fuentes, especialmente en frutos y vegetales. Además, con AuNP, se han desarrollado exitosas pruebas de inmunoensayos para la detección del dicloro difenil tricloroetano (DDT), generando una coloración en caso de detectar el plaguicida. Los alimentos evaluados con resultados positivos al DDT, fueron frutos como las uvas, mangos, coliflor y en la leche de vaca. En otro estudio similar se detectaron el plaguicida DDT y el fármaco Kitazina® en cultivos de jitomate, calabaza italiana, uvas y naranjas (Malarkodi *et al.,* 2017). Este tipo de NP, también se ha utilizado para la detección de otro plaguicida, el Metamidofos®. Cuando Metamidofos® está presente en los frutos, las AuNP, cambian de un color rojo a morado en caso de ser positivo. Los estudios con las AuNP, también han permitido detectar Malathion® y Parathion® (ambos insecticidas organofosforados) en diferentes cuerpos de agua como lagos, manantiales de agua, en agua de mar, en aguas residuales de cultivos de manzano y en sus frutos (Bala *et al*., 2017; Wu *et al*., 2017). En el caso de las NP de plata (AgNP), tienen la característica de tener formas y tamaños con diversas propiedades eléctricas, paramagnéticas y ópticas. Por ello, las AgNP se pueden utilizar como parte de fibras, en biosensores, como agentes antimicrobianos y para la detección de diferentes plaguicidas como el Dipterex® (insecticida organofosforado) en cuerpos de agua, Carbaryl® (insecticida del tipo carbamato) en frutos como el jitomate, manzanas y en aguas de río. El Paraquat® (herbicida cuaternario de amonio) se ha detectado en cultivos como la lechuga, entre otros. En el caso de las NP de hierro (FeNP), estas tienen la propiedad de remover colorantes, metales pesados, así como fosfatos y arsenatos de aguas residuales. Además, estas FeNP pueden aplicarse para degradar y remover diferentes plaguicidas, en estudios recientes, se demostró que las FeNP magnéticas cubiertas (protegidas) con quitosano pueden degradar más del 70% del plaguicida Clorpirifos® (insecticida organofosforado) (Das *et al.,* 2017). Respecto a las NP bimetálicas, especialmente las NP de Fe/Ni, se pueden utilizar para la degradación de diferentes plaguicidas como el Profenofos® (insecticida organofosforado). Las NP con iones metálicos, pueden degradar 98% del fungicida Carbendazim® y las NP con ZnO (ZnONP), pueden remover al insecticida Permetrina® en diferentes cuerpos de agua. Respecto a los nanotubos de carbono (hojas de carbono enrolladas en forma tubular con diámetros de 2 nm), son ampliamente usados pata detectar y remediar una amplia gama de plaguicidas como Buprofezin® (insecticida), Cipermetrin® (insecticida piretroide tipo ll), Pyridaben® (insecticida y acaricida) y Clorpirifos® (Hou *et al*., 2014).

Perspectivas del uso de nanopartículas como plaguicidas.

Como hasta ahora se ha visto, los cambios en la tecnología agrícola han sido el principal factor para las nuevas formas de la agricultura moderna, en este sentido, la Nanotecnología ya ocupa una posición prominente transformando la agricultura y la producción de alimentos. Los nanomateriales (NM) al igual que los nanodispositivos (ND), contribuyen con nuevas aplicaciones en la biotecnología y en la agricultura. Como se puede observar, sus aplicaciones para detectar, degradar y remover plaguicidas han demostrado relativos éxitos, pon lo que ahora varias investigaciones se están enfocando en aprovechar esta tecnología para prevenir o controlar plagas y enfermedades en los diferentes cultivos agrícolas por medio de nanocidas (nanoplaguicidas) y ND con nuevas propiedades, enfocándose a sistemas agrícolas “inteligentes”, considerando que cada ND responde a diferentes situaciones o estímulos, con lo que pueden liberar de forma controlada y específica los plaguicidas en lapsos de tiempos específicos. Además, algunas especies de vegetales pueden ser una fuente para la de síntesis de NP, en este sentido, esta tecnología ofrece una alternativa que parece ecológicamente viable, comparada con estrategias convencionales para el manejo y control de

plagas. Tradicionalmente, la mayoría de los agricultores aplica plaguicidas, de forma masiva e indiscriminada, sin considerar las recomendaciones y normas oficiales, ocasionando que una baja concentración llegue al organismo blanco y que la mayor proporción se degrade biológicamente o por fotólisis e hidrólisis. Lo anterior implica que el agricultor aplique repetidas veces los plaguicidas, lo que a largo plazo causa efectos desfavorables como la contaminación del suelo y el agua, entre otros. Por ello, la nanotecnología permite, manejar algunos plaguicidas como nanoencapsulados y pueden ser diseñados con propiedades específicas y con las concentraciones efectivas (con alta solubilidad, estabilidad y eficiencia) a tiempos controlados para su liberación, en respuesta a un estímulo especifico, mejorando con ello la actividad específica y reduciendo la toxicidad ambiental. Además, la nanoencapsulación provee un modo sencillo y seguro para su aplicación y no requiere de más aplicaciones masivas e indiscriminadas. Un extraordinario ejemplo es el control de las malezas con herbicidas nanoencapsulados, lo que ha permitido reducir la fitotoxicidad de los herbicidas en los cultivos. La propiedad funcionalizada de los nanoencapsulados, permiten una mejor penetración a través de la cutícula y una liberación lenta y controlada de los ingredientes activos al alcanzar la maleza objetivo. Los químicos nanoencapsulados con materiales biodegradables, permiten que los ingredientes activos estén concentrados, sean seguros y fáciles de manejar por los agricultores. Por otro lado, la nanosilica hidrofóbica modificada en su superficie, ha sido un éxito para el control de un amplio intervalo de insectos plaga en la agricultura, ya que su principal propiedad lipófilico funcionalizado, absorbe los lípidos cuticulares de los insectos por medio de la fusión absorción y de esta forma, la nanosilica daña la capa cerosa protectora de los insectos e induce la desecación y la muerte. Las AgNP son de amplio espectro con actividad antimicrobiana y reduce significativamente diferentes enfermedades causadas por las esporas de hongos de diferentes fitopatógenos en los cultivos agrícolas (Nair *et al*., 2010). La aplicación de los nanoplaguicidas es cada vez más aceptada, principalmente por considerarse a estos más seguros para las plantas y menos tóxicos para el ambiente, comparados con los plaguicidas convencionales. Sin embargo, algunos trabajos consideran que las plantas pueden ser una potencial vía para el transporte de las NP al ambiente y de esta forma acumularse (bioacumulación) en la cadena alimentaria. Varios estudios, se están evaluando para conocer el efecto de las NP en el crecimiento de las plantas y en las funciones metabólicas, así como los probables efectos en el ambiente, en los microorganismos del suelo y en los diferentes cuerpos de agua (Nair *et al*., 2010).

Conclusiones

La nanotecnología aplicada a la agricultura ofrece un amplio potencial para el manejo eficiente y seguro de los plaguicidas. Empero, es necesario realizar estudios futuros para clarificar la nanotoxicidad de las NP, el posible secuestro y translocación de las NP en los diferentes tejidos vegetales y los efectos de las NP en las propiedades físicas y químicas de la rizosfera y en la superficie de las raíces.

Agradecimientos

Al CONACyT por el financiamiento del proyecto: CB-2016-01 287225. Al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo y financiamiento para la realización del presente trabajo. Al Cinvestav Saltillo por el apoyo y financiamiento para la realización de la presente investigación, y a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Postgrado VIEP.

Referencias

Bala, R., Dhingra, S., Kumar, M., Bansal, K., Mittal, S., Sharma, R. K., and Wangoo, N. 2017. Detection of organophosphorus pesticide–Malathion in environmental samples using peptide and aptamer based nanoprobes. Chemical Engineering Journal, *311*, 111-116.

Das, A., Singh, J., and Yogalakshmi, K. N. 2017. Laccase immobilized magnetic iron nanoparticles: fabrication and its performance evaluation in chlorpyrifos degradation. International Biodeterioration and Biodegradation, *117*, 183-189.

Diallo, M., Street, A., Sustich, R., Duncan, J., and Savage, N. 2009. Nanotechnology Applications for Clean Water: Solutions for Improving Water Quality. William Andrew.

Hou, X., Lei, S., Qiu, S., Guo, L., Yi, S., and Liu, W. 2014. A multi-residue method for the determination of pesticides in tea using multi-walled carbon nanotubes as a dispersive solid phase extraction absorbent. Food Chemistry, *153*, 121-129.

Khatri, N., and Tyagi, S. 2015. Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas. Frontiers in Life Science, *8*(1), 23-39.

Khatri, N., Tyagi, S., and Rawtani, D. 2017. Recent strategies for the removal of iron from water: a review. Journal of Water Process Engineering, *19*, 291-304.

León-Silva, Sein, Fabián Fernández-Luqueño, and Fernando López-Valdez. 2016 Silver Nanoparticles (AgNP) in the Environment: A Review of Potential Risks on Human and Environmental Health. Water, Air, & Soil Pollution 227(9): 306.

Malarkodi, C., Rajeshkumar, S., and Annadurai, G. 2017. Detection of environmentally hazardous pesticide in fruit and vegetable samples using gold nanoparticles. Food Control, *80*, 11-18.

Nair, R., Varghese, S. H., Nair, B. G., Maekawa, T., Yoshida, Y., and Kumar, D. S. 2010. Nanoparticulate material delivery to plants. Plant science, *179*(3), 154-163.

Rawtani, D., Khatri, N., Tyagi, S., and Pandey, G. 2018. Nanotechnology-based recent approaches for sensing and remediation of pesticides. Journal of Environmental Management, *206*, 749-762.

Street, A., Sustich, R., Duncan, J., and Savage, N. (Eds.). 2014. Nanotechnology applications for clean water: solutions for improving water quality. William Andrew.

Wu, S., Li, D., Wang, J., Zhao, Y., Dong, S., and Wang, X. 2017. Gold nanoparticles dissolution based colorimetric method for highly sensitive detection of organophosphate pesticides. Sensors and Actuators B: Chemical, *238*, 427-433.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EFECTO DE LA APLICACIÓN DE NANOPARTICULAS DE DIOXIDO DE TITANIO SOBRE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE PINO PIÑONERO (*Pinus cembroides* Zucc.)

Pérez-Ríos, S.R.[1]; Medina-Pérez, G.[2]; Rodríguez-Laguna, R.[1]; Prieto-Méndez, J.[1]; Reyes-Santamaría, M.I.[1]; Afanador Barajas, L.[3]; Fernández-Luqueño, F.[4*]

[1] Instituto de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo, Hidalgo, México.
[2] Doctorado Transdisciplinario en Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad. CINVESTAV Zacatenco.
[3] Universidad Central de Colombia, Colombia.
[4] Programas de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía, CINVESTAV Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.

*Autor responsable: cinves.cp.cha.luqueno@gmail.com; Av. Industria Metalúrgica Núm. 1062, Parque Industrial Saltillo-Ramos Arizpe, Ramos Arizpe, Coahuila de Zaragoza, México. CP 25900; Tel. +52(844)-438-9625

Resumen

Una de las principales especies de pino piñonero usado para reforestación es el *Pinus cembroides* Zucc, el cual se encuentra en México principalmente en los estados de Hidalgo, Chihuahua, Zacatecas, Durango, Nuevo León y Coahuila. El dióxido de titanio es un compuesto que interactúa de forma natural con los sistemas vegetales, dado que el titanio es uno de los metales de transición más abundantes en el suelo. El desarrollo de la nanotecnología y sus diversas aplicaciones en la industria ha llevado a la aplicación de nanopartículas de dióxido de titanio (NP-TiO_2) en productos como pinturas, cosméticos y medicamentos. El uso de NP-TiO_2 tiene efectos positivos y negativos sobre el crecimiento y desarrollo de diversas especies de plantas. En el presente estudio se realizó la evaluación de la germinación de pino piñonero aplicando NP-TiO_2. En los experimentos se emplearon semillas del pino provenientes del municipio de Zimapan, en el estado de Hidalgo, las cuales fueron expuestas a diversas concentraciones de NP-TiO_2: testigo (0ppm), 1ppm, 50 ppm, 250 ppm y 500 ppm; las evaluaciones se realizaron 24 y 72 horas después. El tratamiento de 500 ppm fue el que incrementó significativamente el porcentaje de germinación (48.48 %).

Palabras clave

Pinus cembroides, piñon, nanoparticulas, titanio, germinación

Introducción

El pino piñonero (*Pinus cembroides* Zucc) es una de las especies de pino más abundante en México y está distribuido mayormente en la Sierra Madre Oriental, en los estados de Chihuahua, Durango, Coahuila, Nuevo León, Hidalgo y Zacatecas. Dentro de las principales características de este pino, se destaca su resistencia a heladas, sequías y temperaturas elevadas.

Además, el pino piñonero es muy utilizado para la reforestación de zonas erosionadas (Batiz *et al*., 1994). Sin embargo, su madera tiene poco valor comercial por considerarse de poca calidad, por lo que se emplea como leña para producir carbón. No obstante, el pino piñonero tiene importancia económica por su semilla (el piñón), la cual abastece más del 90% de los piñones conocidos en el mercado (Batiz et al., 1994).

Una serie de investigaciones se han centrado en el impacto de las NP-TiO_2 en bacterias, algas, plancton, peces, ratones y ratas pero, las investigaciones enfocadas en evaluar los efectos de NP-TiO_2 sobre las plantas aún es limitada (Siddiqui et al., 2015). Jaberzadeh et al. (2013) reportaron que las NP-TiO_2 aumentaron el crecimiento de las plantas de trigo y mejoraron la respuesta ante el estrés hídrico. Las NP-TiO_2 intervienen en la actividad enzimática involucrada en el metabolismo del nitrógeno, como nitrato reductasa, glutamato deshidrogenasa, glutamina sintasa y transaminasa glutámico-pirúvica. Esta última ayuda a las plantas a absorber nitrato y favorece la conversión de nitrógeno inorgánico a nitrógeno orgánico en forma de proteína y clorofila, lo cual podría aumentar el peso fresco y el peso seco de la planta (Yang et al., 2006; Mishra et al., 2014). Las NP-TiO_2 promueven notablemente el vigor y la formación de clorofila de las semillas, estimula la actividad de Ribulosa 1, 5-bisfosfato carboxilasa (Rubisco) y aumenta la fotosíntesis, favoreciendo el crecimiento y desarrollo de las plantas. Además, las NP-TiO_2 aceleran el transporte y la conversión de la energía luminosa, protegen los cloroplastos del envejecimiento y prolongan el tiempo fotosintético de los cloroplastos (Yang et al. 2006). Aunque el TiO_2 es químicamente inerte, los efectos potenciales de las NP-TiO_2 sobre animales o vegetales no han sido claramente reportados. Por esta razón se analizan los efectos de las NP-TiO_2 sobre la germinación de las semillas, la elongación de las raíces y la división mitótica en las células de las raíces, para desarrollar un modelo cuantitativo de evaluación del riesgo para predecir el impacto potencial de las NP-TiO_2 en la vida vegetal (Ruffini et al., 2011).

A pesar de que se han reportado efectos de las NP-TiO_2 sobre las plantas, las especies forestales no se han estudiado. El objetivo de esta investigación es evaluar la germinación de semillas de *Pinus cembroides* tratadas con diferentes dosis de NP-TiO_2.

Materiales y Métodos

Ubicación del experimento.

El experimento se realizó en abril del año 2018, en el Laboratorio de Semillas y Germoplasma del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.

Material vegetal, acondicionamiento y condiciones de crecimiento.

Las semillas empleadas fueron colectadas en diciembre del 2015 en el bosque forestal de Zimapán, Hidalgo, México y se almacenaron bajo condiciones ambientales.

Para medir el efecto de las NP-TiO_2 en la germinación, se emplearon 300 semillas de *Pinus cembroides* (60 por tratamiento). Las semillas se desinfectaron en una solución de hipoclorito de sodio al 5 % en agua destilada, se agitaron por diez minutos y se lavaron con agua destilada. Posteriormente, las semillas fueron expuestas a tratamientos de imbibición con inmersiones en suspensiones con diferentes concentraciones de NP-TiO_2 (0, 1, 50, 250 y 500 ppm). Las suspensiones con NP-TiO_2 se prepararon con agua destilada en un matraz aforado de 1 L. Posteriormente, la suspensión se colocó en una charola de plástico, en la que se embebieron las semillas.

El diseño experimental empleado fue bloques completamente al azar. Durante el periodo de imbibición de la semilla se registró el cambio de peso de cada una de ellas a las 0, 6, 12, 24, 48 y 72h para para determinar su tiempo máximo de absorción. Después de que las semillas fueron embebidas en las suspensiones de NP-TiO_2, se colocaron en tubetes forestales para su germinación y desarrollo de la plántula. Los tubetes se llenaron con una mezcla de perlita, vermiculita y el musgo de turba (peat moss) a razón de 30, 30 y 40 % (en base volumen), respectivamente. La profundidad de siembra fue aproximadamente al doble del tamaño de la semilla.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba Tukey ($P < 0.05$) usando el Programa NCSS versión 07.1.20 (NCSS LLC, Kaysville, Utah, USA) para determinar si había diferencias significativas entre los tratamientos, en todas las variables.

Resultados y discusión

Porcentaje de germinación.

El porcentaje de germinación más alto fue de 48.48 % en el tratamiento de 500 ppm de NP-TiO_2, presentando diferencias significativas ($p<0.05$) a las 24 horas de imbibición (Cuadro 1). La evaluación del remojo por setenta y dos horas tuvo más relación con el aumento de peso por absorción de agua, que con la eliminación de inhibidores y la vigorización de la germinación, mostrando un detrimento en el porcentaje de germinación de 17.17% en el tratamiento de 500ppm de NP-TiO_2, contra el testigo que tuvo 14.14%.

No existen reportes de la respuesta de la aplicación de nanopartículas en la germinación de especies forestales, sin embargo, los resultados son similares a lo informado por Zheng et al., (2005) donde encontraron que el TiO_2 nanométrico contribuyó a la absorción de agua por las semillas de espinaca envejecida y como resultado, aceleró la germinación de la semilla. Otro trabajo anterior, fue el de Feizi et al. (2011) quienes demostraron los efectos significativos de NP-TiO_2 sobre el porcentaje de germinación de semillas de trigo (98%) usando una concentración de 2 mg L^{-1} de NP, en comparación con el dióxido de titanio masivo. Los estudios publicados por Mahmoodzadeh et al. (2013) reportaron que la aplicación de 2000 ppm de NP-TiO_2 mejoró significativamente la germinación de semillas de canola y el desarrollo de plántulas.

Características de crecimiento.

Se observaron diferencias significativas ($p<0.05$) en peso y longitud de tallo de las plántulas germinadas después del tratamiento con 24 h de exposición a las soluciones de remojo con 250 y 500 ppm de NP-TiO_2. Solo los rendimientos del tallo tratado por 24 h de imbibición a 250 y 500 ppm de NP-TiO_2 presentaron diferencias significativas. Estos resultados son similares a publicados por otros autores (Zeng et al., 2005; Feizi et al., 2011) que realizaron investigaciones similares con semillas de espinaca y de trigo; sin embargo, no existen reportes previos que hayan empleado semillas forestales que permitan comparar los resultados de la presente investigación.

El peso fresco de hojas se incrementó significativamente cuando las semillas fueron embebidas durante 72 h. en suspensión de 50 ppm de NP-TiO_2. El tiempo de imbibición y la concentración de NP afecto significativamente algunas variables del proceso de germinación y algunas características fenológicas de *Pinus cembroides* Zucc.

Cuadro1. Porcentaje de germinación y características fenológicas de *Pinus cembroides* Zucc. tratadas con suspensiones de diferentes concentraciones de nanopartículas de TiO_2 durante imbibición de 24 y 72 horas.

Tratamiento	% Germinación	Largo raíz (cm)	Largo tallo (cm)	Diámetro tallo (cm)	Largo ápice (cm)	Número hojas	Peso fresco raíz (g)	Peso fresco tallo (g)	Peso fresco hoja (g)	Peso seco raíz (g)	Peso seco tallo (g)	Peso seco hoja (g)
24 horas de imbibición con nanopartículas												
Testigo	41.41^{a}	14.23^{a}	9.42^{a}	2.19 ^{ab}	2.00^{a}	122.45^{a}	0.54^{a}	0.27^{ab}	0.64^{a}	0.06^{a}	0.08^{ab}	0.20^{ab}
1 ppm	37.37^{b}	15.81^{a}	7.76^{b}	2.01^{a}	1.75^{b}	103.23^{a}	0.42^{a}	0.26^{ab}	0.56^{a}	0.07^{a}	0.08^{ab}	0.15^{b}
50 ppm	24.24^{c}	15.24^{a}	7.95^{e}	2.17^{ab}	1.66^{c}	113.33^{a}	0.27^{a}	0.28^{ab}	0.63^{a}	0.06^{a}	0.085^{ab}	0.18^{ab}
250 ppm	29.29^{d}	16.73^{ab}	10.06^{c}	2.34^{b}	2.44^{e}	104.62^{a}	0.48^{a}	0.34^{a}	0.64^{a}	0.10^{a}	0.10^{a}	0.23^{a}
500 ppm	48.48^{e}	18.60^{b}	6.02^{d}	2.39^{b}	1.57^{d}	110.83^{a}	0.39^{a}	0.22^{b}	0.65^{a}	0.08^{a}	0.06^{b}	0.19^{ab}
72 horas de imbibición con nanopartículas												
Testigo	14.14^{a}	17.26^{a}	7.21^{ab}	2.005^{a}	1.355^{a}	98.5^{a}	0.50^{a}	0.21^{a}	0.45^{a}	0.095^{a}	0.06^{a}	0.13^{a}
1 ppm	9.09^{b}	19.53^{a}	7.13^{ab}	2.15^{a}	1.38^{a}	102^{a}	0.45^{a}	0.22^{a}	0.56^{ab}	0.075^{a}	0.061^{a}	0.15^{a}
50 ppm	21.21^{c}	17.33^{a}	8.60^{a}	2.09^{a}	1.52^{a}	105.88^{a}	0.59^{a}	0.30^{a}	0.70^{b}	0.100^{a}	0.08^{a}	0.18^{a}
250 ppm	11.11^{d}	18.23^{b}	6.66^{b}	2.68^{a}	1.36^{a}	107.66^{a}	0.58^{a}	0.23^{a}	0.56^{ab}	0.10^{a}	0.13^{a}	0.17^{a}
500 ppm	17.17^{e}	17.53^{a}	8.06^{ab}	2.18^{a}	1.56^{a}	104.95^{a}	0.50^{a}	0.26^{a}	0.59^{ab}	0.11^{a}	0.08^{a}	0.17^{a}

Valores promedios en una columna, seguidos de una misma letra son estadísticamente iguales con P=0.05.

La concentración más alta de NP-TiO_2 (500 ppm) incrementó significativamente la germinación, sin embargo, este efecto no se observó a concentraciones más bajas. Lo anterior, podría ser debido a que las altas concentraciones de NP-TiO_2 favorecen la síntesis de metabolitos que disparan el proceso de germinación, aún en semillas añejas. Es decir, el incremento en el porcentaje de la germinación podría deberse a un efecto inducido por condiciones de estrés en respuesta a toxicidad, más que por un efecto favorable de las NP-TiO_2. Lo anterior, podría explicar el por qué no hay efectos significativos en las variables que se midieron varios días después.

Conclusiones

El periodo de remojo afectó de manera significativa el porcentaje de germinación de las semillas de *Pinus cembroides*. El ensayo de imbibición más adecuado cuando se aplican nanopartículas de dióxido de titanio es de 24 horas, sin embrago, es necesario probar rangos de tiempo intermedios. Los efectos en el crecimiento de las plantas no son significativos en todos los parámetros, únicamente se presentan algunos efectos en el tallo, por lo que podría recomendarse este tipo de tratamiento para aumentar el porcentaje de germinación de semillas forestales añejas que son conservadas bajo condiciones no adecuadas.

Referencias

Batis M., M.I. Alcocer, M. Gual, C. Sánchez y C. Vázquez-Yanes. 1999. Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Instituto de Ecología, UNAM – CONABIO, México, D.F.

Feizi, H., M. P. Rezvani, N. Shahtahmassebi and Fotovat, A. 2011. Impact of bulk and nanosized titanium dioxide (TiO_2) on wheat seed germination and seedling growth. Biological Trace Element Research, 146(1): 101-106.

Jaberzadeh, A., Moaveni, P., Moghadam, H., and Zahedi, H. 2013. Influence of bulk and nanoparticles titanium foliar application on some agronomic traits, seed gluten and starch contents wheat subjected to water deficit stress. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 41(1), 201-207.

Mahmoodzadeh, H., R. Aghili, and M. Nabavi. 2013. Physiological effects of TiO_2 nanoparticles on wheat (*Triticum aestivum*). Tech. J. Eng. Appl. Sci, 3, 1365-1370.

Martínez, M. 1948. Los Pinos Mexicanos. 2ª. Ed. Botas. México, D.F.

Mishra, V., Mishra, R., Dikshit, A., y Pandey, A. 2014. Interactions of nanoparticles with plants: an emerging prospective in the agriculture industry. In: Ahmad P., and S. Rassol (Eds.). Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance. Vol. 1. Academic Press, New York.

Ruffini, C. M., Giorgetti, L., Geri, C., y Cremonini, R. (2011). The effects of nano-TiO_2 on seed germination, development and mitosis of root tip cells of *Vicia narbonensis* L. and *Zea mays* L. Journal of Nanoparticle Research, 13(6): 2443–2449.

Siddiqui, M. H., M. H. Al-Whaibi and M. Firoz, 2015. Role of Nanoparticles in Plants. Springer. 19-35

Yang, F., F. Hong, W. You, C. Liu, F. Gao, C. Wu, and P. Yang, 2006. Influence of nano-anatase TiO_2 on the nitrogen metabolism of growing spinach. Biological Trace Element Research 110(2): 179-190.

Zheng, L., F. Hong, S. Lu, and C. Liu, 2005. Effect of nano-TiO_2 on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. Biological Trace Element Research, 104(1), 83-91.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

SELECCIÓN DE INDICADORES DE CALIDAD DE SUELOS EN EL CAMPO EXPERIMENTAL DE TECNOLOGÍAS AMBIENTALES (CETA), MUNICIPIO DE CACHIPAY- CUNDINAMARCA, COLOMBIA

Afanador-Barajas, L.[1,4*]; Vallejo-Quintero, V.[1]; Hernández-Gómez, M.[1]; Parra-Giraldo, D.[1]; Medina-Pérez, G.[2]; Fernández-Luqueño F.[3]

[1] Universidad Central, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas. Bogotá D.C., Cundinamarca. Colombia.
[2] Estudiante de Doctorado Transdisciplinario en Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad. CINVESTAV Zacatenco, Ciudad de México, México.
[3]Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía, CINVESTAV Saltillo, Coahuila, México
[4]Estudiante de Doctorado Ciencias especialidad Biotecnología. Laboratorio de Ecología de Suelos ABACUS. CINVESTAV Zacatenco, Ciudad de México, México.

*Autor responsable: lafanadorb@ucentral.edu.co; Calle 21 Núm. 4-40 Las Nieves, Bogotá D.C, Colombia. CP 1101

Resumen
En el proceso de una efectiva evaluación de la calidad del suelo es indispensable contar con un método adecuado para la selección de indicadores que permita elegir los indicadores más representativos de un gran conjunto de datos. En la presente investigación se pretende seleccionar el conjunto mínimo de datos (CMD) de diferentes indicadores de la calidad edáfica para el campo experimental de tecnologías ambientales CETA, en cuatro sistemas productivos agrícolas, orgánicos y tradicionales, empleando un conjunto de datos de indicadores físicos, químicos y microbiológicos. El CETA se encuentra ubicado en la Vereda Petaluma Alta del municipio de Cachipay (Departamento de Cundinamarca, Colombia). Para la selección del conjunto mínimo de datos se realizó un análisis de componentes principales (ACP) de los indicadores de la calidad del suelo. En los dos primeros factores con más del 59% de la varianza las propiedades se relacionaron la mayoría de los parámetros analizados (distribución de agregados, densidad aparente, humedad, pH, heterótrofos totales y actividad de la catalasa. Los sistemas productivos evaluados como el café y el policultivo estuvieron principalmente relacionados con los dos primeros factores. A partir de los primeros cuatro factores del ACP que presentaron valores propios mayor a uno y una varianza acumulada del 84% las variables fueron densidad aparente, densidad real, resistencia a la penetración, humedad, pH, índice de estabilidad, Estado de agregación, carbono orgánico, y la enzima Catalasa por lo cual se seleccionaron en el conjunto mínimo de datos.

Palabras clave
Fisicoquímicos; ACP; manejo orgánico; CMD

Introducción
La extensa degradación del suelo como consecuencia de actividades antrópicas como la agricultura y la industria, representan una seria amenaza para el bienestar y futuro de la humanidad y el ambiente; poniendo en peligro a varios sistemas claves de producción alimentaria a nivel mundial (Nesbitt & Adl, 2014; FAO, 2015). Por lo tanto, hoy en día, nos enfrentamos con el desafío de

intensificar, preservar e incrementar la calidad edáfica y buscar indicadores que puedan representarla de forma adecuada.

El suelo no sólo es la base para la agricultura y para los diferentes ecosistemas, sino que además de él depende toda la vida del planeta. Es así como surge el concepto de calidad del suelo, cuya definición más completa y aceptada hasta ahora por la Sociedad Americana de Ciencia del Suelo (SSSA, por sus siglas en inglés), fue la planteada por Doran y Parkin (1994): "La calidad del suelo es la capacidad para funcionar como un sistema vital dentro del ecosistema, y sostener o mejorar la productividad biológica, promoviendo la calidad ambiental, y manteniendo la salud de plantas, animales y del hombre". Por lo tanto, la calidad del suelo, es considerada como uno de los factores más importantes en el desarrollo de prácticas agrícolas y pecuarias sostenibles.

De acuerdo con diferentes autores, los indicadores del suelo deben ser simples y fáciles de medir, deben cubrir las situaciones más grandes posibles (tipos de suelo), incluyendo las variaciones temporales, y deben ser muy sensibles a cambios en el ambiente y en el manejo del suelo (Vallejo, 2013). Los indicadores deben ser seleccionados con base a su capacidad de evaluar y detectar pequeñas variaciones en el contenido de materia orgánica edáfica y en el funcionamiento del ecosistema del suelo, lo cual está unido a la gestión-manejo del suelo o de los cambios climáticos, así como sobre la base de su accesibilidad y utilidad para los productores, los científicos, conservacionistas y los responsables políticos (Doran y Parkin, 1996; Muscolo *et al.*, 2014).

En el proceso de la evaluación de la calidad del suelo puede resultar compleja, ya que se utilizan un amplio rango de indicadores de calidad físicos, químicos y biológicos que permitan evidenciar las funciones ecológicas y económicas. Por esta razón, es importante realizar la reducción de datos debido a la imposibilidad de considerarlos todos y se sugiere utilizar un pequeño número de indicadores (Andrews *et al.*, 2002). En la valoración de la calidad del suelo se deben identificar el menor número de propiedades edáficas medibles y apropiadas que determinen y representen las principales procesos y funciones que ocurren en suelo, lo que se conoce como: conjunto mínimo de datos (CMD), con lo cual, además de ahorrar tiempo y dinero, permite obtener una estimación confiable y precisa de la calidad edáfica en agroecosistemas (Chen *et al.*, 2013). Uno de los métodos más usado para la que integra las variables físicas, químicas y biológicas que muestran su adecuado estado y funcionamiento (Rezaei *et al.*, 2006). Por esta razón, el objetivo del presente estudio fue la selección de un CMD de indicadores físicos, químicos y/o biológicos más sensibles frente al manejo agropecuario por medio del ACP para hacer un seguimiento de la calidad edáfica.

Materiales y Métodos

La investigación se efectuó en dos periodos de muestreo en junio y septiembre de 2016. El área de estudio se localiza en suelos de tipo andisol con textura franco arcillosas en el Campo Experimental de Tecnologías Ambientales (CETA) (4º44' 52.3" N, 74º 25'32.7" W), ubicado al Norte del municipio de Cachipay (Cundinamarca), en la Vereda Petaluma. El campo tiene un área de 6,47 ha, de acuerdo con el manejo de las áreas dedicadas a la agricultura se estudiaron cuatro parcelas (policultivo, café, guatila (chayote) y pastizal) para realizar este estudio. La parcela de policultivo (compuesto por anturio, yuca, plátano y/o maíz) se realiza fertilización orgánica con cereza de café y hierbas derivadas. En la parcela de café sembrada hace cuatro años se realiza el mismo manejo

orgánico que el policultivo. Para el cultivo de guatila la fertilización orgánica se realiza con gallinaza. La última parcela no presenta cultivos, fue destinada a uso ganadero anteriormente, a la cual se eliminan malezas y pastos con glifosato, a la cual denominamos pastizal.

Dentro de cada una de las parcelas se establecieron dos cuadrantes (2.5 x 2.5 m) en los que se tomaron dos muestras compuestas (20 submuestras) a una profundidad de 0-15 cm, haciendo uso de barrenos de tubo (2.5 cm de diámetro). Para los análisis físicos en el estudio se determinó la distribución de agregados y estabilidad estructural en las muestras de suelo seco, empleando tamices con mallas de 3, 2, 1 y 0,5 mm, lo cual permitió calcular los atributos de índice de estabilidad (IE), estado de agregación (EA) y diámetro medio ponderado (DMP) (Nimmo y Perkins, 2002; Unalmed, 2016). La textura se estimó utilizando el Kit comercial de textura LaMotte Company con la cual se pudo determinar una textura Franco-arcillosa y la resistencia a la penetración RP se midió empleando un penetrómetro. En los análisis químicos, se utilizó el método potenciométrico 9045c (EPA, 2004) para medir el pH y el carbono orgánico fue determinado por el método de ignición (Schulte y Hopkins, 1996). Finalmente, para los análisis microbiológicos se realizó el recuento de heterótrofos totales por recuento en placa con agar nutritivo (Fernández *et al.*, 2006) y para la actividad enzimática de la catalasa se siguió la metodología de Johnson y Temple (1964).

Por último, se realizó un análisis multivariado a través de un análisis de componentes principales (ACP), se utilizó el programa estadístico PAST 3.15 (Hammer *et al.*, 2001). De acuerdo con este análisis se realizó la selección del Conjunto mínimo de datos por la metodología descrita por (Rezaei *et al.*, 2006)

Resultados y Discusión

El resultado de componentes principales del conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos se muestra en el cuadro 1. Considerando los factores con valores propios mayor a 1, se seleccionaron los factores del 1 al 4 con un total de varianza de más del 83 %. Se puede apreciar que los indicadores con mayor correlación positiva en los cuatro factores seleccionados fueron la porosidad, densidad real, estado de agregación, humedad, pH, carbono orgánico y la actividad de la catalasa. Mientras que las variables que se relacionaron negativamente fueron el índice de estabilidad, densidad aparente y resistencia a la penetración (cuadro 1). Los sistemas productivos más relacionadas con los dos primeros componentes fueron el policultivo y el café (Figura 1). De modo contrario, los cultivos de guatila y pastizal, exhibieron baja o nula relación con las variables asociadas positivamente al rendimiento en la gráfica mostrada.

El conjunto mínimo de datos (CMD) fue conformado por siete indicadores físicos (IE, EA, % porosidad, densidad aparente, densidad real, resistencia a la penetración y % humedad), dos indicadores químicos (pH, % CO) y uno biológico (Catalasa). Esto nos muestra una gran importancia de los indicadores físicos, ya que son la mayor proporción en el CMD representada en los indicadores y están relacionados con la estructura del suelo. La mayoría de estos indicadores han sido utilizados para evaluar la calidad del suelo. Entre estos, se destaca la estabilidad de agregados la cual varios autores han informado que su reducción puede aumentar la susceptibilidad del suelo a la escorrentía, la erosión intercurrente y la formación de costras (Barthès y Roose, 2002; Nciizah y

Wakindiki, 2015). Así mismo, en el CMD fue escogido el CO, el cual es uno de los indicadores más utilizado para evaluar sistemas agrícolas y forestales (Zornoza *et al.*, 2015) ya que se relaciona con los niveles de fertilización y ha sido propuesto como un indicador clave en el monitoreo y la evaluación de la calidad de suelos (Shukla *et al.*, 2006).

Cuadro 1**.** Análisis de componentes principales para los indicadores de Suelo seleccionados cómo el mínimo conjunto de datos de las muestras de Suelo analizadas (n = 16).

Parámetros	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4
Valores propios	4,530	3,188	1,741	1,374
Varianza (%)	34,844	24,524	13,389	10,572
Var. Acumulada (%)	34,844	59,368	72,757	83,329
IE (%)	-0,8320	0,3450	0,0591	0,2711
EA (%)	-0,4674	0,7429	-0,2994	0,1233
DPM	0,6227	0,5010	-0,5320	-0,0949
DGM	0,6832	0,4640	-0,4790	-0,1718
Humedad (%)	0,1082	0,7770	0,2373	-0,1073
DA	-0,8329	0,0069	-0,2980	0,0533
DR	0,3409	0,1456	-0,1296	0,8902
Porosidad (%)	0,7888	0,0900	0,0989	0,5810
RP	0,2706	-0,8119	0,0746	0,0602
pH	0,7534	0,2237	0,4010	-0,2081
CO	-0,0851	0,2540	0,8175	0,1465
Catalasa	-0,4359	0,7466	0,2990	-0,0634
Heterótrofos	0,6947	0,2946	0,1982	-0,1740

Índice de estabilidad (IE), estado de agregación (EA), diámetro medio ponderal (DMP), diámetro geométrico medio (DGM), densidad aparente (DA), densidad real (DR), resistencia a la penetración (RP) y carbono orgánico (CO).

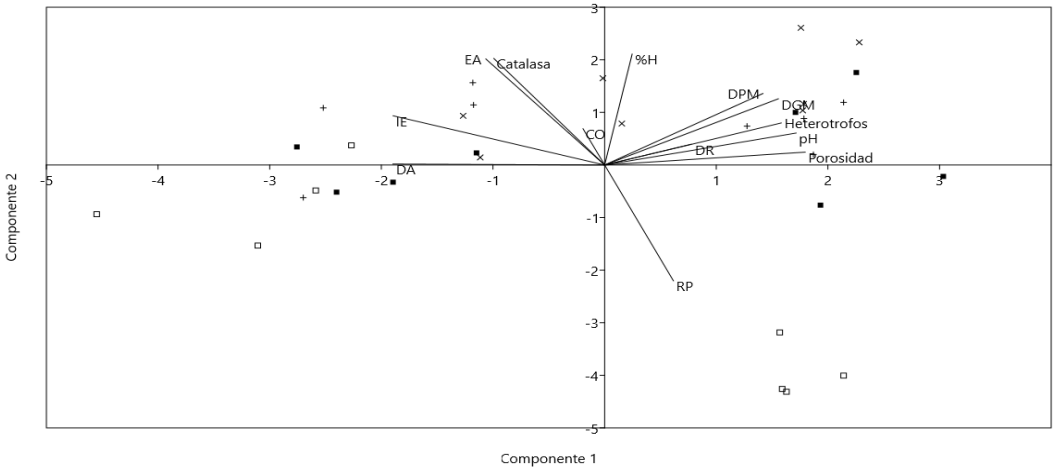


Figura 1. Análisis de componentes principales para los indicadores físicos, químicos y biológicos para los dos primeros factores en los sistemas productivos: x policultivo, +café, ▪guatila y ▫ pastizal

Por otra parte, Vallejo *et al.*, 2018 concluyeron que los manejos alternativos sostenibles como el policultivo y el cultivo de café orgánico presentan un impacto positivo en las propiedades físicas del suelo y el contenido de CO. De igual forma, existe una gran relación entre el estado físico del suelo (resistencia a la penetración, índices de estabilidad), y estos se relacionan con la actividad enzimática de catalasa. Esto claramente soporta la idea de la búsqueda de un CMD que ayude a evaluar y seleccionar los mejores indicadores de calidad que podrían usarse en futuros estudios de calidad de suelos en esta región en Colombia.

Conclusiones

Fue posible determinar un CMD representado por diferentes indicadores físicos, químicos y biológicos, los cuales pueden tener mayor efecto en el suelo según el manejo agrícola que se emplee. Por lo tanto, se recomienda incluir estos indicadores en futuros estudios de monitoreo de la calidad de suelos a fin de lograr un buen análisis que ayude a evaluar sistemas agrícolas orgánicos y tradicionales.

Agradecimientos

A la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas y a los Departamentos de Ciencias Naturales e Ingeniería Ambiental por el financiamiento con código No 20301119.

Referencias

Andrews, S. S., Karlen, D. L., and Mitchell, J. P. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. Agriculture, ecosystems & environment, 90(1), 25-45.

Barthès, B., and Roose, E., 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. Catena 47, 133–149.

Chen, Y.D., Wang, H.Y., Zhou, J., Xing, L., Zhu, B.S., Zhao, Y.C., and Chen, X. 2013. Minimum data set for assessing soil quality in farmland of northeast China. Pedosphere, 23(5), 564-576.

Doran, J.W. and Parkin, T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdiceck, D.F., Stewart, B.A. Eds. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment, No. 35. SSSA Special Publication, Madison, WI, pp. 3–21.

Doran, J.W., and Jones, A.J. eds. 1996. Methods of assessing soil quality. Soil Science Society America, Madison, WI, pp. 247-271.

EPA. 2004. Soil and waste pH. Method 9045D. SW-846 Methods. Test methods for evaluating solid waste, physical/chemical method.

FAO. 2015. Boletín del Año Internacional de los Suelos América Latina y el Caribe. Suelos degradados: una amenaza para la Seguridad Alimentaria. Número 1 - Agosto. 9 p.

Hammer, Ø., Harper, D.A.T., and Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica 4 (1): 9 pp

Muscolo, A., Panuccio, M.R., Mallamaci, C., and Siradi, M. 2014. Biological indicators to assess short-term soil quality changes in forest ecosystems. Ecological Indicators 45: 416–423.

Nciizah, A.D., and Wakindiki, I.I.C., 2015. Physical indicators of soil erosion, aggregate stability and erodibility. Arch. Agron. Soil Sci. 61, 827–842

Nesbitt, Johanna E., and Adl, Sina M. 2014. Differences in soil quality indicators between organic and sustainably managed potato fields in Eastern Canada. Ecological Indicators 37. 119–130.

Nimmo J. R. and K.S. Aperkins. 2002. Aggregate stability and size distribution methods of soil analysis. In Dane J H, Topp G C (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. Soil Science Society of America Book Series No. 5. Soil Science of America, Madison. pp. 317–328

Pagliai, M., Marsili, X., P. Servadio, Vignozzi, N., and Pellegrini, S. 2003. Changes in some physical properties of a clay soil in central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power. Soil Till. Res. 73: 119–129

Rezaei, S. A., Gilkes, R. J., and Andrews, S. S. 2006. A minimum data set for assessing soil quality in rangelands. Geoderma,
136(1-2), 229-234.

Sánchez-Navarro, A., Gil-Vázquez, J. M., Delgado-Iniesta, M. J., Marín-Sanleandro, P., Blanco-Bernardeau, A., and Ortiz Silla, R. 2015. Establishing an index and identification of limiting parameters for characterizing soil quality in Mediterranean ecosystems. Catena, 131:35-45.

Shukla, M.K.,Lal, R., and Ebinger, M. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. Soil Tillage Res. 87, 194–204

Unalmed. 2006. Métodos físicos de suelos. Escuela de Geociencias, Facultad de Ciencias. (Consulta en línea): http://www.unalmed.edu.co/~esgeocien/metodologia_fisica.html.

Vallejo-Quintero, Victoria-Eugenia. 2013. Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. Colombia Forestal,16(1),83-99.

Vallejo, V. E., Afanador, L. N., Hernández, M. A., and Parra, D. C. 2018. Efecto de la implementación de diferentes sistemas agrícolas sobre la calidad del suelo en el municipio de Cachipay, Cundinamarca, Colombia. Bioagro, 30(1), 27-38.

Zornoza, R., Acosta, J. A., Bastida, F., Domínguez, S. G., Toledo, D. M., and Faz, A. 2015. Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. Soil, 1(1), 173-185.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

PROPIEDADES FISÍCAS DE CUATRO SUSTRATOS EN FUNCIÓN DE SU GRANULOMETRÍA

Mixquititla-Casbis G.[1], Villegas-Torres O. G.[1*], Andrade-Rodríguez M.[1], Sotelo-Nava H.[1], Juárez-López P.[1], Martínez-Fernández E.[1,2], Domínguez-Patiño M. L.[1,3.]

[1]**Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Cuernavaca, Morelos, México**
[2] **Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Centro de Investigaciones Biológicas. Cuernavaca, Morelos, México**
[3] **Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Centro de Investigaciones Químicas. Cuernavaca, Morelos, México**
*Autor para correspondencia: Oscar Gabriel, Villegas Torres. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad no. 1001, Chamilpa, C.P. 62209, Cuernavaca, Morelos, México. Teléfono: (777) 1806252. Correo electrónico: voscar66@yahoo.com.mx.

Resumen
Las propiedades físicas de los sustratos influyen en el desarrollo en las plantas que en ellos crecen. El objetivo de este trabajo fue: cuantificar las propiedades físicas de cuatro sustratos en función de su granulometría. Los sustratos usados fueron: turba, vermiculita, polvo de coco y composta PROGAU-UAEM y los rangos de granulometría fueron: ≥0.5 – 1.0<; ≥1.0 – 2.0<; ≥2.0 – 3.36<. Se manifestaron diferencias estadísticas significativas en el factor granulometría, el sustrato y en la interacción de ambos, en todas las variables evaluadas. Por lo tanto, se concluye que el tamaño de partícula y la naturaleza de los sustratos determinan sus propiedades físicas. palabras.

Palabras clave: Polvo de coco, turba, vermiculita, composta, granulometría.

Introducción
En la actualidad las tecnologías relacionadas a medios de crecimiento de cultivos se enfocan al desarrollo de sustratos específicos, es decir, que cumplan con ciertas condiciones físicas y químicas; la finalidad es aumentar el desarrollo de la planta, reducir costos en los materiales y el impacto ambiental por el excesivo uso de agroquímicos y fertilizantes (Zamora et al., 2005; Cruz et al., 2010). La turba de musgo (Sphagnum) es uno de los sustratos más utilizados para la producción de plántulas, ya que sus propiedades físicas, químicas y biológicas permiten obtener su óptimo desarrollo, pero a un costo elevado ya que es un material importado y su disponibilidad en el mercado no es regular; por lo cual, se ha mostrado interés en diferentes sustratos que sirven para dar soporte, anclaje y aireación a las plantas; entre los más usados se encuentran: lana de roca, fibra de coco y tezontle. Sin embargo, existen otros materiales locales que podrían usarse como sustitutos de la turba, tanto orgánicos como inorgánicos que por sus propiedades físicas merecen ser evaluados (Sánchez et al., 2004; Fernández [et a]l., 2006; Mundo, 2006; Bracho *et al*., 2009).
Es importante evaluar las características físicas de los sustratos, ya que de éstas depende el éxito del cultivo debido a que el crecimiento y desarrollo de las raíces están determinadas por las condiciones de aireación y el contenido de agua, asimismo, éstos tienen influencia sobre el suministro de nutrientes (García *et al*., 2001). El objetivo de este trabajo fue cuantificar las propiedades físicas de cuatro sustratos en función de su granulometría.

Materiales y Métodos

El experimento se realizó en el laboratorio de docencia de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México. Los componentes de sustratos que se evaluaron fueron: turba Sunshine® (S1, testigo ya que se considera un sustrato óptimo), vermiculita (S2), polvo de coco (S3) y composta PROGAU-UAEM (S4). Los sustratos se secaron al aire, se pesaron 100 g y se pasaron por una serie de tamices de >3.36, 2.00, 1.00, 0.50 y < 0.25 mm durante 20 minutos; posteriormente se cuantificaron las propiedades físicas (para obtener el valor de las variables se utilizaron las formulas descritas por Pire y Pereira 2003): porosidad total (PT, %), porosidad de aireación (PA, %), capacidad de retención de agua (CRA, %), densidad aparente (Da, g/cm^3), densidad de partículas (Dp, g/cm^3) y granulometría (mm). Se utilizaron cinco porómetros, que consiste en cilindros (tubos de PVC) con un volumen de 359.08 cm^3 (Pire y Pereira, 2003; Villegas *et al*., 2017). Se tuvieron cinco repeticiones por cada componente de sustrato y por cada granulometría a evaluar.

Las muestras se colocaron en el porómetro hasta su máxima capacidad y se asentaron después de dejarlo caer un par de veces. Los cilindros se depositaron en un recipiente con agua cuyo nivel alcanzó justo debajo del borde superior para saturar de forma lenta los sustratos, permitiendo a su vez la salida libre del aire por la parte superior; se dejaron en el agua 24 h. Se sujetó un pedazo de tela porosa (liencillo) con una banda de goma para cubrir el extremo expuesto de la muestra. Cada cilindro se colocó de nuevo en agua, sumergiéndolo por completo; luego de 30 minutos se insertaron tapones en cada uno de los orificios del fondo y la muestra fue extraída definitivamente del agua. Posteriormente, se pusieron verticalmente sobre un recipiente, se removieron los tapones y se midió el volumen de agua (Va) que drenó en un período de 10 minutos. Para obtener el peso seco se dejaron en una estufa a 105 °C durante 72h (Drying oven, Modelo: DHG9070A).

Resultados y Discusión

En el Cuadro 1 se presentan los valores de las propiedades físicas de los sustratos en función de las granulometrías.

Granulometría. En cuanto al factor granulometría se encontró que para la variable PT no existe diferencia significativa en las tres granulometrías, sin embargo, para las variables PA, CRA, Da y Dp si se manifestaron diferencias significativas. La G1(≥ 0.5mm – 1.0mm<) es la que presenta los valores más altos en PT, CRA, Da y Dp. Ansorena (1994) menciona que el tamaño óptimo de partículas para sustratos hortícolas esta entre 0.25mm y 2.5mm. Urbina *et al*. (2006) encontraron que se obtienen plántulas de jitomate de mejor calidad con granulometría fina (0.71-1.0mm).

Sustratos. Para el factor sustratos en todas las variables evaluadas se encontraron diferencias estadísticas significativas. El S1(Turba) fue el que obtuvo los valores más altos en PT, PA y CRA. La turba es el componente más utilizado en la formulación de medios de cultivo por sus propiedades físicas que se consideran óptimas (López y Fabal, 2012). Existen otros materiales que presentan también características similares a la turba que en combinación con otros y a partir de las fracciones granulométricas es posible generar un sustrato igual al original (Bures, 1997).

Cuadro 1. Propiedades físicas de cuatros sustratos en función de su granulometría.

Granulometría		PT*	PA	CRA	Da	Dp
G1[+]		72.11a[#]	3.23c	68.87a	0.18a	0.62a
G2		72.24a	15.43b	56.81b	0.16b	0.54b
G3		71.72a	27.51a	44.21c	0.13c	0.46c
DMSH		2.96	2.89	0.95	0.0045	0.020
Sustrato						
S1[&]		77.53a	18.21a	59.32a	0.095c	0.42b
S2		68.44b	10.53c	57.91b	0.13b	0.41b
S3		75.51a	18.38a	57.13b	0.069d	0.29c
S4		66.61b	14.44b	52.17c	0.34a	1.03a
DMSH		3.76	3.67	1.21	0.0057	0.026
Granulometría	Sustrato					
G1	S1	77.05abc	2.32f	74.72a	0.11ef	0.51d
G1	S2	65.14d	3.92f	61.22bc	0.14d	0.41e
G1	S3	79.86a	3.17f	76.69a	0.08gh	0.40ef
G1	S4	66.39d	3.53f	62.85b	0.38a	1.14a
G2	S1	76.86abc	21.22cd	55.64d	0.09g	0.41ef
G2	S2	69.91dc	9.68ef	60.22bc	0.13e	0.42e
G2	S3	75.62abc	15.78de	59.84c	0.07h	0.28g
G2	S4	66.57d	15.02de	51.54e	0.34b	1.042b
G3	S1	78.69ab	31.08ab	47.60f	0.07h	0.35f
G3	S2	70.27adc	17.98cd	52.28e	0.11f	0.39ef
G3	S3	71.05adc	36.19a	34.86h	0.05i	0.21h
G3	S4	66.89d	24.77bc	42.11g	0.29c	0.90c
DMSH		8.42	8.21	2.71	0.0127	0.059
CV		5.38	24.58	2.20	3.66	5.04

*Porosidad Total (PT), Porosidad de aireación (PA), Capacidad de Retención de Agua (CRA), Densidad Aparente (DA), Densidad de Partículas (DP).
+Granulometría G1: ≥ 0.5 – 1.0<; G2: ≥1.0 – 2.0<; G3: ≥2.0 – 3.36<.
&S1:turba, S2: vermiculita; S3: polvo de coco; S4: composta PROGAU-UAEM.
#Medias con letras diferentes para cada variable son estadísticamente diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$).

Interacción (granulometría y sustratos). En cuanto a la interacción también se presentaron diferencias significativas en todas las variables. Es decir que la distribución y tamaño de partículas, en combinación con el origen de los sustratos proporcionan diversas condiciones físicas para el desarrollo de las plantas (Verdock y Demeyer, 2001; Anicua *et al*., 2009). Por lo tanto, para crear un sustrato para plantas se necesita una combinación de diferentes granulometrías y componentes de sustratos, por las propiedades físicas que le proporciona a estás, además de que mejoran el suministro de oxígeno a las raíces (Urbina *et al*. 2006).

Conclusiones

El tamaño de partícula y la naturaleza química determinan las propiedades físicas de los sustratos, por lo cual, debe considerarse su estudio antes de ser utilizados para la producción de cultivos.

Referencias

Ansorena, M.J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Mundi-Prensa. Madrid, España.

Anicua S., R., Gutiérrez C., M., Sánchez G., P., Ortiz S., C., Volke H., V. H., & Rubiños P., J. E. 2009. Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. Agricultura técnica en México, 35(2), 147-156.

Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotecnicas. Madrid, España. 341p

Bracho, J., Pierre, F., & Quiroz, A. I. 2009. Caracterización de componentes de sustratos locales para la producción de plántulas de hortalizas en el estado Lara, Venezuela. Bioagro, 21(2), 117-124.

Cruz C., E., Sandoval Villa, M., Volke H., V., Ordaz C., V., Tirado T., J. L., & Sánchez E., J. 2010. Generación de mezclas de sustratos mediante un programa de optimización utilizando variables físicas y químicas. Terra Latinoamericana, 28(3), 219-229.

Fernández, B.C., Urdaneta, N., Silva, W., Poliszuk, H., &, Marín, M. 2006. Germinación de semillas de tomate (lycopersicon esculentum mill.) Cv. Rio Grande sembrada en bandejas plásticas utilizando distintos sustratos. Revista de la Facultad de agronomía, 23(2), 188-195.

García, O. C., Alcántar, G., Cabrera, R. I., Gavi, F., & Volke, V. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de Epipremnum aureum y Spathiphyllum wallisii cultivadas en maceta. Terra latinoamericana 19(3): 249-258

López, N. L., & Fabal, A. L. 2012. Uso de un sustrato alternativo a la turba para la producción viverística de plantas hortícolas y aromáticas. Recursos rurais: revista oficial do Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvemento Rural (IBADER), (8): 31-37.

Mundo O., J. 2006. El vivero ornamental. Taller de imprenta universitaria UAEM. 461 p.

Pire, R., & Pereira, A. 2003. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. Propuesta metodológica. Bioagro, 15(1): 55-64.

Sánchez R., F.J.; A. Moreno R.; J.L. Puente M. y J. Araiza Ch. 2004. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero. Instituto de Ciencias Agrícolas. En: Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción. Torreón, Coah, México, Octubre 13, 14 y 15 del 2004

Urbina S., E., G. A. Baca C., R. Núñez E., M. T. Colinas L., L. Tijerina Ch. Y J. L. Tirado T. 2006. Cultivo hidropónico de Plántulas de jitomate en zeolita cargada con K+, Ca2+ o Mg2+ y diferentes granulometrías. Agrociencia 40: 419-429.

Villegas T. O. G.; Albavera P.., M H. Sotelo N.; M. Andrade R.; M. L. Domínguez P..; M. G. Martínez R.; M. Aguilar C.; C. Castillo C.; M. Del C. Magadan S. 2017. Sustrato como material de última generación Ed. Omniascience. 67p.

Verdonck, O., & Demeyer, P. 2001. The influence of the particle sizes on the physical properties of growing media. In International Symposium on Growing Media and Hydroponics 644: 99-101.

Zamora M., B. P., Sánchez G., P., Volke H., V. H., Espinosa V., D., & Galvis S., A. 2005. Formulación de mezclas de sustratos mediante programación lineal. Interciencia, 30(6): 69-81.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

LOS SISTEMAS HIDROPÓNICOS CERRADOS EN LA PRODUCCIÓN DE TOMATE

De la Rosa-Rodríguez, R.[1]; Lara-Herrera, A.[2*]; Lozano-Gutiérrez, J.[2]; Avelar-Mejía, J.J.[2]; España-Luna, M.P.[2]; Solís-Sánchez, L.O.[1]; Ortíz-Rodríguez, J.M.[1]

[1]**Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), Zacatecas, Zacatecas, México.**

[2]**Unidad Académica de Agronomía, UAZ, Carretera Zacatecas-Guadalajara, Zacatecas, Zacatecas, México.**

*Autor responsable: alara204@hotmail.com; Calle Jardín Juárez Núm. 147, Col. Centro, Zacatecas, Zac., México. CP 98000; Tel. +52(492)-924-4147

Resumen

Actualmente es posible mantener la seguridad alimentaria gracias a los diversos insumos utilizados en el proceso de producción, sin embargo, no solo es importante buscar la producción de alimentos, también lo es mejorar y desarrollar sistemas productivos que aumenten la rentabilidad para el productor y preserven y mejoren los recursos naturales con los que contamos; sistemas con este nivel de eficiencia son los sistemas hidropónicos cerrados, donde se recircula la solución nutritiva que aporta agua y nutrientes a las plantas permitiendo así un ahorro económico, mayor preservación ambiental y una alternativa a muchos otros sistemas de producción utilizados. El objetivo es dar a conocer bases y principales resultados de los sistemas hidropónicos cerrados, tales como evaluación de producción y calidad entre un sistema hidropónico abierto y uno cerrado; determinar el riesgo que existe por recircular la solución nutritiva en un cultivo de tomate durante ocho meses; qué porcentaje de drenaje es el más productivo en un sistema hidropónico cerrado; así como la influencia de la concentración de calcio en la solución nutritiva sobre la composición química de la planta de tomate. Se analizaron variables en producción y calidad para encontrar como resultado un desempeño significativamente igual entre sistemas cerrados. Con lo cual se puede determinar que los sistemas hidropónicos cerrados son una alternativa de producción sustentable y que prometen ser una técnica cuya aplicación será importantemente creciente a mediano y largo plazo.

Palabras clave: Sistemas cerrados; Recirculación; Rendimiento; Calidad; Sustentable.

Introducción

Existen sistemas de agricultura protegida (invernaderos y malla-sombras) más eficiente en el proceso de producción agrícola, ya que ofrecen a la planta condiciones más favorables para su crecimiento y desarrollo (Alshrouf, 2017). La hidroponía en invernadero permite obtener mayores rendimientos y calidad de frutos por unidad de superficie cultivada, por ello la productividad en ellos es mayor (Putra y Yuliando, 2015; Alshrouf, 2017; Maucieri *et al.*, 2018). Los sistemas hidropónicos se conocen como abiertos cuando el exceso de solución nutritiva (SN) que drena es dirigido al suelo, infiltrándose o en el mejor de los casos se capta para su uso fuera del invernadero

en un cultivo alterno. Los sistemas hidropónicos cerrados en contraste con los abiertos tienen ventajas importantes porque reutilizan la SN después que drena del medio de crecimiento radical; ya que además de permitir un bien ambiental, el sistema hidropónico cerrado tiene mayor retribución económica al productor porque disminuye la cantidad de agua y fertilizantes utilizados durante el proceso de producción (Sánchez-Del Castillo *et al*., 2014; Moreno-Pérez *et al*., 2015; De la Rosa-Rodríguez *et al*., 2018). En los sistemas hidropónicos cerrados es más eficiente el uso del agua y nutrientes que en los sistemas abiertos usados para el crecimiento y desarrollo de un cultivo; sin embargo, un aspecto que limita la reutilización de la SN y a la vez la eficiencia en el uso del agua y de los nutrientes es la acumulación de sales que se puede presentar causando desbalance en la proporción y concentración de la SN provocando deficiencias de algunos nutrientes y por el contrario toxicidades de otros en el cultivo. Por otra parte, el uso de estos sistemas presenta un mayor riesgo de enfermedades (Sánchez-Del Castillo *et al*., 2014a; Tomasi *et al*., 2015; El-Kazzaz y El-Kazzaz, 2017); sin embargo, Ronco y Ruscitti (2015) reportan que con el adecuado manejo fitosanitario se puede minimizar el riesgo de enfermedades y tener un óptimo desarrollo y por consecuencia dar una mayor producción, incluso en un ciclo de hasta ocho meses en un sistema hidropónico cerrado como lo reportan De la Rosa-Rodríguez *et al.* (2017). Debido a la importancia de los sistemas hidropónicos cerrados y de su proyección como sistemas sustentables y productivos el presente trabajo tiene como objetivos dar a conocer una actualización sobre estos sistemas hidropónicos, así como los aportes sobre el tema por parte del equipo de trabajo formado por los autores del presente trabajo. Los trabajos de experimentación realizados tuvieron los siguientes objetivos específicos:

Evaluar la producción y calidad de frutos de tomate entre un sistema hidropónico abierto y uno cerrado. Determinar el riesgo de desarrollo de microorganismos que atacan a la raíz, en cuatro tipos de conducción de la SN con diferente grado de exposición a la intemperie en un sistema hidropónico cerrado con el cultivo de tomate en invernadero. Determinar la relación entre la concentración de calcio en la SN y el desarrollo de la planta, su rendimiento y su calidad. Conocer los efectos en la producción y calidad de frutos con seis porcentajes de drenaje de la SN en un cultivo de tomate. Gracias a estos aportes y a los obtenidos en otros trabajos realizados a nivel mundial es posible generar expectativas sobre los sistemas hidropónicos cerrados en la producción de cultivos, principalmente de hortalizas.

Materiales y Métodos

Se realizó una serie de trabajos experimentales que se llevaron a cabo en los invernaderos de la Unidad Académica de Agronomía de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Todos los trabajos se realizaron en sistemas hidropónicos, algunos en sustrato, o en solución. Cada experimento estuvo constituido por tratamientos mediante los cuales se analizaron variables de producción de tomate: Se midió en planta longitud y diámetro de tallo; rendimiento (en kilogramos por metro cuadrado); Número de frutos, contando los frutos cosechados por planta; tamaño de frutos, midiendo los diámetros ecuatorial y polar de los frutos; y peso de frutos al ser cosechados. La medición de estas últimas dos variables (tamaño y peso) permitió clasificar los frutos con la siguiente escala: 1ra (>130 g), 2da (100-130 g), 3ra (60-100 g) y 4ta (<60 g); así como variables de calidad con excepción del experimento dos, para estas variables se seleccionaron cinco frutos con el mismo índice madurez, de ellos se extrajo el jugo y se midieron en él: conductividad eléctrica, pH, acidez

titulable, sólidos solubles, e índice de madurez por medio de la relación entre las dos últimas variables mencionadas; también se determinó la pérdida de peso de los frutos. Se establecieron los experimentos en un diseño experimental adecuado para cada caso, a la vez, las variables evaluadas fueron sometidas a un análisis estadístico mediante el cual se garantizó la veracidad de la información generada.

Experimento 1: Se evaluó el sistema hidropónico abierto versus el cerrado, como sustrato se usó perlita y el cultivo fue tomate tipo saladette. Cada sistema hidropónico establecido fue considerado como tratamiento, constó de cuatro repeticiones. La unidad experimental se constituyó por 65 macetas con 130 plantas que se desarrollaron en sustrato desinfectado y reutilizado de tres ciclos (uno con pepino y dos con tomate). La SN drenada en ambos sistemas fue captada y restaurada, en el sistema cerrado se reinyectó al sistema de riego de las plantas, mientras que en el sistema abierto se utilizó en un cultivo alterno para aprovecharla y no contaminar el suelo.

Experimento 2: Con base en los resultados del Experimento 1, un sistema cerrado produce rendimiento y calidad estadísticamente iguales que un sistema abierto, por lo cual se investigó sobre la fitosanidad de los sistemas hidropónicos cerrados ya que de acuerdo con la literatura, su uso es limitado por la presencia de enfermedades que puede presentarse al recircular la SN y por ello en este experimento se estableció un sistema hidropónico cerrado para evaluar la presencia de agentes fitopatógenos a nivel de raíz (sustrato y SN) del cultivo de tomate. Se ensayaron cuatro niveles de exposición a las condiciones de ambiente dentro del invernadero de la SN que drenó del sustrato hasta un reservorio de donde se re-uso. Se obtuvieron muestras de SN de cada tratamiento y repetición a los 124, 138, 152, 166 y 180 días después del trasplante, a la vez, en cada muestra se tomaron cinco submuestras, y se sembraron en medio de cultivo. La identificación de los microorganismos se realizó mediante claves especializadas (Waterhouse, 1968).

Experimento 3: En los sistemas hidropónicos es necesario tener una buena magnitud de la SN drenada, ya que este parámetro refleja el abastecimiento de agua y nutrientes a la planta, para obtener más información al respecto se determinó el efecto que tiene la proporción de drenaje de la SN sobre el rendimiento y la calidad de los frutos de tomate, así como la eficiencia en el uso del agua. Se ensayaron seis tratamientos (porcentajes de SN drenada), resultantes de usar la combinación de dos flujos de goteros (2 y 4 L h^{-1}) y tres duraciones de los tiempos de riego (1, 2 y 3 minutos por riego), los porcentajes de drenaje resultantes fueron: 25, 30, 40, 45, 50 y 60%.

Experimento 4: Uno de los nutrientes que tiene gran influencia en el rendimiento de un cultivo bajo sistemas hidropónicos es el calcio, por esta razón en este experimento fue establecido un cultivo de tomate en sustrato tezontle con seis concentraciones de calcio en la SN, cada una fue considerada como tratamiento y cada tratamiento se repitió cuatro veces. Se establecieron los tratamientos con base en la solución de Steiner, en la que se establecieron las concentraciones de calcio: 2.25, 4.50, 6.75, 9.00, 11.25 y 13.50 meq L^{-1}. La SN fue remplazada cada semana y diariamente se rellenaba su nivel a 12 L con agua.

Resultados y Discusión

Experimento 1. El rendimiento, número y peso de frutos de tomate no fueron diferentes entre los sistemas hidropónicos. Sólo el diámetro ecuatorial del fruto fue diferente entre los sistemas hidropónicos. Gracias a lo mencionado anteriormente (tamaño y peso de frutos) se determinó que los frutos que predominaron fueron de la categoría 3. En calidad, la conductividad eléctrica presentó

valores que fueron de 5.30 (sistema abierto) hasta 6.32 (sistema cerrado) pero sin diferencia significativa; el pH, acidez titulable y sólidos solubles totales no presentaron diferencia significativa, tampoco entre índices de madurez ni etapas de producción. El parámetro índice de madurez se vio afectado directamente por la variable sólidos solubles totales (debido a sus valores altos), sin embargo, no hubo diferencia significativa entre tratamientos, los valores obtenidos variaron entre 16.2 y 34.6.

Experimento 2. La frecuencia de presencia de microorganismos totales en cinco muestreos de SN fue prácticamente nula, menores a 0.19 presencias en todas las muestras analizadas, dentro de ellos se detectó a Aspergillus y Actinomicetos, hongos que sólo se identificaron al nivel de género debido a que no son considerados fitopatógenos. Además, no hubo diferencias estadísticas entre los métodos de conducción de la SN por efecto de la frecuencia de presencia de microorganismos totales presentes en la SN. En el presente experimento la presencia de microorganismos fitopatógenos fue nula, esto fue debido a que se dio un manejo adecuado al cultivo evitándose condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades (Stewart-Wade, 2011). El rendimiento medio de frutos de tomate obtenido fue de 25.33 kg m^{-2}, no se presentaron diferencias por efecto de los tratamientos. Las categorías de primera y segunda calidad presentaron mayor porcentaje en rendimiento, entre 85 y 88%, sólo en los frutos de la tercera categoría el tratamiento descubierto tuvo mayor porcentaje de frutos que el entubado.

Experimento 3. Las variables de longitud y diámetro de tallo del tomate no fueron diferentes. El rendimiento fue mayor en los porcentajes de drenaje de 40 y 45 % con respecto a los demás. La razón de no haber diferencias se debe probablemente a que el número de frutos está fuertemente influenciado por algunas características morfológicas de las plantas, entre ellas el tipo de inflorescencia y el número de flores por racimo (Rivas *et al*., 2012). El tamaño de frutos fue mayor en los porcentajes de 40 y 45% respecto a los demás. El peso de los frutos se relacionó fuertemente con el tamaño, a mayor tamaño mayor peso, por esta razón el peso de los frutos también fue mayor en los tratamientos con 40 y 45% respecto a los demás, estos porcentajes presentaron un peso medio de fruto superior en 23% respecto al tratamiento con el menor porcentaje de drenaje.

Experimento 4. No hubo diferencias en: rendimiento, peso seco de raíz, tallo, hojas, número y peso de frutos; tampoco para variables de calidad de fruto de tomate. El peso de frutos concuerda con lo reportado por Parra-Terraza *et al*. (2008), sin embargo, ellos obtuvieron alto número de frutos con una concentración de calcio de 4.5 meq L^{-1} pero este resultado difirió con nuestro experimento por el potencial osmótico manejado diferente al de ellos. Desde un punto de vista económico puede utilizarse una concentración de calcio de 4.5 meq L^{-1} de manera favorable, pero es importante tomar en cuenta la temperatura y humedad relativa y en la SN aplicada al cultivo el pH, conductividad eléctrica, así como algunos cationes como potasio, calcio, amonio, sodio.

Conclusiones

No existe diferencia en rendimiento y calidad de frutos de tomate entre un sistema hidropónico cerrado y uno abierto.

En un ciclo prolongado, recirculando la SN sin ningún método de desinfección sólo con su manejo adecuado, no hay riesgo de presencia de enfermedades que ataquen la raíz del cultivo.

Con la concentración de calcio en la SN de 4.5 meq L^{-1}, no se afecta el rendimiento ni la calidad de frutos de tomate, teniendo un buen manejo agronómico y control del clima dentro del invernadero.

Con porcentajes de drenaje entre 40 y 45% se obtiene el mayor rendimiento del cultivo de tomate; con porcentaje entre 25 y 30% se incrementan conductividad eléctrica y solidos solubles en fruto.

Los sistemas hidropónicos cerrados prometen ser una de las técnicas alternativas más utilizadas a mediano y largo plazo por la cantidad de beneficios que ofrece en el proceso de producción. Debido a que con su empleo se incrementa la eficiencia en el uso del agua y los fertilizantes en el proceso de producción de alimentos, particularmente hortalizas.

Referencias

Alshrouf, A. 2017. Hydroponics, aeroponic and aquaponic as compared with conventional farming. American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences. 27: 247-255.

El-Kazzaz, K.A., and A.A. El-Kazzaz. 2017. Soilless agriculture a new and advanced method for agriculture development: an introduction. Agriculture Research and Technology: Open Access Journal. 3: 1-10.

De la Rosa-Rodríguez, R., J.J. Avelar-Mejía, A. Lara-Herrera, J. Lozano-Gutiérrez, J. Estrada-Casillas y R. Castañeda-Miranda. 2017. Agentes fitopatógenos en la solución nutritiva para el cultivo de jitomate en un sistema hidropónico cerrado. Interciencia. 42: 236-240.

De la Rosa-Rodríguez, R., A. Lara-Herrera, L.E. Padilla-Bernal, J.J. Avelar-Mejía y M.P. España-Luna. 2018. Proporción de drenaje de la solución nutritiva en el rendimiento y calidad de tomate en hidroponía. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 20: 4343-4353.

Maucieri, C., C. Nicoletto, R. Junge, Z. Schmautz, P. Sambo, and M. Borin. 2018. Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review. Italian Journal of Agronomy. 13: 1-11.

Moreno-Pérez, E.C., F. Sánchez-Del Castillo, J. Gutiérrez-Tlaque, L. González-Molina, and J. Pineda-Pineda. 2015. Greenhouse lettuce production with and without nutrient solution recycling. Revista Chapingo Serie Horticultura, 21: 43-55.

Parra-Terraza, S., M. Villarreal-Romero, P. Sánchez-Peña, J.L. Corrales-Madrid y S. Hernández-Verdugo. 2008. Efecto del calcio y potencial osmótico de la solución nutritiva en la pudrición apical, composición mineral y rendimiento de tomate. Interciencia. 33(6): 449-456.

Putra, P.A., and H. Yuliando. 2015. Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: a review. Agriculture and Agricultural Science Procedia. 3: 283-288.

Rivas, M.P., M. Albarracín, H. Moratinos y F.Z. Navas. 2012. Rendimiento y calidad de fruto en cuatro cultivares de tomate (Solanum lycopersicum L.) bajo condiciones protegidas. Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía. 29(3): 395-412.

Sánchez-Del Castillo, F., E.C. Moreno-Pérez, J. Pineda-Pineda, J.M. Osuna, J.E. Rodríguez-Pérez y T. Osuna-Encino. 2014. Producción hidropónica de jitomate (Solanum licopersicum L.) con y sin recirculación de la solución nutritiva. Agrociencia. 48: 185-197.

Tomasi, N., R. Pinton, L. Dalla Costa, G. Cortella, R. Terzano, T. Mimmo, and S. Cesco. 2015. New 'solutions' for floating cultivation system of ready-to-eat salad: a review. Trends in Food Science & Technology. 46(2): 267-276.

Ronco, L. y M. Ruscitti. 2015. Enfermedades en cultivos hidropónicos. In: Cultivo en Hidroponia. J. Beltrano y D. O. Jimenez (eds.). Universidad de la Plata. Buenos Aires, Argentina. pp: 129-139.

Stewart-Wade, S.M. 2011. Plant pathogens in recycled irrigation water in commercial plant nurseries and greenhouses: their detection and management. Irrigation Science. 29: 267-297.

Waterhouse, G.M. 1968. Key to Pythium Pringsheim. pp: 1-15. 1a ed. Mycol Papers. Nueva York, EEUU.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EL RENDIMIENTO DE *Opuntia ficus-indica* L. (Miller) VARIEDAD 'ROJO PELÓN' DEPENDE DE LA PROPORCIÓN Mg/P EN CLADODIOS DE FRUCTIFICACIÓN

Hernández-Vidal, E.[1*]; Valdez-Cepeda, R.D.[2]; Gonzales-Torres, A.[1]; Veliz-Deras F.G.[1]; Blanco-Macías, F.[2].

[1] Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila, México.
[2] Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro Norte. Zacatecas, Zac., México.

*Autor responsable: Hernández-Vidal, E. * evelynvidal.me@gmail.com; División de Estudios de Posgrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fe S/N, Torreón, Coahuila, México. C.P. 27054, Tel (871) 729-76-76.

Resumen
Los elementos magnesio (Mg) y fósforo (P) son de gran importancia en el desarrollo de las plantas porque intervienen en procesos metabólicos, enzimáticos y de transporte de energía. La proporción Mg/P puede ser usada para determinar si la disponibilidad de Mg y P influye sobre el rendimiento de las plantas. El objetivo del presente trabajo de investigación fue definir si el rendimiento de *Opuntia ficus-indica* L. (Miller) variedad 'Rojo Pelón' depende de la proporción Mg/P estimada en cladodios de fructificación de un año de edad. Los datos de concentración de Mg y P analizados presentaron una distribución normal; ello permitió generar diagramas de dispersión bivariados, incluyendo el de la proporción Mg/P como variable independiente y rendimiento de fruto por cladodio como variable dependiente. Los resultados indican que el rendimiento en *O. ficus-indica* variedad 'Rojo Pelón' puede maximizarse si la proporción Mg/P es 5.03.

Palabras clave
Nutrimentos; Rendimiento; Curva límite.

Introducción
El magnesio (Mg) es uno de los nutrimentos esenciales para el crecimiento y productividad de las plantas. El Mg es el catión más abundante en el citosol de las células de las plantas y elemento importante en procesos fisiológicos (Li *et al.*, 2001). El Mg es esencial para la función de enzimas, incluidas las adenosin trifosfatasas (ATPasas), ARN polimerasas, fosfatasas, proteínas quinasas, glutatión sintasa y carboxilasas (Shaul, 2002). Por otra parte, el fósforo (P) forma parte de los ácidos nucleicos y participa en la síntesis de proteínas como constituyentes del ATP y muchas enzimas (NAD, FAD) interviniendo en todos los procesos metabólicos de transporte de energía.
Las proporciones de moléculas de diferente tipo necesarias para generar productos pueden ser analizadas desde el enfoque de la estequiometría (Sterner, 2009). La estequiometría en las plantas tiene relación con la ley del mínimo de Liebig. Esta ley indica la importancia de las proporciones entre los elementos para inducir el crecimiento óptimo de las plantas (Agren, 2008). Entonces, la estequiometría en los tejidos y órganos es transcendental en las estructuras y sus funciones en los vegetales (Sardans *et al.*, 2012). Sin embargo, la relación posible entre la proporción Mg/P y el rendimiento es desconocida para especies como *O. ficus-indica* variedad 'Rojo Pelón'. Por lo tanto,

el objetivo del estudio fue identificar si el rendimiento del fruto por cladodio de *O. ficus-indica* variedad 'Rojo Pelón' depende de la proporción Mg/P.

Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio

Una huerta fue establecida en el campo experimental del 'Centro Regional Universitario Centro Norte' de la 'Universidad Autónoma Chapingo', cuyas coordenadas son 22° 44' 49.6'' latitud Norte, 102° 46' 28.2'' longitud Oeste. La altitud es 2 296 msnm y se localiza cerca de la Ciudad de Zacatecas, México. El clima que caracteriza a la región es clasificado como BS1kw(w), el cual corresponde al menos seco de los del tipo estepario seco, con una temperatura media anual que varía entre 12 y 18 °C y una precipitación media anual de 472 mm. La mayor parte de la precipitación (65 %) ocurre de junio a agosto.

Manejo de la huerta

La huerta se estableció en junio de 2006 con el propósito de propagar la especie *O. ficus-indica* variedad 'Rojo Pelón'. Veinte cladodios madre fueron utilizados para establecer la huerta. Los 20 árboles considerados tenían estructura en forma de vaso. Desde el establecimiento hasta el desprendimiento de los cladodios experimentales en el primer año de cosecha (2012), la práctica de poda en los árboles no se realizó. Las malezas fueron removidas a finales de primavera y verano de cada año de manera manual. La fertilización, irrigación y otras prácticas agronómicas no se realizaron.

Muestreo de cladodios y frutos

El muestreo de cladodios y frutos se realizó durante los primeros días del mes de agosto desde 2012 hasta 2014. Los cladodios se han seleccionado de la parte superior de las plantas para asegurar que tengan un año de edad. Cladodios con 1 a 15 frutos fueron considerados, tomando cuatro cladodios que soportaran cada uno de esos números de frutos, 1 cladodio de cada parte de la planta (norte, sur, este y oeste; ver Figura 1) asociado a cada número de frutos, así como que la mayoría de los frutos mostraran cambio de color en su cáscara. El número y el peso de los frutos de cada cladodio fueron registrados. La Figura 1 representa el esquema de distribución de las plantas de nopal y síntesis de la estrategia de muestreo de cladodios y sus frutos.

Manejo de muestra y determinación de nutrimentos

Los cladodios cosechados de los árboles se limpiaron con agua destilada e inmediatamente fueron pesados; después se cortaron en rebanadas y se deshidrataron hasta peso seco constante en estufa a 75 °C durante 36 horas; luego, sus pesos se registraron. Las muestras de cladodios deshidratados se trituraron y se usaron para determinar las concentraciones de los nutrimentos. La concentración de Mg se estimó después del proceso de digestión ácida de las muestras con un espectrofotómetro de absorción atómica (UNICAM Solar modelo 9626). El contenido de P se determinó por fotocolorimetría con amarillo vanadato molibdato usando un fotoespectrómetro óptico (Termo Spectronic, modelo Helios Epsilon, USA).

Análisis estadístico

Ciento sesenta y siete cladodios terminales de fructificación (59 en 2012, 52 en 2013, 56 en 2014) y sus 1258 frutos (474, 364 y 420 en 2012, 2013 y 2014, respectivamente) de *O. ficus–indica* variedad 'Rojo Pelón' fueron considerados en este estudio. Los datos de rendimiento de fruto por cladodio de tres años (obtenidos al pesar todos los frutos de cada cladodio), así como de las concentraciones de Mg y P fueron capturados en una hoja de cálculo con el programa Microsoft Office Excel. La base de datos fue usada para elaborar diagramas de dispersión por pares de

variables: Mg *versus* rendimiento de fruto por cladodio, P *versus* rendimiento de fruto por cladodio, así como la proporción Mg/P *versus* rendimiento de fruto por cladodio.

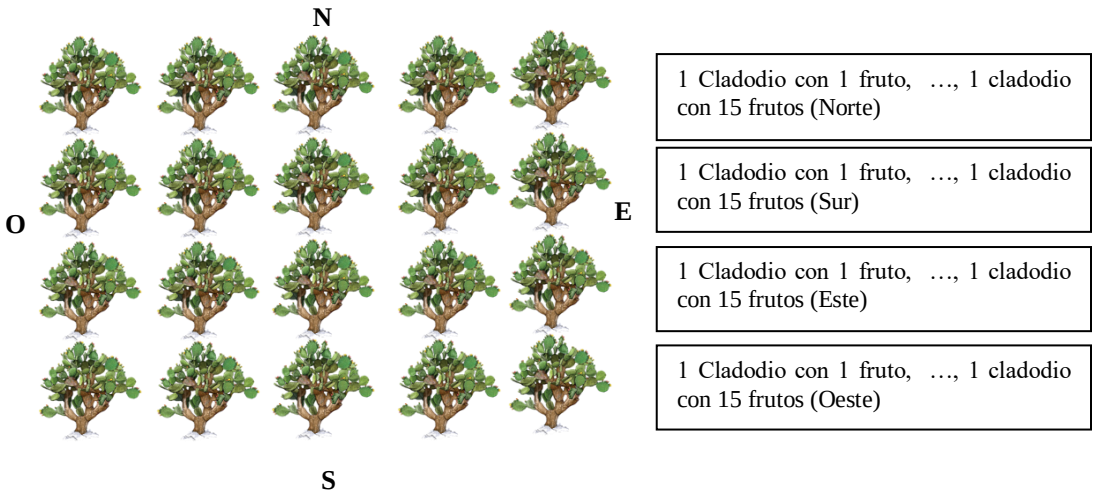


Figura 1. Esquema de distribución de las plantas de nopal y síntesis de la estrategia de muestreo de cladodios y sus frutos.

La curva límite o envolvente fue usada para estimar los valores óptimo de Mg/P y máximo de rendimiento de fruto por cladodio. En ese contexto, la variable Mg/P se dividió en 7 clases; los valores de rendimiento mayor y los correspondientes de Mg/P de cada clase fueron involucrados para estimar los parámetros de la función curva límite, como lo indican Webb (1972), Blanco-Macías et al. (2010) y Valdez-Cepeda et al. (2014).

Resultados y Discusión

Los datos de concentración de Mg y P analizados presentaron una distribución normal y sus estimadores, así como los de rendimiento de fruto se muestran en el Cuadro 1. Las concentraciones medias fueron Mg=1.35% y P=0.27%. Previamente, Blanco-Macías et al. (2010) consignaron concentraciones medias de Mg=1.55% y P=0.34% en cladodios de *O. ficus-indica* con fines de producción de biomasa. Las diferencias pueden deberse a que las variedades y propósitos de producción no fueron los mismos.

La información permitió generar diagramas bivariados de dispersión considerando las proporciones Mg/P como variable independiente y rendimiento de fruto por cladodio como variable dependiente. El rendimiento de fruto por cladodio dependió de la proporción Mg/P en cladodios de fructificación de un año de edad de manera clara (Figura 1). La mayoría de los puntos se agruparon en la parte inferior central del diagrama de dispersión.

Los rendimientos grandes son raros en las diferentes clases de Mg/P. No obstante, los datos de valor mayor de rendimiento y el valor correspondiente de la proporción Mg/P en cada clase (Cuadro 2) permitieron estimar una función cuadrática como curva límite con buen ajuste (R^2=0.86). El rendimiento máximo estimado (1684.8 g) se asocia a una proporción óptima Mg/P=5.03.

Cuadro 1. Estimadores estadísticos de las concentraciones de Magnesio (Mg), Fósforo (P), la proporción Mg/P y rendimiento por cladodio de fructificación en *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller variedad 'Rojo Pelón (n=167).

Estimador	Mg (%)	P (%)	Mg/P	Rendimiento (peso de frutos) por Cladodio (g)
Media	1.355	0.271	5.146	703.55
Valor Mínimo	0.594	0.136	2.233	72.00
Valor Máximo	2.310	0.430	8.867	1780.00
Desviación Estándar	0.322	0.062	1.256	388.27
Coeficiente de Variación	23.770	22.890	24.410	55.187

Cuadro 2. Datos para estimar la función cuadrática considerando a la proporción Mg/P como variable independiente y al rendimiento de fruto por cladodio como variable dependiente para *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller variedad 'Rojo Pelón'.

Clase de Mg/P	Intervalo de Mg/P	Mg/P	Rendimiento (fruto) por cladodio (g)
1	2.0 – 3.0	2.395	1182
2	3.0 – 4.0	3.944	1250
3	4.0 – 5.0	4.926	1780
4	5.0 – 6.0	5.459	1643
5	6.0 – 7.0	6.571	1747
6	7.0 – 8.0	7.431	1037
7	8.0 – 9.0	8.867	308

La proporción Mg/P puede ser importante cuando las concentraciones de Mg o P están en niveles críticos de deficiencia o toxicidad (i.e. las concentraciones que corresponden al 90% del crecimiento o rendimiento máximo). Por consiguiente, la proporción óptima Mg/P puede ser tan importante como las concentraciones absolutas de ambos nutrimentos. Entonces, la proporción Mg/P~5.03 puede ser adecuada para la producción de frutos en *O. ficus-indica* variedad 'Rojo Pelón'. Valores de la proporción Mg/P y su relación con el rendimiento no fueron encontrados en literatura científica sobre *O. ficus-indica*. No obstante, nosotros recomendamos el uso de la información generada con el propósito de identificar deficiencias, suficiencias y excesos de Mg y P en cladodios de fructificación en *O. ficus-indica* variedad 'Rojo Pelón' con fines de producción de fruto.

Conclusión

Los resultados indican que la proporción Mg/P=5.03 puede maximizar el rendimiento de fruto en *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller variedad 'Rojo Pelón'.

Agradecimientos

Al Instituto de Horticultura y la Dirección de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo por el financiamiento del proyecto del que se derivó éste informe. E. H.-V. agradece al CoNaCyT por la beca otrorgada para realizar sus estudios de Doctorado en Ciencias en la UAAAN-UL. Al Dr. Alejandro Moreno Renséndez por sus sugerencias para mejorar el documento.

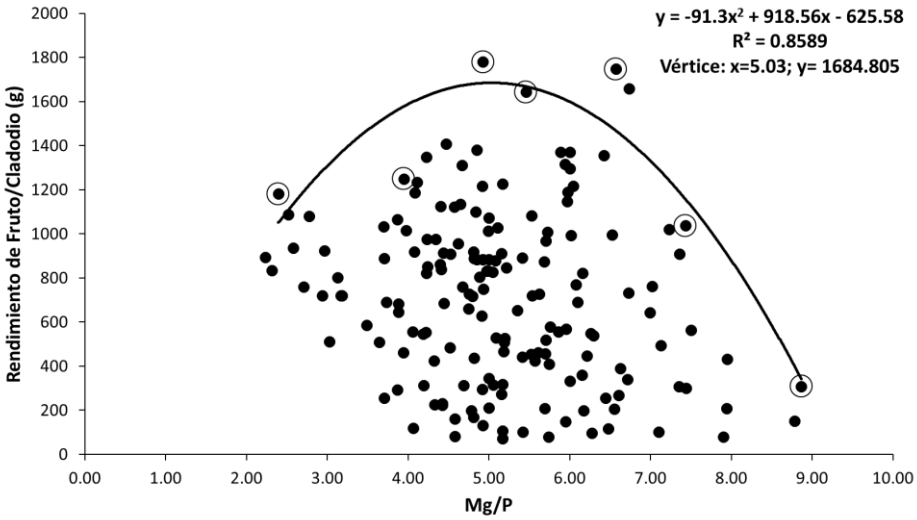


Figura 2. Distribución bivariada y función cuadrática como curva límite para definir valores óptimos de la proporción Mg/P en cladodios de frucificación y máximo de rendimiento de fruto por cladodio) en *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller variedad 'Rojo Pelón'. •, observaciones experimentales; ○, observaciones usadas para estimar la función cuadrática.

Referencias

Agren, I.G. 2008. Stoichiometry and nutrition of plant growth in natural communities. Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. 39: 153-70.

Blanco-Macías, F., Magallanes-Quintanar, R., Valdez-Cepeda, R.D., Vázquez-Alvarado, R., Olivares-Sáenz, E., Gutiérrez-Ornelas, E., Vidales-Contreras, J.A., Murillo-Amador, B. 2010. Nutritional reference values for *Opuntia ficus-indica* determined by means of the boundary line approach. J. Plant Nutr. Soil Sci. 173: 927-934.

Li, L., Tutone, A.F., Drummond, R.S.M., Gardner, R.C., Luan, S. 2001. A novel family of magnesium transport genes in Arabidopsis. Plant Cell 13: 2761-2775.

Sardans, J., Rivas-Ubach, A., Peñuelas, J. 2012. The elemental stoichiometry of aquatic and terrestrial ecosystems and its relationships with organism life style and ecosystem structure and function: a review. Biogeochemistry 111: 1-39.

Shaul, O. 2002. Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. Biometals 15, 309-323.

Sterner, R.W. 2009. Nutrient Stoichiometry in Aquatic Ecosystems. University of Minnesota, St. Paul, MN, USA. pp. 820-831.

Valdez-Cepeda, R.D., Méndez-Gallegos, S. J., Magallanes-Quintanar, R., Ojeda-Barrios, D.L., Blanco-Macías, F. 2014. El rendimiento de fruto por cladodio depende de sus atributos físicos en *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller variedad 'Rojo Pelón'. Revista Chapingo Serie Horticultura 20(2): 131-146.

Webb, R.A. 1972. Use of the boundary-line in the analysis of biological data. J. Hort. Sci. 47: 309-319.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

ADAPTABILIDAD PRODUCTIVA DEL CULTIVO DE AMARANTO EN CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO

Granados-Mayorga, A.K.[1]; Mercado-Mancera, G.[1]; Álvarez-Orozco, R.[2]; González-Valladares, A.I.[3]

[1]**Departamento de Ciencias Agrícolas, FES-C, UNAM. Cuautitlán Izcalli, México.**
[2]**Licenciatura de Ingeniería Agrícola. FES-C, UNAM. Cuautitlán Izcalli, México.**
[3]**LombriMX. Zumpango, México.**

*Autor responsable: karengranadosmay@gmail.com; Carretera Cuautitlán-Teoloyucan Km. 2.5, San Sebastián Xhala, C.P. 54714 Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

Resumen

A pesar de que el amaranto es una planta cultivada, domesticada y utilizada en México desde hace más de 4,000 años (Casas *et al*., 2001) no se ha aprovechado como tal en todo su potencial, por lo que en el presente estudio se evaluó la adaptabilidad productiva del amaranto en Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx.; con el fin de impulsar la siembra de este cultivo en la región. Para esto se estableció el amaranto en una parcela de la FES-Cuautitlán, en el ciclo P-V 2016; en un diseño en bloques completamente al azar, los tratamientos aplicados fueron los diferentes fertilizantes orgánicos: a) Lixiviados de lombricomposta, b) Biofertilizante y c) Testigo sin aplicación. En donde se evaluaron las variables climáticas de la zona y los componentes de rendimiento tales como: longitud de panoja, peso de grano por panoja y rendimiento total. El análisis de varianza indicó que no hubo diferencia estadística significativa entre los tratamientos, por lo que la fertilización orgánica es una alternativa a este sistema de producción, ya que cualquiera de las fuentes aplicadas genera la aportación de nutrimentos a la planta, al mismo tiempo que brindan beneficios al ambiente y disminuyen los costos de producción.

Palabras clave: Amaranto; Adaptabilidad; fertilización orgánica.

Introducción

México tiene características ecológicas, climáticas, culturales y sociales que permiten practicar una agricultura muy diversificada; por lo que es de vital importancia emprender la producción de cultivos que no se siembran a gran escala, como es el caso del amaranto. Este cultivo no se ha aprovechado como tal en todo su potencial, considerándose un tesoro de la naturaleza olvidado por la sociedad, a diferencia de cultivos como el maíz y la soya (García, 2004).

La importancia de este cultivo radica en su alto valor nutritivo, tanto en cantidad como en calidad de proteína, al superar cereales de uso común como el trigo (*Triticum aestivum*), el arroz (*Oryza sativa*), la avena (*Avena sativa*) y el maíz (*Zea mays*) (Morales *et al*., 2009).

En México la producción de amaranto se concentra en la zona centro, los principales estados

productores del grano son: Puebla, Estado de México, Morelos, Tlaxcala y Distrito Federal, los cuales en conjunto aportan más del 90 % del total nacional, el otro porciento lo cubren los estados de Oaxaca, Hidalgo y San Luis Potosí con menor superficie sembrada (SIAP, 2016).

El Estado de México presenta condiciones favorables para la siembra del cultivo de amaranto, concentrándose en 10 municipios, principalmente Juchitepec, Ozumba y Tepetlixpa, condiciones muy parecidas a las que se presentan en el municipio de Cuautitlán Izcalli.

Asimismo, es de vital importancia, incorporar técnicas en los sistemas de producción que mantengan y mejoren la salud de los suelos, los ecosistemas y las personas, con métodos basados fundamentalmente en los procesos ecológicos, la biodiversidad y los ciclos adaptados a las condiciones locales, sin usar insumos que tengan efectos adversos (International Federation of Organic Agriculture Movements, 2014).

Por lo anterior, en el presente trabajo se evaluó la adaptabilidad productiva del amaranto en Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx.; con el fin de impulsar la siembra de este cultivo en la región, así como su respuesta a diferentes fuentes orgánicas de fertilización.

Materiales y Métodos

El proyecto se desarrolló en las instalaciones de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM (FES-C), entre las coordenadas geográficas 99° 11´42´´ longitud Oeste y 19° 41´35´´ latitud norte a 2,256 msnm; en la parcela 14 del Centro de Enseñanza Agropecuaria durante el ciclo primavera-verano (P-V) 2016. El clima característico de la región es templado subhúmedo, el más seco de los subhúmedos, con lluvias de verano, una temperatura promedio de 15.2 °C; una precipitación promedio de 637.6 mm y la presencia de heladas principalmente en invierno (Rodríguez, 2014).

Los suelos en general se clasifican como Vertisol, el suelo es de color gris, pH de 7.0 (Fonseca *et al*., 2013). El contenido de materia orgánica varía entre 2 y 4 % en función del manejo que se ha realizado en la parcela.

Se empleo material genético criollo de amaranto, proveniente del estado de Tlaxcala, el cual fue sembrado de forma manual el 10 de junio y cosechado de forma manual el 16 de noviembre de 2016, por lo que fue un cultivo meramente de temporal.

La distribución de los tratamientos se llevó a cabo en un diseño experimental completamente al azar, con tres tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron:

a) Lixiviado de lombricomposta, a una dosis de 260 l ha^{-1}, en dos aplicaciones: la primera a los 44 días y la segunda a los 80 días, después de la emergencia. Estas aplicaciones fueron en forma foliar y el producto inicial fue diluido a razón de 1:5 en agua.

b) Biofertilizante, Se empleó 3.0 kg ha^{-1} de Micorrizafer (*Glomus intraradice*) y 0.4 kg ha^{-1} de Azofer (*Azospirillum brasilense*) en 400 l de agua ha^{-1}. Se aplicó al suelo directamente a la base del cultivo, previo a la escarda.

c) Testigo sin aplicación, no se aplicó ninguna fuente nutrimental.

Variables evaluadas

- **Clima:** Se registraron los datos climáticos a nivel diario durante el ciclo del cultivo, de las tendencias de temperatura, precipitación.

- **Componentes de rendimiento:** Al momento de la cosecha, se determinó la longitud de panoja, el peso de grano por panoja. Y el rendimiento total se consideró el dato de dos surcos centrales en cada UE y posteriormente se extrapoló a t ha^{-1}.

Con los datos obtenidos se realizó el análisis de varianza (ANDEVA), para cada variable. Asimismo, se compararon los valores medios y se determinó el valor de P a α=0.05.

Resultados y Discusión

Clima
Se registraron las tendencias de las variables climáticas como fueron: temperatura (máxima, media y mínima), precipitación.

Las tendencias de temperatura durante el verano se encontraron dentro de los parámetros óptimos para el cultivo de amaranto (media de 17.7 °C) (Figura 1), en el cual la temperatura mínima y media fue mayor de 8.0 °C, rango que Ramírez *et al.* (2011), mencionan que podría diezmar el desarrollo del cultivo por la baja temperatura.

Respecto a la precipitación (Pp) acumulada durante el periodo de desarrollo del cultivo fue de 582.6 mm (Figura 2), volumen que favoreció el crecimiento y desarrollo del cultivo, al ser un valor óptimo para satisfacer las necesidades hídricas del amaranto. A pesar de que en el mes de agosto existió una disminución de la Pp, no perjudicó el desarrollo del amaranto, ya que es un cultivo que es tolerante al déficit hídrico y el calor.

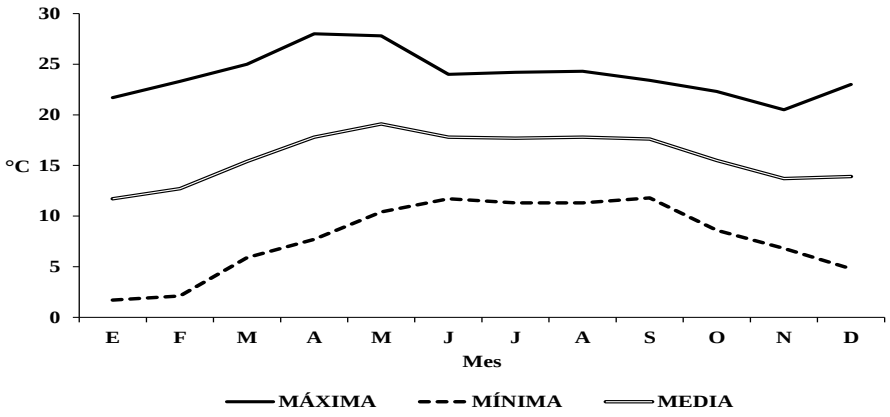


Figura 1. Tendencia de la temperatura promedio mensual en el año de 2016. Cuautitlán Izcalli, México.

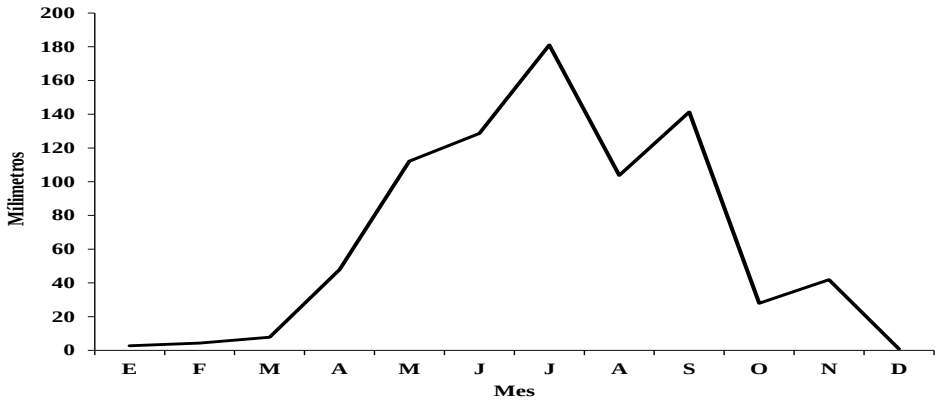


Figura 2. Tendencia de la precipitación mensual en el año de 2016. Cuautitlán Izcalli, México.

Componentes de rendimiento

Longitud de panoja: Con la aplicación de Bioferilizante se obtuvo la longitud de panoja más alta, con 7.6 % más que el testigo y 7.4 % más respecto a los lixiviados (Figura 3). Sin embargo, el análisis estadístico indicó que no existió diferencia estadística significativa en esta variable.

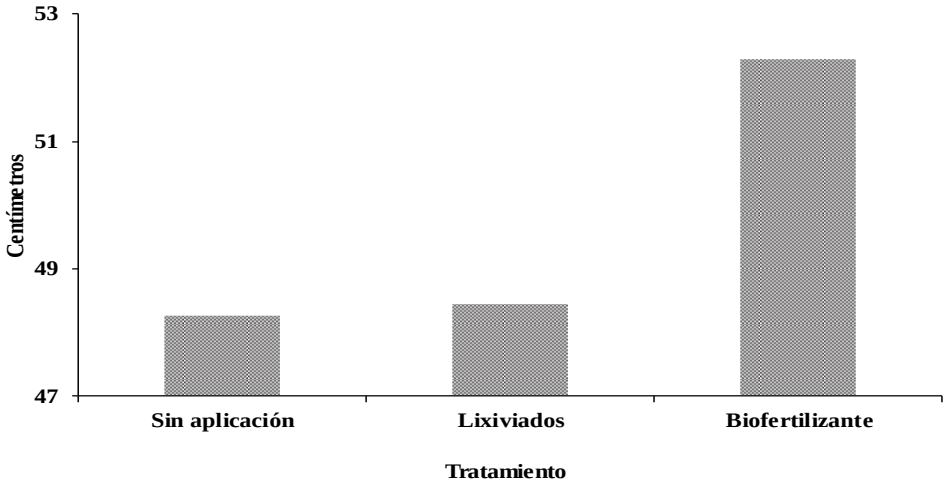


Figura 3. Longitud de panoja de amaranto, ciclo P-V 2016. Cuautitlán Izcalli, Méx.

Peso de grano por panoja: El peso promedio más alto fue de 7.11 gramos, el cual corresponde al tratamiento que se le aplicó Biofertilizante. Mientras que el peso más bajo fue de 6.43 gramos (Figura 4).

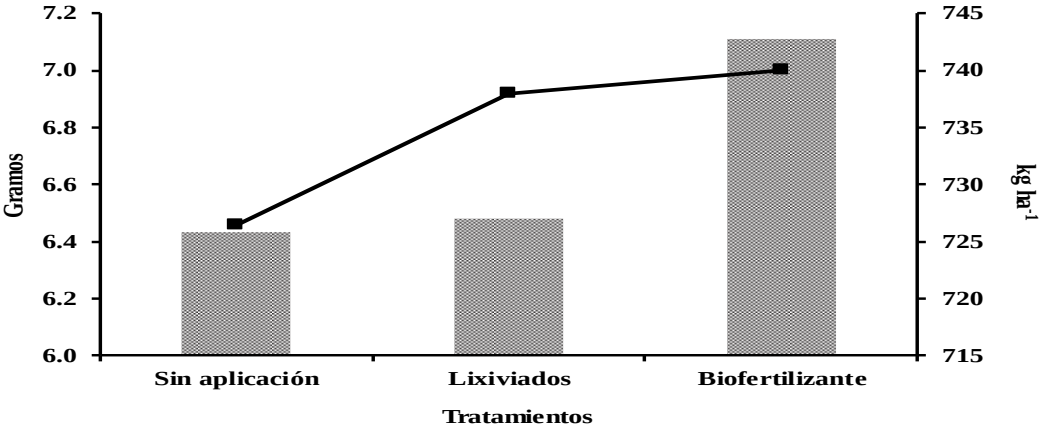


Figura 4. Peso de grano por panoja y rendimiento total de amaranto, ciclo P-V 2016.

Rendimiento total: El rendimiento total no fue el rendimiento esperado, esto debido a que en la zona se presentaron fuertes ráfagas de viento, lo que ocasiono el acame de las plantas y que al final repercutió en el rendimiento.

El rendimiento más alto se presentó en el tratamiento al que se le aplicó Biofertilizante con 740 kg ha^{-1}, el cual fue 1.8% más que el testigo (Figura 4).

Conclusiones

El cultivo de amaranto posee una gran adaptabilidad en la región de estudio, ya que el fenotipo empleado presentó características potenciales aunado a la fertilización orgánica empleada, sin embargo, es necesario replicar el estudio para determinar las mejores técnicas que impidan el acame del cultivo y que al final no repercutan en el rendimiento.

El aplicar fertilizantes orgánicos es una buena alternativa para incorporar en el sistema de producción, esto debido a que son productos que minimizan los costos de producción, sin disminuir el rendimiento y que además no dañan el ambiente.

Referencias

Casas, A., Valiente, B.A., Viveros, J.L., Caballero, J., Cortés, L., Dávila, P., Lira, R., Rodríguez, I. 2001. Plant resources of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México. Economic Botany, 55(1): 129-166.

García, P.J. Valdés, L.C.G.S., Olivares, S.E., Alvarado, G.O., Medrano, R.H., Alejandre, I. 2004. Evaluación de genotipos de amaranto para adaptabilidad productiva en el noreste de México. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 27 (1): 53-56.

Morales, G.J.C., Vázquez, N.M., Bressani, R.C. 2009. El amaranto. Características físicas, químicas, toxicológicas y funcionales y aporte nutricional. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zuribán.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2016. Estadística de producción agrícola 2016. En: http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php. Fecha de consulta el 15 de junio de 2018.

International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM). 2014. Definition of Organic Agriculture. En: http://www. ifoam.org/en/organic-landmarks/definition-organic-agriculture. Fecha de consulta el 16 de mayo de 2018.

Fonseca, R.L.A., Castillo, V.X., Echeverría, V.Y.U., Fones, G.S., Solares, D.G.M., Mercado, M.G. 2013. Respuesta a la aplicación de abonos orgánicos en frijol variedad vaquita negro en suelo vertisol del Estado de México. Memorias del XXXVIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. La Paz, B.C.S. México.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

DETERMINACIÓN DE ALMACENES DE CARBONO EN SUELOS DE ÁREAS VERDES URBANAS EN ZONAS ÁRIDAS

Guillen-Cruz, G.[1]; Fernández-Luqueño, F.[1]; Flores-Rentería, D.[2*]

[1]Grupo de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Saltillo. Ramos Arizpe, Coahuila. México.
[2]CONACyT-CINVESTAV, Unidad Saltillo. Ramos Arizpe, Coahuila. México.

*Autor responsable: yaahid.flores@cinvestav.edu.mx; Avenida Industrial Metalúrgica 1062 Núm. 1062, Col. Parque Industrial Ramos Arizpe, Ramos Arizpe, Coahuila. México. CP 25900; Tel. +52 (844)-438-9646

Resumen

El suelo de las áreas verdes urbanas en zonas áridas funciona como almacén natural de carbono de manera que puede contribuir a mitigar el cambio climático. Con el objetivo de conocer el potencial de almacén de carbono en el suelo y su flujo de salida bajo condiciones controladas de humedad (presequía o sequía) y conforme al tipo de vegetación en áreas verdes, en el invernadero se establecieron mesocosmos con pasto (vegetación exótica), cactáceas y cactáceas-arbusto (vegetación nativa) y se determinaron la respiración del suelo (R_S) mediante la instalación de trampas de NaOH y el carbono orgánico del suelo (COS), entre otras características. La R_S fue significativamente más alta en el pasto en ambos periodos (sequía y presequía) con un promedio de 0.0004 kg de C-CO_2 m^{-2} $día^{-1}$ en comparación al resto de la vegetación con un promedio de 0.0002 kg de C-CO_2 m^{-2} $día^{-1}$. Durante el periodo de sequía los valores de R_S disminuyeron tanto para pastos como para la vegetación nativa. Sin embargo, la vegetación nativa durante la sequía siguió siendo saludable. En cambio, el pasto se secó hasta morir. EL COS no presentó diferencias significativas entre periodos ni entre el tipo de vegetación utilizando en los mesocosmos. Los resultados del presente estudio demuestran que el uso de vegetación nativa libera una menor cantidad de CO_2 a la atmósfera aun en periodos de sequía en comparación al uso de pasto, el cual además tiene una alta dependencia al riego.

Palabras clave

Respiración del suelo; carbono orgánico del suelo; vegetación nativa; vegetación exótica

Introducción

El incremento de la temperatura en el planeta durante el último siglo se ha relacionado con el cambio climático asociado a un origen antropogénico, principalmente causado por el aumento de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, siendo el dióxido de carbono (CO_2) el principal contribuyente (Kong *et al.*, 2014). Algunas de las estrategias para disminuir la concentración de CO_2 en la atmósfera son el mantenimiento y promoción de almacenes naturales de carbono en el suelo. En este sentido, el suelo representa tanto la principal reserva de carbono del planeta con 1460 GT, como también uno de los mayores flujos de CO_2 a la atmósfera, a través de la respiración del suelo (R_S) (Yang *et al.*, 2014). El almacenamiento de carbono en el suelo depende del equilibrio

entre las entradas y las pérdidas de carbono y de múltiples factores bióticos (vegetación, actividad microbiana, etc.), abióticos (clima y características del suelo) y antropogénicos (uso y manejo del suelo; Albaladejo *et al.*, 2012).

Los ecosistemas de zonas áridas representan el 10.6% de la superficie terrestre y aproximadamente el 30% de las poblaciones humanas viven en zonas áridas y semiáridas en constante expansión (Koerner and Klopatek, 2002) y son los más propensos a experimentar periodos de sequía (Martínez and Carrillo, 2005). A pesar de la importancia que tienen los suelos en el ciclo biogeoquímico del carbono, la mayoría de los estudios están enfocados en ecosistemas agrícolas y naturales, prestando poca atención en los almacenes de carbono de ecosistemas urbanos (Weissert *et al.*, 2016), los cuales están formadas por el suelo y la vegetación (exótica y nativa). El tipo de vegetación es uno de los factores que determina el grado de secuestro de carbono en el suelo, por lo que una de las estrategias de manejo incluye la selección de especies apropiadas para cada región, ya que cada una difiere en su capacidad para capturar, almacenar y liberar carbono (Livesley *et al.*, 2016).

En particular, se sabe poco sobre el potencial que tienen las especies exóticas (específicamente los sistemas de pasto) y nativas (cactáceas, arbustos, etc.) para favorecer el almacenamiento de carbono en el suelo de áreas verdes situadas en zonas áridas. Por consiguiente, el objetivo de esta investigación es cuantificar el potencial de almacenamiento de carbono en áreas verdes urbanas, a través de la determinación de la R_S y COS utilizando mesocosmos en el invernadero con sistemas de plantas nativas y exóticas sometidas a condiciones de sequía. Esta información es importante para determinar el tipo de plantas que promueven el almacenamiento de carbono en el suelo y reducen las pérdidas de carbono hacia la atmósfera.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El invernadero se encuentra ubicado en las instalaciones de CINVESTAV Unidad Saltillo ubicado en el municipio de Ramos Arizpe al sureste del estado de Coahuila. De acuerdo con la clasificación de la UNESCO el clima del área de estudio es árido (Hernández, 2006); presenta una temperatura media anual de 14 a 18°C y una precipitación anual de 300 a 400 mm. El 45.27% del suelo se puede clasificar como litosol, que se caracteriza por su profundidad menor a 10 cm, limitada por la presencia de roca, tepetate o caliche endurecido (INEGI, 2004). El tipo de vegetación predominante es matorral, en donde su cobertura está dominada por cactáceas (p. ej.: *Opuntia sp*; *Echinocereus*; *Echinocactus*), suculentas (p. ej. *Agave lechuguilla)*, y arbustivas (p. ej. *Dasylirion sp* y *Larrea tridentata*, entre otros).

En el invernadero es establecieron 11 mesocosmos, a los que se les colocó suelo muestreado de las inmediaciones del CINVESTAV. En un diseño factorial se establecieron tres tipos de mesocosmos, con tres o dos réplicas de cada uno. Mesocosmos 1: dos réplicas de suelo sin vegetación (control). Mesocosmos 2: tres réplicas de pasto (15 g de semillas) de *Cynodon dactylon* (pasto bermuda). Mesocosmos 3: tres réplicas de cactáceas (11 individuos) con cobertura de tezontle. Mesocosmos 4: tres réplicas de cactáceas (11 individuos) y arbusto (1 individuo) con cobertura de tezontle.

Sequía prolongada

Después de 12 meses del establecimiento de los mesocosmos para garantizar la estabilidad de las condiciones en los mismos, se aplicó una simulación de sequía prolongada de dos tiempos

(presequía y sequía), reduciendo la humedad del suelo de manera paulatina.
La humedad del suelo fue monitoreada con 4 sensores (un sensor para cada tipo de mesocosmos) WatchDog 1400 Data Logger de Spectrum Technologies, Inc. También fue determinada la humedad del suelo al momento de retirar la trampa, por pérdida de peso secando las muestras al horno a 105°C, durante 72 horas.

Determinación de características fisicoquímicas del suelo
Durante los periodos de sequía se determinó la R_S en cada uno de los mesocosmos utilizando trampas de hidróxido de sodio (NaOH), con un área de 169 cm^2. En cada trampa se colocó un frasco con 20 ml de NaOH (0.5 M) y un frasco con 20 ml de agua destilada para mantener la humedad relativa dentro de la misma. Las trampas se dejaron en incubación durante 72 horas y posteriormente en el laboratorio se determinó la cantidad de CO_2 liberado por el suelo mediante titulación con ácido clorhídrico (HCl 0.5 M), utilizando como indicador la fenolftaleína.
Se determinó el COS con el método de Walkley-Black (Sarkar and Haldar, 2005). Adicionalmente se determinó la materia orgánica del suelo (MOS) por el método de calcinación a 400°C durante cuatro horas (Pansu and Gautheyrou, 2007).

Análisis de datos
Se determinaron las diferencias entre los periodos (presequía vs sequía) y los tipos de vegetación de cada mesocosmos, mediante Análisis de Varianza (ANOVA) (P<0.05). Para determinar diferencias significativas entre las medias se utilizó la prueba de honestidad de Tukey. También, se realizaron análisis de correlación de Pearson entre la R_S y las variables bióticas y abióticas. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software STATISTICA V10.0.

Resultados y Discusión

La R_S fue significativamente más alta (P<0.05) para el periodo de presequía al que estuvieron sometidos los diferentes tipos de vegetación con un promedio de 0.0004 kg de C-CO_2 m^{-2} $día^{-1}$ ± 0.00005 en comparación al periodo de sequía con un promedio de 0.0002 kg de C-CO_2 m^{-2} $día^{-1}$ ± 0.00002. Los mesocosmos con pasto (vegetación exótica) presentaron mayor R_S con un promedio de 0.0004 kg de C-CO_2 m^{-2} $día^{-1}$ ± 0.0001 en comparación con la vegetación nativa o sin vegetación (Cuadro 1). Esto derivado de las condiciones de riego a las que estaban sometidos los diferentes tipos de vegetación (Weissert *et al.*, 2016). Otro factor que influye en la R_S es el tipo de vegetación por sus diferentes requerimientos de agua, mantenimiento y metabolismo (Raich and Tufekciogul, 2000).
Los mesocosmos con pasto presentaron los mayores porcentajes de MOS en comparación al resto de la vegetación y suelo desnudo. Esto se atribuye principalmente a que estos generan una mayor cantidad de biomasa incrementando la cantidad de materiales orgánicos al suelo que una vez descompuestos pasan a formar parte de la MOS (Craig *et al.*, 2015). Sin embargo, los mesocosmos sin vegetación, con cactáceas y con cactáceas-arbusto no presentaron diferencias significativas entre los porcentajes de MOS (Cuadro 1).
Los porcentajes de humedad del suelo presentaron diferencias significativas entre el tipo de periodo, en donde, la humedad del suelo fue significativamente mayor en el periodo de presequía con un promedio de 14.58% ± 0.60, en comparación con el porcentaje promedio del periodo de sequía con 4.39% ± 0.38 (Cuadro 1). Estos resultados coinciden con el régimen de humedad al que fueron

sometidos (pre-sequia o sequia). También está documentado que durante los periodos de sequía el agua en los poros del suelo se desconecta dando como resultado que la difusión del sustrato se vuelva lento y sea limitado para la comunidad microbiana (Moyano *et al.*, 2013).

Cuadro 1. Características fisicoquímicas del suelo asociadas al tipo de vegetación (nativa y exótica) en los mesocosmos del invernadero sometidos a presequía o sequía.

	Presequía				Sequía			
Determinación	Suelo	Cactáceas	Cac/ arbusto	Pasto	Suelo	Cactáceas	Cac/ arbusto	Pasto
R_S	0.0003 ^{A,b}	0.0003 ^{A,b}	0.0002 ^{A,b}	0.0006 ^{A,a}	0.0001 ^{B,b}	0.0001 ^{B,b}	0.0002 ^{B,b}	0.0002 ^{B,a}
MOS	9.30 ^{A,ab}	8.44 ^{A,ab}	8.08 ^{A,b}	9.14 ^{A,a}	5.31 ^{B,ab}	5.65 ^{B,ab}	4.46 ^{B,b}	5.54 ^{B,a}
COS	1.20 ^{A,a}	1.25 ^{A,a}	1.11 ^{A,a}	1.21 ^{A,a}	1.11 ^{A,a}	1.19 ^{A,a}	1.23 ^{A,a}	1.34 ^{A,a}
Humedad	14.24 ^{A,a}	15.84 ^{A,a}	13.00 ^{A,a}	15.55 ^{A,a}	4.84 ^{B,a}	4.21 ^{B,a}	3.44 ^{B,a}	5.07 ^{B,a}
pH	8.19 ^{A,ab}	8.13 ^{A,ab}	8.08 ^{A,b}	8.35 ^{A,a}	8.27 ^{B,ab}	8.30 ^{B,ab}	8.27 ^{B,ab}	8.25 ^{B,ab}
CE	2193 ^{A,b}	3296 ^{A,a}	3631 ^{A,a}	2119 ^{A,b}	2192 ^{A,b}	3905 ^{A,a}	3443 ^{A,a}	2564 ^{A,b}

Los valores son la media de tres determinaciones (n=3). Las letras minúsculas indican diferencias significativas entre el tipo de vegetación a un determinado periodo y las letras mayúsculas indican diferencias significativas entre los periodos para un determinado tipo de vegetación, según la comparación post-hoc por la prueba de Tukey ($P< 0.05$) del ANOVA. R_S= respiración del suelo (kg de C-CO_2 m^{-2} $día^{-1}$), MOS= materia orgánica del suelo (%), COS= carbono orgánico del suelo (%), humedad del suelo (%) y CE= conductividad eléctrica (µs/cm).

La R_S y la MOS están relacionados (R=0.65, p<0.0001) lo que puede ser explicado por la producción primeria de la vegetación, la cual fue mayor en el periodo de presequía para los pastos (vegetación exótica) en comparación con las cactáceas y cactáceas-arbusto (vegetación nativa). Entonces la R_S resulta de la descomposición de la MOS aportada por el pasto durante ese periodo, debido a que uno de los factores que influyen en la descomposición de la MOS es la humedad (Lai *et al.*, 2013) relacionándose de manera positiva (R=0.95, p<0.0001). Es decir, alto porcentaje de humedad y MOS ofrecen condiciones favorables para los microorganismos del suelo y se incrementa la respiración del suelo, lo que resulta en una correlación positiva entre estas variables. Los resultados muestran que la R_S es explicada en 69% por los porcentajes de humedad en el suelo debido a que el agua es una limitante, el funcionamiento de las comunidades microbianas se encuentra limitado, disminuyendo así su actividad metabólica a cierto nivel de aridez (Curiel Yuste *et al.*, 2007), lo cual se evidencia a través de una menor liberación de CO_2 por parte del suelo. No obstante, el pasto bajo esas condiciones de aridez no se encuentra apto para ser utilizado en áreas verdes debido a que muere por falta de agua.

Conclusiones

La vegetación nativa (cactáceas y arbustos) de las áreas verdes urbanas ubicadas en zonas áridas disminuye significativamente la respiración del suelo, comparada con la respiración del suelo de áreas verdes que tienen vegetación exótica (pastos), debido a la dependencia que tienen estos al riego. Por su parte, la vegetación nativa tiene bajos requerimientos de agua aún en periodos de sequía y se desarrolla en suelos con porcentajes bajos de materia orgánica.

Agradecimientos

Agradecemos a Ana Laura Rodríguez Sánchez por su ayuda en las determinaciones realizadas. Asimismo, agradecemos al CONACyT por la beca otorgada a Guillén-Cruz dentro del Programa de Maestría en Ciencias en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía.

Referencias

Albaladejo, J., R. Ortiz, N. Garcia-Franco, A. R. Navarro, M. Almagro, J. Pintado, and M. Martínez-Mena. 2012. Land use and climate change impacts on soil organic carbon stocks in semi-arid Spain. Journal of Soils and Sediments 13:265-277.

Craig, M. E., S. M. Pearson, and J. M. Fraterrigo. 2015. Grass invasion effects on forest soil carbon depend on landscape-level land use patterns. Ecology 96:2265-2279.

Curiel Yuste, J., D. Baldocchi, A. Gershenson, A. Goldstein, L. Misson, and S. Wong. 2007. Microbial soil respiration and its dependency on carbon inputs, soil temperature and moisture. Global Change Biology 13:2018-2035.

Hernández, H. M. 2006. La vida en los desiertos mexicanos: Fondo de cultura económica Mexico City, Mexico.

INEGI. 2004. Guías para la interpretación de cartografía edafología: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática Aguascalientes, México.

Koerner, B., and J. Klopatek. 2002. Anthropogenic and natural CO_2 emission sources in an arid urban environment. Environmental Pollution 116:S45-S51.

Kong, L., Z. Shi, and L. M. Chu. 2014. Carbon emission and sequestration of urban turfgrass systems in Hong Kong. Science of the Total Environment 473–474:132-138.

Lai, L., J. Wang, Y. Tian, X. Zhao, L. Jiang, X. Chen, Y. Gao, S. Wang, and Y. Zheng. 2013. Organic matter and water addition enhance soil respiration in an Arid region. PloS one 8:e77659.

Livesley, S. J., A. Ossola, C. G. Threlfall, A. K. Hahs, and N. S. Williams. 2016. Soil carbon and carbon/nitrogen ratio change under tree canopy, tall grass, and turf grass areas of urban green space. Journal of Environmental Quality 45:215-223.

Martínez, O., and M. Carrillo. 2005. Caracterización y análisis de la sequía en el estado de Coahuila. Nov-2005

Moyano, F. E., S. Manzoni, and C. Chenu. 2013. Responses of soil heterotrophic respiration to moisture availability: An exploration of processes and models. Soil Biology and Biochemistry 59:72-85.

Pansu, M., and J. Gautheyrou. 2007. Handbook of soil analysis: mineralogical, organic and inorganic methods: Springer Science & Business Media.

Raich, J. W., and A. Tufekciogul. 2000. Vegetation and soil respiration: correlations and controls. Biogeochemistry 48:71-90.

Sarkar, D., and A. Haldar. 2005. Physical and chemical methods in soil analysis: New Age International. 176.

Weissert, L. F., J. A. Salmond, and L. Schwendenmann. 2016. Variability of soil organic carbon stocks and soil CO_2 efflux across urban land use and soil cover types. Geoderma 271:80-90.

Yang, H., X. Li, Z. Wang, R. Jia, L. Liu, Y. Chen, Y. Wei, Y. Gao, and G. Li. 2014. Carbon sequestration capacity of shifting sand dune after establishing new vegetation in the Tengger Desert, northern China. Science of the Total Environment 478:1-11.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

NUTRIMENTOS EN CAÑA DE AZÚCAR *Saccharum officinarum* BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS POR SALINIDAD

Martínez-Orozco, E.[1]; González-Acuña, I.J.[2]; De La Mora-Orozco, C.[*3,1]; Flores-López, H.E.[3]; Chávez-Durán. A.A.[3]

[1]Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez. Campus Arandas, Arandas, Jalisco. México.
[2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Santiago Ixcuintla, Nayarit. México.
[3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Tepatitlán de Morelos, Jalisco. México.

*Autor responsable: delamora.celia@inifap.gob.mx; Av. Biodiversidad 2470, Tepatitlán de Morelos, Jalisco. C.P. 47600 Tel. +52(01800)-088-2222 ext. 84513

Resumen

El estrés hídrico por acumulación de sales en la zona radical de cultivos, limita la absorción de nutrientes y reduce rendimientos. La sensibilidad depende de la etapa del cultivo. En Ameca y en Teuchitlán, Jalisco, se cultiva caña de azúcar bajo riego; en esta región, con agua de manantiales y pozos localizados en el área. En Ameca, con agua de la presa La Vega. El objetivo fue comparar la concentración de macro y micronutrientes en raíz, tallo y hoja de caña bajo riesgo por salinidad en ambas regiones. Se colectaron muestras de raíz, tallo y hoja de caña de azúcar en junio de 2015, tres submuestras por lote. En las partes muestreadas se determinó: NT, P, K, Ca, Mg, Cl, Na, Fe, Zn, Mn, Cu, B y S. Los resultados mostraron diferencias entre la raíz, tallo y hoja de la caña, y por región. En raíz, se acumuló más Fe, Na y Cl. Elementos como NT, K, Cl y S presentaron concentraciones más elevadas en tallo, en Ameca (8.330 ± 0.690, 23.723 ± 4.584, 6.390 ± 0.945 y 4.112 ± 0.683 g kg^{-1}) respectivamente. El Zn, Mn y Cu registraron concentraciones <1.00 g kg^{-1}. Se diagnosticó desbalance nutrimental por efecto de estrés salino: Mg, Fe, Mn, Cu y P en suficiencia. NT, Ca y Zn deficientes. B y S en exceso potencial, K en exceso. Na y Cl restringen el cultivo. Se requiere evaluar la tasa de cambio por salinización de las fuentes de riego.

Palabras clave

Caña de azúcar, salinidad, estrés hídrico, macro y micronutrientes

Introducción

La acumulación de sales solubles en la zona radical de los cultivos es factor limitante de la producción para la agricultura bajo riego; provoca estrés hídrico, la planta disminuye su tasa de crecimiento y rendimiento. Además, cuando el agua utilizada en riego presenta salinidad, tiende a acumularse en el suelo. Los síntomas en la planta varían con la etapa del cultivo, siendo más sensible a las sales durante el crecimiento (Ayers y Westcot, 1994).

El uso de agua con un nivel de salinidad relativamente alto es común por desconocimiento o por necesidad. Sin embargo, actualmente existen prácticas de manejo que evitan en lo posible la acumulación de sales en la zona radical, de manera que se reduce el riesgo de absorción de elementos tóxicos (Aceves, 2011). El riego por goteo es estratégico, ya que mantiene humedad

cercana a la capacidad de campo en la zona de raíces y la zona del bulbo mojado se lava continuamente, lo que evita la concentración alta de sales; además no se mojan las hojas que, en algunos cultivos, absorben con facilidad las sales disueltas en el agua de riego (GAT, 2012). Otras prácticas de manejo para asegurar un alto porcentaje de germinación en suelo ensalitrado, son aumento de cantidad de semilla por hectárea, sembrar en el talud del surco y seleccionar cultivos tolerantes (Aceves, 2011). Caña de azúcar es relativamente tolerante. Según Ayers y Westcot (1994) y Aceves (2011), se logra el 100% de rendimiento potencial, a conductividad eléctrica (CE) $\leq$ 1.7 y 1.1 dS m^{-1} en suelo y en el agua de riego respectivamente; en contraste, no se obtiene rendimiento a $\geq$19 y 12 dS m-1, respectivamente.

Por otro lado, los nutrientes minerales son básicos en la producción de caña. En cantidades mayores: N, P, K, Ca, Mg y S. Mientras que, en cantidades menores: boro, cinc, cloro, cobre, hierro, manganeso y molibdeno (Quintero, 1995; López, 2014). Algunos elementos tóxicos para los cultivos incluyen; B, Na y metales pesados como As, Co, Cu, Pb, Ni y Zn (Quintero, 1995). En ellos se pueden generar sinergias o antagonismos, según su magnitud (Castellanos *et al*., 2000). B es un elemento muy sensible para los cultivos, ya que fácilmente puede pasar de deficiencia a toxicidad. Ésta última ocurre en suelos con altas concentraciones de este nutriente o suelos expuestos a aguas de riego, fertilizantes, lodo de aguas residuales o cenizas volcánicas volantes ricos en boro. A $\geq$ 50 mg L^{-1} de boro en caña de azúcar, la planta expresa síntomas de toxicidad (Campbell, 2000; McCray *et al.*, 2013).

En la región valles en Ameca Jalisco, se estima que aproximadamente 5,314 hectáreas se cultivan con caña de azúcar bajo riego, las cuales en su mayoría utilizan agua de la presa La Vega. También es relevante la zona de Teuchitlán, que se ubica en la parte alta de la presa, aunque en ella, los riegos se realizan con agua de manantiales y pozos localizados en el área. Sin embargo, en los últimos años, en ambas regiones se han experimentado decremento en la productividad de esta gramínea.

Estudios previos realizados en la presa La Vega, sus afluentes principales y canales de riego que distribuyen agua a los predios con caña de azúcar, demostraron condiciones de riesgo por salinidad (De La Mora *et al.*, 2013). El riesgo fue bajo en la relación de adsorción de sodio (RAS), sin embargo, aumentó en el indicador de carbonato sódico residual (CSR). A profundidad de 0 a 5 cm, apenas 15 % de los terrenos no registró riesgo de salinización, 66 % presentó riesgo ligero a moderado y 19 %, riesgo alto. Mientras que, a profundidad de 5 a 35 cm, en 68 % de los terrenos el riesgo de salinización fue nulo, 30 % fue ligero a moderado y solo 2% registró riesgo alto.

No obstante, el uso constante del agua para riego en la región, ya presenta efectos visibles de acumulación de sales por efecto de la presa La Vega y posiblemente por contaminación de sales en algunos pozos de Teuchitlán, de manera que los datos registrados en estudios anteriores pueden haber cambiado y el riesgo por sales de estas fuentes de abastecimiento de agua pudo haberse potenciado.

Por tanto, el objetivo de este estudio fue comparar la concentración de macro y micronutrientes en raíz, tallo y hoja de caña de azúcar bajo condiciones detectadas anteriormente como riesgo bajo por salinidad en el Valle de Ameca y en Teuchitlán, para determinar los elementos que pudieran estar ocasionando desbalance nutrimental y niveles tóxicos en la planta, lo cual sería un indicio de que las fuentes de abastecimiento de agua han incrementado sus niveles de salinización, con riesgo para la producción de cultivos en la región,

Materiales y Métodos

Se colectaron muestras de raíz, tallo y hoja de caña de azúcar en junio de 2015. El muestreo lo realizó personal calificado del INIFAP-Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco, los sitios fueron georreferenciados con GPS (Etrex Marca Garmin®). Se utilizaron palas para la extracción de la planta desde la raíz. Se recolectaron seis muestras, tres en el Valle de Ameca, donde los terrenos son irrigados con agua de la presa La Vega, y tres en Teuchitlán, que se localiza en la parte alta de la presa, donde el riego se lleva a cabo con agua de manantiales y pozos localizados en el área. Las muestras se seccionaron en raíz, tallo y hoja, se secaron a temperatura ambiente y se transportadas para su análisis químico al Laboratorio de Fertilidad de suelos que se localiza en el Campo Experimental Santiago Ixcuintla del INIFAP en Nayarit. En laboratorio se secaron en estufa de aire forzado a 68 ^{o}C por aproximadamente 72 h. Se molieron en molino Thomas Scientific y tamizaron a malla 40. Se homogenizaron para obtener un analito representativo y se colocaron en sobres de papel etiquetado para su análisis. En raíz, tallo y hoja se determinó; N-total, P, K, Ca, Mg, Cl, Na, Fe, Zn, Mn, Cu, B y S. Los métodos fueron: N total (%) mediante analizador elemental con un detector de conductividad térmica; K, Ca y Mg en %; así como Fe, Mn, Zn, Cu en mg kg^{-1}, por digestión húmeda medida en absorción atómica; P (%) y B (mg kg^{-1}) por digestión húmeda medida por turbidimetria en colorímetro, S (mg kg^{-1}) por digestión húmeda medida en colorímetro, y Cl (mg kg^{-1}) mediante potenciómetro. Estos métodos siguen los protocolos de la NOM-RECNAT 2001. Los datos se transformaron a g kg^{-1} para su comparación con otros estudios (López, 2014). Los resultados son preliminares, se presentan estadísticas descriptivas.

Resultados y Discusión

En el Cuadro 1 se presentan los resultados del análisis de nutrimentos en las muestras recolectadas. Se observa tendencia de diferencias entre partes de la planta (raíz, tallo y hoja de la caña de azúcar) y por regiones de estudio. Al respecto, con excepción de NT, Zn y Fe, el resto de macro y micronutrimentos presentaron concentraciones en las tres partes de la biomasa de la planta, relativamente superiores en Ameca que en Teuchitlán.

Por otro lado, los nutrimentos que más concentración registraron tanto en raíz, tallo y hoja, fueron K, NT y S. De estos, K con valores entre 5.03 y 7.263 g kg^{-1} en raíz, 11.897 y 23.723 g kg^{-1}y en tallo 15.563 y 17.220 g kg^{-1} fue similar a lo reportado por Zamboni *et al.* (2011), en raíz, tallo y hoja en caña de azúcar, en Brasil, quienes obtuvieron 7.01, 21.7 y 16.9 g kg^{-1} respectivamente. No obstante, estos autores, obtuvieron los valores más altos en P (25.80, 11.23 y 3.72 g kg^{-1} respectivamente), lo cuales fueron muy superiores a los del presente estudio con promedios 0.856, 1.466 y 1.06 g kg^{-1} en raíz, tallo y hoja respectivamente. La explicación puede ser que P en caña en Brasil, haya estado en exceso, ya que los valores en las hojas coinciden con los valores críticos de toxicidad para caña, mencionados por López (2014); en cambio, se ubicaron como óptimo en Ameca y deficiente en Teuchitlán.

Del resto de elementos reportados por Zamboni *et al.* (2011) en caña, con excepción de B que fue deficiente en el estudio de Brasil, Ca, Mg, Mn, Na y Cl se reportan relativamente similares a las concentraciones determinadas en la presente investigación. Lo anterior se debe a que, en cada región, el cultivo responde a las diferentes condiciones de suelo y manejo agronómico, principalmente. A razón de ello, y coincidente con los antecedentes de exceso de B en las fuentes de

abastecimiento de las regiones cañeras exploradas en este estudio (De La Mora *et al.*, 2013), las concentraciones de B resultaron en exceso extremo, ya que en la hoja superaron en 340 y 550 % en Teuchitlán y Ameca respectivamente, al nivel crítico de toxicidad (30 g kg^{-1}) (Campbell, 2000; McCray *et al.*, 2013; López, 2014).

En el caso de Na, como elemento tóxico para caña, sobresale que la raíz acumula más del 50% respecto al tallo y la hoja en Ameca; mientras que más del 25 % en Teuchitlán. Esto es acorde a lo esperado, ya que como lo indican Ayers y Westcot (1994), la salinidad proveniente del agua de riego se acumula en el suelo. En metales pesados como Zn, se encontró a niveles deficientes (López, 2014) en la hoja en ambas regiones, y aunque se acumula en la raíz, principalmente en Teuchitlán (0.081 ± 0.085), no cubrió la suficiencia requerida en la hoja. En tanto las concentraciones de Cu, se determinaron en las dos zonas como óptimas en hoja (0.005 g kg^{-1}), no obstante, en la raíz se acumuló en mayor grado en Teuchitlán (0.228 ±0.087), donde puede ser un riesgo de toxicidad; es posible que en esta región haya contaminación en los mantos freáticos por fertilizantes y pesticidas.

Respecto a $S\text{-}SO_4$, los resultados coinciden con Castellanos *et al*. (2000), en cuanto a que el azufre se encuentra sobretodo en la parte aérea, con énfasis en el tallo en el presente estudio. Sin embargo, los niveles detectados en cualquier parte de la planta, parece que se encuentran en exceso, en grado extremo en Ameca, de 78 a 111 % más del límite crítico de toxicidad en la hoja, respecto a Teuchitlán que registró de 17 a 33 % sobre dicho límite, según lo que señala López (2014). No obstante que el azufre actúa con antagonismo frente a los aniones de cloro y nitrato, lo cual favorece a suelos salinos o sobrefertilizados con cloruros o nitratos (Castellanos *et al*., 2000), su toxicidad es una limitante en la producción de caña.

Cuadro 1. Promedio de la concentración de nutrimentos en raíz, tallo y hoja de caña de azúcar, en dos localidades bajo diferentes condiciones de calidad de agua

Parámetro	Raíz Valle de Ameca	Raíz Teuchitlán	Tallo Valle de Ameca	Tallo Teuchitlán	Hoja Valle de Ameca	Hoja Teuchitlán
	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
N-total	4.693 ± 2.789	7.377 ± 2.915	8.330 ± 0.690	5.507 ± 1.070	2.310 ± 0.655	1.610 ± 0.145
P	0.973 ± 0.050	0.720 ± 0.342	2.130 ± 0.645	0.803 ± 0.287	2.310 ± 0.655	1.610 ± 0.145
K	7.263 ± 5.046	5.030 ± 0.399	23.723 ± 4.584	11.897 ± 2.586	17.220 ± 6.174	15.563 ± 1.611
Ca	1.800 ± 1.448	0.987 ± 0.515	1.160 ± 0.685	0.703 ± 0.335	1.910 ± 0.304	1.737 ± 0.117
Mg	1.833 ± 0.697	1.303 ± 0.319	1.313 ± 0.369	1.100 ± 0.606	1.490 ± 0.384	1.267 ± 0.105
Cl	1.730 ± 0.473	0.793 ± 0.146	6.390 ± 0.945	1.420 ± 1.187	4.110 ± 2.484	1.713 ± 0.749
Na	0.395 ± 0.856	0.176 ± 0.082	0.197 ± 0.129	0.060 ± 0.028	0.073 ± 0.040	0.045 ± 0.017
Fe	5.362 ± 2.203	7.390 ± 3.010	0.145 ± 0.059	0.110 ± 0.019	0.111 ± 0.047	0.093 ± 0.018
Zn	0.047 ± 0.024	0.081 ± 0.085	0.014 ± 0.005	0.016 ± 0.007	0.013 ± 0.005	0.016 ± 0.003
Mn	0.208 ± 0.033	0.228 ± 0.087	0.049 ± 0.026	0.046 ± 0.027	0.056 ± 0.050	0.048 ± 0.018
Cu	0.071 ± 0.094	0.228 ±0.087	0.018 ± 0.011	0.025 ± 0.002	0.005 ± 0.001	0.006 ± 0.002
B	0.087 ± 0.007	0.064 ± 0.009	0.058 ± 0.014	0.045 ± 0.002	0.132 ± 0.063	0.034 ± 0.010
S	2.935 ± 1.006	1.912 ± 0.612	4.112 ± 0.683	3.133 ± 1.627	3.167 ± 0.586	2.091 ± 0.300

Conclusiones

Los resultados mostraron diferencias por región (Ameca y Teuchitlán), así como entre la raíz, tallo y hoja de la caña de azúcar. En raíz, se acumuló más Fe, Na y Cl. En tallo, NT, K, Cl y S. Los nutrimentos en suficiencia, principalmente en hojas fueron Mg, Fe, Mn, Cu y P. Los deficientes NT, Ca y Zn. El riesgo potencial por exceso fue con B y S, y aunque en menor grado con K. El desbalance nutrimental se atribuye a la calidad de las fuentes de riego. Los niveles de Na y Cl pueden ser a futuro una restricción severa. Es evidente la necesidad de evaluar la tasa de cambios en los riesgos de salinización y contaminación industrial y agrícola, en estas fuentes de agua.

Referencias

Aceves, N.E. 2011. El ensalitramiento de los suelos bajo riego. 2da edición. Colegio de Posgraduados-Mundi Prensa México. 167 p.

Allison, R.V., O.C. Byyan and J.H. Hunter. 1997. The simulation of plant response on the raw peat soils of the Florida Everglades through the use of copper sulphate and other chemicals. Florida Agricultural Experiment Station Bulletin 190, University of Florida Gainesville, FL. 78 p.

Ayers, R.S. and D.W. Westcot. 1994. Water Quality for Agriculture, Irrigation and Drainage. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 135 p.

Campbell, C.R. 2000. Reference sufficiency ranges for plant analysis in the southern region of the United States. Tomado de: http://www.ncagr.gov/agronomi/saaesd/scsb394.pdf Fecha de acceso: 24-04-2013.

De La Mora O.C., L.H.E. Flores y D.A.A. Chávez. 2013. Calidad del agua del embalse de la presa La Vega y su impacto en las tierras agrícolas bajo riego. INIFAP-CIRPAC. Libro Técnico Núm. 6 ISBN: 978-607-37-0186-0, 168 p.

GAT. 2012. Salinidad en cultivos agrícolas. Departamento agronómico. Tomado de: http://www.gatfertiliquidos.com/salinidad_cultivos.pdf Fecha de acceso: 20-03-2013

López, M. L.A. 2014. Evaluación de niveles de fósforo y potasio en el cultivo de caña de azúcar para producción de panela orgánica; Santa Bárbara, Suchitepéquez. Tesis. Univ. Rafael Landívar. Fac. Ciencias Ambientales y Agrícolas. Lic. Ciencias Agrícolas con Énfasis en Cultivos Tropicales. Guatemala. 67 p.

McCray, J.M., Rice, R.W., Ezenwa, I.V., Lang, T.A. and L. Baucum. 2013. Sugarcane plant nutrient diagnosis. SS-AGR-128 series of the Agronomy Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. 94 p.

Schueneman, T.J. 2001. Characterization of sulfur sources in the EAA. Soil and Crop Sciences Society of Florida Proceedings, 60:49-52.

Quintero, D. R. 1995. Fertilización y nutrición. En: CENICAÑA (Ed.). El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. pp. 153-177.

Zamboni, C.B., da Silveira, M.A.G., Gennari, R.F., García, I and N.H. Medina. 2011. Sugar Cane Nutrients Distributions Analysis. America Institute of Physics, 1351:284-286.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

USO DE ZEOLITA ENRIQUECIDA COMO FERTILIZANTE EN SUELOS ÁRIDOS: EVALUACIÓN DE LA VOLATILIZACIÓN DE AMONIACO

Torres-Gómez, A.[1]; Alonso-Lemus, I.[2]; Flores-Rentería, D.[2*]

[1]Grupo de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Saltillo. Ramos Arizpe, Coahuila. México.
[2]CONACyT-Cinvestav, Unidad Saltillo. Ramos Arizpe, Coahuila. México.

*Autor responsable: yaahid.flores@cinvestav.edu.mx; Calle Av. Industria Metalúrgica Núm. 1062, Col. Parque Industrial, Ramos Arizpe, Coahuila. México. CP 25900; Tel. +52 844 438 96 46

Resumen

La intervención antropogénica ha causado que los gases de efecto invernadero (GEI) hayan incrementado su concentración en la atmosfera, la agricultura, una de las actividades económicas principal a nivel global es responsable de casi un cuarto de las emisiones de GEI. La volatilización de amoniaco en el sector agrícola se ha incrementado debido al uso de fertilizantes nitrogenados principalmente aquellos que contienen urea. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el uso de zeolita Clinoptilolita (zeo CLI) natural enriquecida con amonio como fertilizante mejorador de suelos y mitigador de la volatilización de amoniaco en zonas áridas. Para ello, se enriqueció zeo CLI con amonio a través del intercambio iónico y se determinó la volatilización de amoniaco en suelos fertilizados con dicha zeolita enriquecida y sin enriquecer, así como con aplicación directa de amonio en solución. Los resultados mostraron que la zeo CLI enriquecida con amonio mejora las propiedades químicas del suelo, además de disminuir notablemente la volatilización de amoniaco en comparación con la aplicación de un fertilizante de amonio en solución. Por otra parte, la aplicación de zeo CLI sin enriquecer mejoró en menor medida las propiedades químicas del suelo, además de registrar también una disminución en la volatilización de amoniaco en comparación con el suelo sin zeo CLI, ambos sin fertilizar. El uso de zeo CLI enriquecida con amonio, es una alternativa como mejorador de suelos y mitigador de la volatilización de amoniaco, para suelos de zonas áridas.

Palabras clave

Zeolita clinoptilolita, volatilización de amoniaco, fertilizante, zonas áridas, Coahuila

Introducción

Las actividades antropogénicas han incrementado las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI), causando serios deterioros al medio ambiente, México contribuye con el 1.67% de estas emisiones las cuales se originan principalmente por medio de las fuentes móviles, la industria y la agricultura. El sector agrícola contribuyó con el 24% de las emisiones a nivel global en 2014, en México este sector aporta el 12% del total de las emisiones de GEI, de acuerdo con la Secretaria de Medio Ambiente del estado de Coahuila y el Centro para Estrategias Climáticas, en Coahuila se emitieron 1.44 millones de toneladas de CO_2-e (Garzón and Cárdenas, 2013; Saynes Santillán *et al.*, 2016).

En el estado de Coahuila el sector agrícola requiere de fertilización ya que sus suelos son áridos y por ende muy pobres de nutrientes necesarios para cualquier cultivo. El fertilizante más utilizado por los agricultores es la urea (fuente de nitrógeno), debido a su bajo costo y fácil manejo,

sin embargo, no todo el nitrógeno es aprovechado por los cultivos, gran parte se pierde por lixiviación y volatilización en forma de amoniaco (Paredes, 2013; SIAP, 2017).

La volatilización de amoniaco en la atmósfera ha cobrado cada vez más importancia, pues a pesar de no estar considerado como un GEI, es precursor en la formación de GEI tales como el óxido nitroso y de óxido nítrico, a la vez el amoniaco puede reaccionar en la estratosfera debilitando la capa de ozono, para caer finalmente al suelo en forma de ácido nítrico (Garzón and Cárdenas, 2013). El incremento de la presencia de amoniaco en la atmósfera registrado de 2002 a 2016, se ha relacionado fuertemente con el uso de fertilizantes, la acumulación de desechos de animales, y a la menor retención de amoniaco por parte de suelos de regiones cálidas (Warner *et al.*, 2016).

Una de las alternativas para suplir a los cultivos de los nutrientes necesarios es el uso de fertilizantes minerales naturales. La zeolita natural y en particular la de tipo clinoptilolita, ha sido poco aprovechada en el país a pesar de que su uso en la agricultura ha sido ampliamente recomendado por la FAO (Halliday and Trenkel, 1992).

Materiales y Métodos

Se utilizó suelo de una parcela agrícola localizada en el municipio de General Cepeda Coahuila, Hda. San Isidro de Gómez (25°18’05.55” N, 101°23’26.35” E). El municipio de General Cepeda tiene suelos calcáreos que se caracterizan por presentar bajo contenido de materia orgánica y nutrientes, así como una alta tensión hídrica (Guzmán Méndez, 2014). Se determinó el pH del suelo en agua 1:2.5 suelo: agua por el método del pH metro y la conductividad eléctrica por el método de conductímetro (Orion Star A212 marca Thermo Scientific) (SEMARNAT, 2000). La cantidad de materia orgánica se determinó por el método de calcinación (Schulte and Hopkins, 1996). Además, la concentración de amonio en suelo y en la zeo CLI se estimó por el método de Nessler. La capacidad de retención de agua a saturación se determinó de acuerdo a lo reportado por Shuster y colaboradores (Shuster *et al.*, 2015), la textura del suelo, se determinó de acuerdo al método del hidrómetro y al triángulo de texturas, basado en la clasificación del USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América por sus siglas en inglés) (Vargas, 2009).

Para determinar la volatilización de amoniaco se utilizó un sistema de colección de amonio semi abierto estático. Para ello, se diseñaron trampas basados en el modelo propuesto por Nommik en 1973 (da Silva Araújo *et al.*, 2010). Este sistema de medición contempla que el amonio del suelo y el amoniaco que hay en la atmosfera cercana al suelo tienden a estar en equilibrio donde, además, es necesaria la ventilación del sistema para que se lleve a cabo la volatilización y que no se hagan microclimas que interfieran con el proceso de volatilización (de Sousa *et al.*, 2016; F. O. García, 1996). Se utilizó un diseño factorial para determinar las diferencias de la volatilización de amoniaco, utilizando zeo CLI enriquecida y sin enriquecer al 2% en peso, y cultivo de cilantro con sus respectivos controles. Como unidad experimental se utilizaron mesocosmos de 50 X 30 X 17 cm, en los que se colocaron 10 kg de sustrato (suelo y suelo con zeolita al 2% en peso), de acuerdo con los tratamientos analizados. Se establecieron tres mesocosmos de cada uno de los tratamientos distribuido en 6 bloques al azar. Una vez establecidos los mesocosmos, se procedió a la siembra por voleo de cilantro (*Coriandrum sativum*).

Resultados y Discusión

El suelo agrícola que se utilizó en el presente estudio presentó pocos nutrientes, bajo contenido de materia orgánica y pH alcalino (Cuadro 1), características propias de suelos áridos (Navarro Blaya and Navarro-García, 2003; Vargas, 2009).

La zeo CLI enriquecida demostró ser un mejorador de suelos en el sentido que mejoró sus propiedades. El análisis de varianza mostró un efecto significativo del factor zeo CLI (con tres niveles, enriquecida, sin enriquecer, y sin adición) sobre las propiedades iniciales y finales del suelo a excepción del contenido de materia orgánica y agua a saturación. Las mediciones finales de pH mostraron valores menores en los tratamientos que tenían zeo CLI enriquecida, muy cercano a neutro, lo que permite a los cultivos la absorción de nutrientes como, el nitrógeno, fosforo, potasio y azufre que son mayormente disponibles a estos niveles de pH (Barbaro et al., 2014). De acuerdo con los indicadores de la calidad de los suelos (García *et al.*, 2012), el aumento de nutrientes (amonio), así como la neutralización del pH, aunado a la mayor conductividad eléctrica indican que el mejor tratamiento fue suministrar zeo CLI enriquecida.

Cuadro. 1 Propiedades iniciales y finales del suelo con y sin zeo CLI (enriquecida y sin enriquecer).

	Propiedades	zeo CLI ENR	zeo CLI	Sin zeo CLI
Iniciales	pH	8.60 ± 0.10^{ab}	8.80 ± 0.06^{a}	8.36 ± 0.02^{b}
	CE (μScm^{-1})	410.37 ± 58.82^{a}	203.27 ± 5.67^{a}	143.70 ± 3.50^{a}
	MO (%)	1.43 ± 0.04^{a}	1.43 ± 0.04^{a}	1.43 ± 0.04^{a}
	AS (%)	0.27 ± 0.07^{a}	0.26 ± 0.01^{a}	0.23 ± 0.00^{a}
	NH_4^+ (ppm)	13.19 ± 0.13^{a}	3.49 ± 0.54^{b}	1.41 ± 0.08^{c}
Finales sin cultivo	pH	6.81 ± 0.03^{b}	6.97 ± 0.01^{b}	8.08 ± 0.16^{a}
	CE (μScm^{-1})	1898.00 ± 81.75^{a}	1235.33 ± 138.68^{b}	1402.67 ± 34.37^{b}
	MO (%)	1.61 ± 0.06^{a}	1.61 ± 0.05^{a}	1.66 ± 0.15^{a}
	AS (%)	0.26 ± 0.01^{a}	0.28 ± 0.01^{a}	0.28 ± 0.00^{a}
	NH_4^+ (ppm)	3.64 ± 0.03^{a}	1.51 ± 0.09^{c}	2.44 ± 0.08^{b}
Finales con cultivo	pH	6.62 ± 0.14^{b}	7.02 ± 0.05^{b}	7.90 ± 0.15^{a}
	CE (μScm^{-1})	2378.33 ± 303.82^{a}	1398.33 ± 66.14^{a}	1357.00 ± 265.76^{a}
	MO (%)	2.27 ± 0.13^{a}	1.86 ± 0.08^{a}	1.97 ± 0.26^{a}
	AS (%)	0.29 ± 0.02^{a}	0.28 ± 0.01^{a}	0.29 ± 0.01^{a}
	NH_4^+ (ppm)	5.75 ± 0.11^{a}	2.16 ± 0.02^{b}	2.01 ± 0.05^{b}

La volatilización de los primeros cinco días después de la fertilización fue más del 70% para los tratamientos con zeo CLI enriquecida, más del 50% para los tratamientos con zeo CLI sin enriquecer y más del 40% en los tratamientos sin zeo CLI (Fig. 1). La volatilización acumulada en los primeros 15 días (ACC) fue significativamente mayor en los tratamientos que contenían zeo CLI enriquecida, seguida de los tratamientos que no contenían zeo CLI, independientemente del cultivo (Fig. 1). Los tratamientos que presentaron menor volatilización de amoniaco fueron los tratamientos con zeo CLI sin enriquecer, estos datos se corresponden con las investigaciones realizadas por Palanivell y colaboradores (2016) en donde observaron cómo influye el riego y el pH en la volatilización de amoniaco y cómo al igual que en el presente estudio, dicha volatilización es mitigada por la zeo CLI.

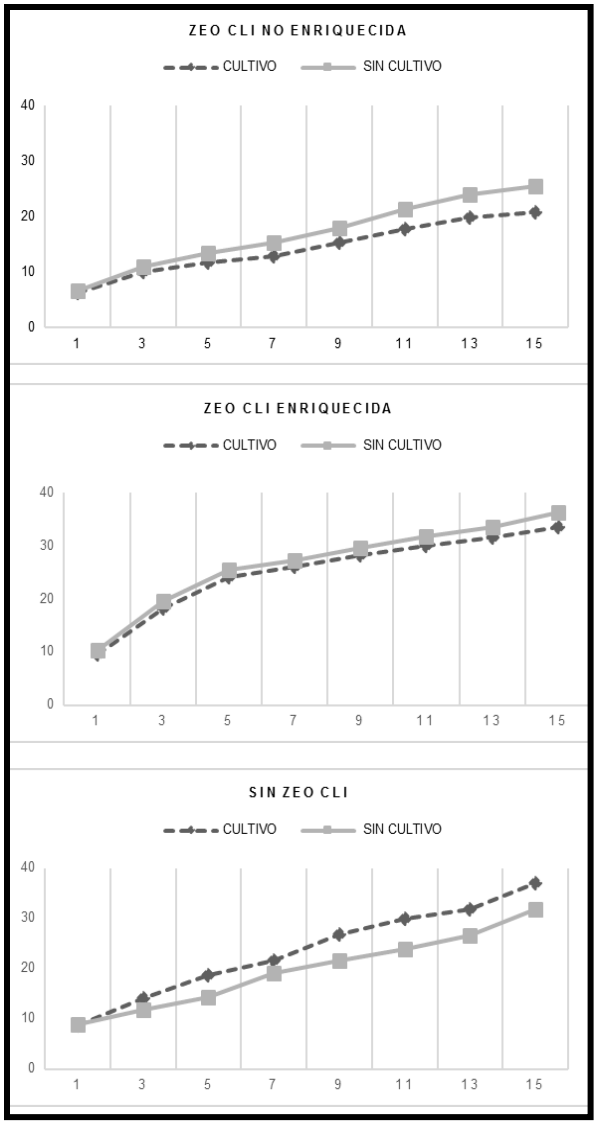


Figura 1. Gráficas de volatilización de amoniaco acumulada.

Al comparar la volatilización de amoniaco en suelos con zeo CLI enriquecida y en suelos fertilizado con 17.5 g de amonio en solución (equivalente a la cantidad de amonio suministrada por el tratamiento a comparar), se observa una volatilización significativamente mayor en estos últimos (Fig. 2). En ambos casos, la mayor volatilización se presentó el primer día de medición, inmediatamente después de la fertilización, se volatilizaron 1444.68 ppm de amoniaco en promedio en el tratamiento con solución, y 15 ppm en el caso del tratamiento con zeo CLI enriquecida (Fig.2). Esta disminución en la volatilización de amoniaco se debe a que después de 15 días el amonio en el suelo llega a un equilibrio con el amoniaco de la atmosfera (Leal *et al.*, 2008).

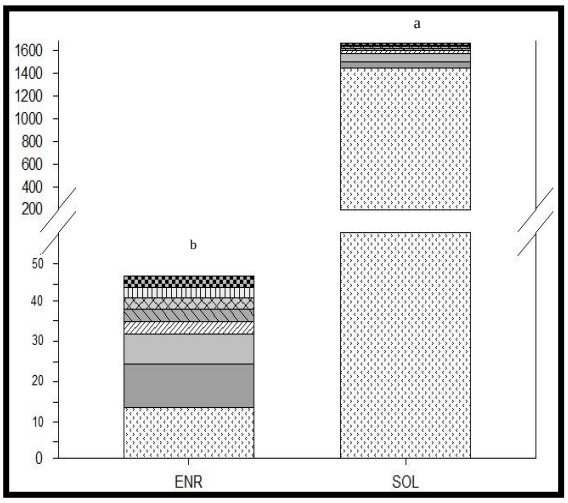


Figura 2. Volatilización de amoniaco acumulada Solución y zeo CLI

Conclusiones

La zeo CLI sin enriquecer disminuyó significativamente la volatilización de amoniaco en comparación con el suelo sin fertilizantes en casi un 33%. La zeo CLI enriquecida con amonio como fertilizante nitrogenado disminuyó significativamente la volatilización de amoniaco en comparación de fertilizantes nitrogenados en más del 90%. El uso de zeolitas naturales podría disminuir el impacto de la agricultura en su emisión de amoniaco a la atmósfera.

Agradecimientos

A la Dra. Mayra Figueroa, por su apoyo para las determinaciones de amoniaco. A los laboratorios generales del CINVESTAV, Unidad Saltillo, por su apoyo en la caracterización del material zeolítico. Andrés Torres contó con una beca de posgrado del CONACYT para sus estudios de Maestría.

Referencias

Abdurrahman, H., B. Fatih, M. Fatih and Y. Mustafa. 2004. Reclamation of saline-sodic soils with gypsum and MSW compost. J. Compost Sci. Util. 12: 175-179.

Barbaro, L., M. Karlanian, D. Mata. 2014. Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. Instituto de Floricultura, Argentina.

Chaney, D.E., L.E. Drinkwater and G.S. Petty-grove. 1992. Organic Soil Amendments and Fertilizers. Division of Agriculture and Natural Resources Nº 21505. University of California. Oakland, CA, EEUU. 36 pp.

da Silva Araújo, E., T. Marsola, M. Miyazawa, L. de Barros Soares, S. Urquiaga, R. Boddey, and B. Alves. 2010. Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. P.Agro. Bras. 44:769-776

de Sousa , G. C., A. C. Ferrari, A. Fontana, J. C. Polidoro, L. d. A. M. Coelho, and E. Zonta. 2016. Volatilização de amônia proveniente de fertilizantes minerais mistos contendo ureia. P. Agro. Bras. 51:1686-1694

García, F. O. 1996. El ciclo del nitrógeno en ecosistemas agrícolas. Balcarce, Argentina: EEA INTA-Fac. Cien. Agr. 16.

García, Y., W. Ramírez, and S. Sánchez. 2012. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. Pastos y Forrajes 35:125-138

Garzón, J. E., and E. A. Cárdenas. 2013. Emisiones antropogénicas de amoniaco, nitratos y óxido nitroso: compuestos nitrogenados que afectan el medio ambiente en el sector agropecuario colombiano. Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia 60:121-138

Gharaibeh, M.A., N.I. Eltaif and O.F. Shunnar. 2009. Leaching and recla- mation of calcareous saline-sodic soil by moderately saline and moderate-SAR water using gypsum and calcium chloride. J. Plant Nutr. Soil Sci. 172: 713-719.

Giese, M., Y.Z. Gao, S. Lin and H. Brueck. 2011. Nitrogen availability in a grazed semi-arid grassland is dominated by seasonal rainfall. Plant Soil 340: 157-167.

Gupta, R.K., C.P. Singh and I.P. Abrol. 1985. Dissolution of gypsum in alkali soils. Soil Sci. 140: 382-386.

Guzmán Méndez, C. 2014. *Diagnóstico de la Red de Valor Nuez en el Estado de Coahuila.* (Licenciatura), Universidad Autonóma Antonio Narro, Saltillo, Coahuila.

Halliday, D., and M. Trenkel. 1992. IFA world fertilizer use manual (IFA Ed.). París, Francia: International Fertilizer Association. 600.

Leal, L., A. Salamanca, and S. Sadeghian. 2008. Pérdidas de nitrógeno por volatilización en cafetales en etapa productiva. Cenicafe 58:3.

Navarro Blaya, S. and G. Navarro-García. 2003. Química agrícola. Madrid, España, Grupo Mundi-Prensa.

Palanivell, P., O.H. Ahmed, and N.M. Ab Majid. 2016. Minimizing ammonia volatilization from urea, improving lowland rice (cv. MR219) seed germination, plant growth variables, nutrient uptake, and nutrient recovery using clinoptilolite zeolite. Arch. Agron. Soil Sci. 62: 708-724.

Paredes, R. 2013. *Zeolita natural: Alternativa ecológica y económica para la agricultura de temporal en México*. (978-607-37-0014-6). Mexico: INIFAP.

Saynes Santillán, V., J. Etchevers Barra, F. Paz Pellat, and L. Alvarado Cárdenas. 2016. Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México. Terra Latinoamericana 34:83-96

Schulte, E., and B. Hopkins. 1996. Estimation of organic matter by Weight Loss-On-Ignition New York, USA: Soil Science Society of America. 67.

SEMARNAT. 2000. NOM-021-RECNAT-2000. México: Diario Oficial de la Federación

Shuster, W., S. Dadio, C. Burkman, S. Earl, and S. Hall. 2015. Hydropedological assessments of parcel-level infiltration in an arid urban ecosystem. Soil Science Society of America Journal 79:398-406

SIAP. 2017. Uso de fertilizantes químicos en la superficie sembrada por entidad federativa 2016. Mexico Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Retrieved from www.gob.mx.

Vargas, R. 2009. Guía para la descripción de suelos (Cuarta ed.). Roma, Italia: FAO. 100.

Warner, J., Z. Wei, L. Strow, R. Dickerson, and J. Nowak. 2016. The global tropospheric ammonia distribution as seen in the 13-year AIRS measurement record. Atmospheric Chemistry and Physics 16:5467-5479

Watson, C.A., D. Atkinson, P. Gosling, L.R. Jackson and F.W. Rayns. 2002. Managing soil fertility in organic farming systems. Soil Use Manag. 18: 239-247.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

PROPIEDADES DEL SUELO ASOCIADAS AL SECUESTRO INORGÁNICO DE CARBONO: RUTA OXALATO-CARBONATO

Estrada-Medina, H.[1*]; Álvarez-Rivera, O.[1]; Jiménez-Osornio J.[1]; O'Connor-Sánchez A.[2]; Navarro-Alberto J.[3]; Ferrer-Ortega M.[1]; Canto-Canché B.[2]

[1]Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.
[2]Unidad Académica de Biotecnología. Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.
[3]Departamento de Ecología. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Autónoma de Yucatán.

*Autor responsable: hector.estrada@correo.uady.mx; Kilómetro 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil. s/n, Mérida, Yucatán, México. CP. 97100. +52(999)9423212

Resumen
La ruta oxalato-carbonato (ROC) permite el secuestro inorgánico de dióxido de carbono (CO_2) atmosférico a partir del oxalato de calcio (CaOx) producido por las plantas (oxalogénicas) y su transformación en carbonato de calcio ($CaCO_3$) por bacterias (oxalotróficas). *Brosimun alicastrum* es una especie arbórea perenne que participa activamente en la ROC; y puede encontrarse en vegetación silvestre y huertos familiares. Se analizó el contenido de CaOX en el suelo y su relación con algunas propiedades fisicoquímicas edáficas en vegetación silvestre y huertos familiares de Tzucacab, Yucatán. Se tomaron 20 muestras de suelo asociadas al mismo número de árboles de *B. alicastrum* tanto en huertos familiares como en vegetación silvestre. El contenido de CaOx se determinó con un kit enzimático comercial. Adicionalmente se analizaron: pH, potencial REDOX, calcio y carbonatos de las muestras de suelo y se calculó el índice de correlación de Sperman de cada una con el contenido de CaOx. Los suelos de vegetación silvestre tuvieron mayor contenido de CaOx (576.93±471.86 mg kg^{-1}) que los de huertos familiares (26.76±19.48 mg kg^{-1}). Se encontraron correlaciones en vegetación silvestre, positivas entre el contenido de CaOx y el contenido de calcio y carbonatos y, una correlación negativa con el potencial REDOX. Las prácticas de manejo realizadas en los huertos familiares, tales como las podas, remoción y quema de hojarasca disminuyen el aporte de materia orgánica al suelo y por consiguiente de CaOx, y junto con cambios en el potencial REDOX influyen en el secuestro inorgánico de carbono en vegetación silvestre y huertos familiares.

Palabras clave
Secuestro inorgánico de carbono; *Brosimum alicastrum*, agroecosistemas tradicionales

Introducción
La ruta metabólica oxalato-carbonato permite secuestrar CO_2 atmosférico y almacenarlo en el suelo en forma inorgánica, esto debido a una compleja interacción entre plantas, hongos y bacterias (Cailleau *et al*., 2005; Verrecchia *et al*., 2006). Este proceso inicia con la fijación del CO_2 atmosférico por las plantas durante la fotosíntesis, el cual es utilizado para la generación de biomasa y producción de ácidos orgánicos, entre los que se encuentra el ácido oxálico ($H_2C_2O_4$) (Cailleau *et*

al. 2004; Verrecchia *et al*. 2006). El ácido oxálico se combina con el calcio que las plantas toman de suelo, y como resultado, se produce oxalato de calcio (CaC_2O_4); el cual se almacena en forma de cristales en las vacuolas de unas células especializadas denominadas ideoblastos (Franceschi y Nakata, 2005). Los cristales de oxalato de calcio son liberados al suelo por senescencia y descomposición de los tejidos vegetales (Cailleau *et al*. 2004); así mismo, aunque menos estudiadas, algunas especies de hongos tienen la capacidad de depositar cristales de oxalato al suelo, lo cual incrementa los aportes de este compuesto (Horner y Wagner, 1995; Verrecchia *et al*. 2006). Los cristales de oxalato de calcio y el amonio en el suelo son utilizados como fuente de energía por un grupo de bacterias diverso, que, como resultado final de su metabolismo, depositan carbonato de calcio al suelo (Sahin, 2003; Cailleau et al. 2005; Hervé et al. 2016; Verrecchia *et al*. 2006).

Brosimum alicastrum es una especie arbórea que se ha reportado como oxalogénica, es decir, produce oxalato de calcio y lo almacena en sus tejidos (Rowley *et al*. 2018). Esta especie tiene una gran diversidad de usos, entre los que destaca el alimenticio, medicinal, forrajero entre otros (Pennington y Sarukhan, 1968), por lo que es considerada una especie de importancia económica, social y ambiental. En la península de Yucatán, se distribuye tanto en vegetación silvestre, como en huertos familiares. Los suelos forestales en los que se distribuye la vegetación silvestre tienen horizontes O bien desarrollados y, de manera general, una mayor diversidad de micro y macrobiota descomponedora que los suelos agrícolas (Binkley y Richards, 2012). La disminución o pérdida del horizonte O afecta las propiedades fisicoquímicas del suelo, por lo que se espera una disminución en el contenido de oxalato de calcio en los suelos de huertos familiares y cambios en otras propiedades fisicoquímicas del suelo, principalmente en el contenido de carbonatos y calcio disponible. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue comparar y analizar el contenido de oxalato de calcio y propiedades fisicoquímicas del suelo asociadas a la ruta oxalato-carbonato en suelos adyacentes a *B. alicastrum* en huertos familiares y vegetación silvestre del municipio de Tzucacab, Yucatán, México.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el municipio de Tzucacab, Yucatán, localizado entre las coordenadas 19° 49’ y 20° 10’ latitud norte y 88° 55’ y 89° 10’ latitud oeste (INEGI, 2009). El municipio presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (INEGI, 2009) con una temperatura media anual de 25.5 °C y una precipitación total promedio de 1,240.4 mm anuales (CONAGUA, 2018). Geológicamente se encuentra constituido en un 83.32% de su superficie por roca sedimentaria caliza, siendo los Luvisols (64.11%) la principal unidad de suelo, asociados con Vertisols (20.18%), Phaeozems (12.69%) y Leptosols (1.56%) (INEGI, 2009).

Muestreo

El muestreo se hizo en cinco huertos familiares de la localidad de Catmís y cinco sitios de vegetación silvestre en la localidad de Pisteakal; en cada huerto familiar y sitio seleccionaron 4 árboles de *Brosimun alicastrum*.

Como criterios de selección para los árboles adultos se consideraron: 1) un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor a 15 cm, 2) árboles en la misma etapa fenológica y 3) individuos sanos (sin ningún daño aparente por plaga o enfermedad).Se colectó una muestra del suelo asociado a cada uno de los 40 árboles, a una profundidad 0-30 cm y se colocaron en bolsas de papel.

Análisis de laboratorio

Los análisis de laboratorio se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Agua (LASPA) de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). Previo a los análisis fisicoquímicos, las muestras de suelo se secaron a 105 °C durante 48 horas y se tamizaron a 2 mm. La concentración de oxalato de calcio en tejidos vegetales y suelo se cuantificó con un kit enzimático comercial (Trinity Biotech Plc) de acuerdo a las instrucciones del fabricante y considerando las modificaciones propuestas por Certini *et al*. (2000); Cailleau *et al*. (2014) y Rowley *et al*. (2018). Se realizaron los siguientes análisis fisicoquímicos: pH en agua relación 1:2 (Thomas, 1996), potencial REDOX (Patrick et al. 1996), carbonatos (Loepert y Suárez, 1996), y calcio por método flamométrico (Suarez, 1996).

Análisis estadísticos

Previo a los análisis estadísticos se analizaron los supuestos de normalidad (Prueba Shapiro-Wilk, $p > 0.05$) y homogeneidad de varianzas (Prueba Levene, $p > 0.05$). Para los análisis de contenido de oxalato se realizaron pruebas t para muestras independientes. Para el análisis de las propiedades fisicoquímicas del suelo se realizaron pruebas de Wilcoxon y se estimó el tamaño del efecto entre usando el estadístico eta2. Los índices de correlación de Spearman (r_s) entre el contenido de oxalato en el suelo y las propiedades fisicoquímicas del suelo, se analizaron ajustando el valor p multiplicándolo por el número de comparaciones múltiples. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa R (R Core Team 2018), usando RStudio Version 1.1.452 (RStudio Team, 2016) como interfaz de programación.

Resultados y Discusión

Los suelos de vegetación silvestre presentaron 576.93 (±471.86) mg kg^{-1} de oxalato de calcio, mientras que los de huertos familiares presentaron 26.76 (±19.48) mg kg^{-1}. Esta diferencia, puede estar relacionada con una disminución o pérdida del horizonte O, como consecuencia de las tres principales prácticas de manejo de *B. alicastrum* en los huertos familiares: i) poda de los árboles para la obtención de follaje para venta/uso como forraje, ii) remoción de la hojarasca del suelo (limpieza) y iii) quema de la hojarasca *in situ*. La poda de los árboles y la remoción de hojarasca del suelo disminuyen el aporte de cristales de oxalato de calcio al suelo; mientras que la quema de la hojarasca puede ocasionar la conversión de los cristales de oxalato de calcio en carbonato de calcio (Cailleau et al. 2011).

Cuadro 1. Estadísticos de las propiedades fisicoquímicas edáficas (media y desviación estándar) y su comparación entre suelos de huerto familiar y vegetación silvestre (P= probabilidad; eta^2= tamaño del efecto).

Variable	Huerto Familiar	Vegetación Silvestre	P	eta^2
pH	7.23 (0.15)	6.95 (0.20)	<0.01	0.39
Potencial REDOX	25.54 (26.35)	-9.51 (17.98)	<0.01	0.39
Carbonatos	0.26 (0.17)	0.06 (0.03)	<0.01	0.41
Calcio	16.90 (2.08)	19.29 (6.55)	0.44	0.06

Los suelos de huertos familiares se caracterizan por un pH ligeramente más alcalino, un potencial REDOX 19 veces mayor; una concentración de carbonatos cuatro veces mayor; y concentraciones de calcio similares (Cuadro 1). Las diferencias en pH y potencial REDOX indican condiciones oxidantes en los suelos de huertos familiares y reductoras en vegetación silvestre. No se encontró ninguna correlación significativa entre las propiedades fisicoquímicas de los suelos y el contenido de oxalato de calcio en huertos familiares; mientras que en vegetación silvestre se observaron correlaciones positivas entre el contenido de oxalato de calcio y i) el contenido de carbonatos, y ii)

el contenido de calcio; así como una correlación negativa con el potencial REDOX (Cuadro 2). Las correlaciones positivas sugieren un mayor secuestro inorgánico de carbono vía la ruta oxalato-carbonato, lo que incrementa la cantidad de carbonatos y calcio intercambiable en suelos de vegetación silvestre. Se sabe, que cuando el suelo presenta condiciones anaerobias, el proceso de desnitrificación se incrementa, por lo que la proporción de amonio (NH_4^+) con relación a los nitritos o nitratos es mayor (Cameron y Moir, 2013); siendo el amonio es un compuesto necesario para la síntesis de carbonato de calcio a partir de CaOx (Verrecchia *et al*., 2006); en vegetación silvestre la conversión de oxalato de calcio a carbonato de calcio puede ser más eficiente.

Cuadro 2. Estadísticos para el análisis de correlación de Spearman (r_s = índice, P,= probabilidad) entre el contenido de oxalato de calcio y propiedades fisicoquímicas edáficas

Variable	Huerto familiar		Vegetación silvestre	
	r_s	P	r_s	P
Calcio	-0.071	1.0	0.911	<0.01
Carbonatos	-0.192	1.0	0.885	<0.01
REDOX	-0.04	1.0	-0.625	0.02
pH	0.149	1.0	0.252	1.0

Los resultados sugieren que en los sitios en que hay mayor concentración de oxalatos de calcio, la concentración de carbonatos es menor, mientras que la de calcio es similar. Rowley e*t al*. (2018) encontraron una gran variación en las concentraciones de carbonatos y calcio en los suelos bajo la copa de *B. alicastrum*, que estarían explicadas tanto por la producción diferencial de oxalato de calcio de los árboles, como por características químicas del suelo. El incremento en carbonatos en los suelos de huertos familiares puede estar asociado a la descarga de aguas grises como práctica frecuente en este agroecosistema Estrada-Medina *et al*. (2018), puesto que el carbonato de sodio es uno de los ingredientes más usados en la preparación de los detergentes comerciales.

Conclusiones

Las prácticas de manejo de *B. alicastrum* que se realizan en los huertos familiares influyen en la dinámica del oxalato de calcio, reduciendo el aporte de los cristales que se producen en la planta al suelo. Por las condiciones reductoras, en los suelos de vegetación silvestre la conversión de oxalato de calcio en carbonato de calcio, puede ser más eficiente que en los huertos familiares.

Agradecimientos

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) financió la investigación (CB 2014-236428) y otorgó la beca de maestría (603903). Grelty Pech, Antonio Pacheco, Ángel Dorantes, Nataly Naal e Ismael Jiménez, por su gran contribución en los muestreos y procesamiento de muestras. Los dueños de los huertos familiares que amablemente permitieron la realización de este estudio y a don Felipe Nery de la localidad de Pisteakal, Tzucacab por su apoyo como guía de campo y en la colecta de las muestras.

Referencias

Binkley, D., & Fisher, R. (2012). Ecology and management of forest soils. John Wiley & Sons.

Cailleau G, Braissant O, Dupraz C, Aragno M, Verrecchia EP (2005) Biologically induced accumulations of $CaCO_3$ in orthox soils of Biga, Ivory Coast. *Catena*, *59*(1), 1-17.

Cailleau G, Braissant O, Verrecchia EP (2004) Biomineralization in plants as a long-term carbon sink. Naturwissenschaften, 91(4), 191-194. DOI: 10.1007/s00114-004-0512-1.

Cailleau G, Braissant O, Verrecchia EP (2011) Turning sunlight into stone: the oxalate-carbonate pathway in a tropical tree ecosystem. Biogeosciences, 8(7), 1755. DOI: 10.5194/bg-8-1755-2011.

Cameron KC, Di HJ, Moir JL, (2013) Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. *Annals of applied biology*, 162(2), 145-173. DOI:10.1111/aab.12014.

Certini G, Corti G, Ugolini FC (2000) Vertical trends of oxalate concentration in two soils under *Abies alba* from Tuscany (Italy). *Journal Plant of Nutrition and Soil Science* 163:173–177. DOI:10.1002/(sici)1522-2624(200004)163:2<173::aidjpln173>3.0.co;2-h.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2018). Información climatológica por estado. Comisión Nacional del Agua. Disponible en: https://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=yuc. Consultado: 29 de mayo de 2018.

Estrada-Medina H, Montañez-Escalante P, Trejo-Salazar LE, Barrientos-Medina R, López-Díaz M, Alvárez-Rivera O Effects of greywater discharges on shallow soil properties. International Journal of Agriculture and Enviromental Research. 4 (1) January-February.

Franceschi VR, Nakata PA (2005) Calcium oxalate in plants: formation and function. Annual Review of Plant Biology, 56, 41-71. DOI:10.1146/annurev.arplant.56.032604.144106

Hervé V, Junier T, Bindschedler S, Verrecchia E, Junier P (2016) Diversity and ecology of oxalotrophic bacteria. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 32(2), 28. DOI: 10.1007/s11274-015-1982-3.

Horner HT, Wagner BW (1995) Calcium oxalate formation in higher plants. In: S.R. Khan (Ed.), Calcium Oxalate in Biological Systems, CRC Press, Boca Raton, FL, 1995, pp. 53–71.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2009) Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Tzucacab, Yucatán. Clave geoestadística 31098.

Kuo S (1996) Phosphorous. In: Sparks DL (ed) Methods of Soil Analysis: Part 3. Chemical Methods. Agronomy Monograph. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 869–920.

Loepert R, Suárez D (1996) Carbonate and Gypsum. In: Sparks DL (ed) Methods of Soil Analysis: Part 3. Chemical Methods. Agronomy Monograph. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, WI, USA pp. 551-574.

Patrick WH Jr, Gambrell RP, Faulkner SP (1996) REDOX measurements of Soils. In: Sparks DL (ed.) Methods of Soil Analysis: Part 3. Chemical Methods. Agronomy Monograph. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 1085–1123. 23.

Pennington TD, Sarukhan Kermez J (1968) Arboles tropicales de México. In *Arboles* tropicales de Mexico. INIF.

R Core Team (2018) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/

Rowley MC, Estrada-Medina H, Tzec-Gamboa M, Rozin A, Cailleau G, Verrecchia EP, Green I (2018) Moving carbon between spheres, the potential oxalate-carbonate pathway of *Brosimum alicastrum* Sw.; Moraceae. *Plant and Soil*, *412*(1-2), 465-479. DOI: 10.1007/s11104-016-3135-3.

RStudio Team (2016). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA URL http://www.rstudio.com/.

Sahin N (2003) Oxalotrophic bacteria. *Research in Microbiology*, *154*(6), 399-407. DOI: https://doi.org/10.1016/S0923-2508(03)00112-8.

Suarez DL (1996) Beryllium. Magnesium, Calcium, Strontium, and Barium. In: Sparks DL (ed) Methods of Soil Analysis: Part 3. Chemical Methods. Agronomy Monograph. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, WI, USA pp. 551-574.

Thomas GW (1996) Soil pH and soil acidity. In: Sparks DL (ed) Methods of Soil Analysis: Part 3. Chemical Methods. Agronomy Monograph. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 475–490.

Verrecchia EP, Braissant O, Cailleau G (2006) The oxalate-carbonate pathway in soil carbon storage: the role of fungi and oxalotrophic bacteria. Fungi in biogeochemical cycles, 289-310.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD E INCERTIDUMBRE DEL PARÁMETRO CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA EN EL MODELO KINEROS

Figueroa-Jáuregui, M.L.[1*]; Martínez-Menez, M.[1]; Fernández-Reynoso, D.[1]; Ibáñez-Castillo, L.A. [2]; Ortíz-Solorio, C.A.[1]; Quero-Carrillo, A.[1]

[1] **Colegio de Postgraduados. Montecillo. Texcoco, Estado de México.**
[2] **Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México.**

*Autor responsable:lulu.figueroaj@gmail.com; Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco 56230, Estado de México.

Resumen

Se presenta un análisis de sensibilidad e incertidumbre del modelo hidrológico KINEROS, debido al parámetro conductividad hidráulica saturada (Ks), utilizando el método de simulación Monte Carlo, considerando tres eventos de diferente intensidad. Para el análisis de sensibilidad se utilizaron diferentes valores de Ks: USDA, FAO, EPA y de laboratorio, y se compararon con los incluidos en el modelo. Se presentó menor índice de sensibilidad con datos de Ks de FAO, y mayor sensibilidad utilizando valores de Ks de EPA en volumen escurrido, gasto pico y producción de sedimentos; se observaron índices de sensibilidad relativa menores en el evento de mayor intensidad y viceversa. En el análisis de incertidumbre, el error relativo absoluto fue mayor en el evento de menor intensidad, la producción de sedimentos presentó error relativo de 18.68% en el evento de mayor intensidad, y de 56.97% en el de menor intensidad; el volumen escurrido y el gasto pico mostraron errores relativos por debajo del 1%. La confiabilidad del modelo fue 89.9% para el evento de mayor intensidad, y de 79.9% en el de menor intensidad. La probabilidad de excedencia para el valor medio de Ks, es cercana al 50% en eventos de alta intensidad y, aumenta hasta 70% en eventos de intensidad baja.

Palabras clave: KINEROS, sensibilidad e incertidumbre, método Monte Carlo.

Introducción

Singh y Woolhiser (2002) señalan que un modelo hidrológico es un conjunto de funciones matemáticas de los componentes del ciclo hidrológico.

KINEROS (*Kinematic Runoff and Erosion Model*) es un modelo distribuido de base física, orientado a eventos (Woolhiser *et al.,* 1990); fue diseñado por el Servicio de Investigación Agrícola del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) para cuencas áridas y semiáridas pequeñas (<100 km^2); con el objeto de simular los procesos de intercepción, infiltración, escurrimiento superficial y erosión, en pequeñas cuencas agrícolas, pastizales y cuencas urbanas.

El modelo KINEROS ha sido probado, calibrado y validado por varios métodos que van desde cuencas artificiales de laboratorio hasta cuencas experimentales de diferentes tamaños. Los métodos de calibración y validación incluyen aproximaciones manuales simples, modificando los parámetros más sensibles como conductividad hidráulica saturada (Ks) y rugosidad, hasta métodos complejos en los que se utilizan análisis de sensibilidad global basados en la varianza (Goodrich *et al*., 2012).

Desde el inicio de la modelación hidrológica, la asignación de parámetros a los modelos no ha sido sencilla, muchos de los valores de los parámetros pueden incluir una incertidumbre considerable; por tanto, determinar un conjunto adecuado de valores de parámetros para los modelos hidrológicos es una tarea difícil e importante (Malone *et al*., 2015).

La conductividad hidráulica saturada (Ks) es un parámetro esencial para entender el movimiento del agua en el suelo, constituye uno de los parámetros físicos más importantes al estimar los componentes del balance de agua en la superficie del suelo (Aguilar y Polo, 2005). Es un insumo fundamental en los modelos de escurrimiento, drenaje y movimiento de agua en el suelo (Blanco-Canqui *et al*., 2002).

La incertidumbre es un indicador que caracteriza la dispersión de los valores de respuesta atribuidos a una variable o parámetro (Ruiz *et al*., 2010). Para estimar la incertidumbre en las salidas de un modelo se han desarrollado diferentes métodos de análisis, sin embargo, el método Monte Carlo es el más conocido y la forma más simple de muestrear toda la gama de observaciones probables de un sistema.

El análisis de sensibilidad se realiza a través de la "perturbación de parámetros", es decir, se varía un parámetro del modelo mientras el resto permanecen constantes, de modo que las variaciones realizadas en las variables de estado reflejan la sensibilidad de la solución al parámetro modificado (Aguilar y Polo, 2005).

Materiales y Métodos

El área de estudio corresponde a la cuenca Rancho Dolores en el municipio de Huajuapan de León, en la región Mixteca en el estado de Oaxaca. Geográficamente, se ubica entre las coordenadas 17°49'53" y 17°54'13" de latitud N; y 97°45'08" y 97°48'41" de longitud W. Tiene una superficie de 18.80 km^2 y pertenece a la cuenca del río Mixteco.

La sensibilidad del modelo KINEROS se cuantificó modificando los valores de Ks en la tabla de consulta de suelos y aplicando la siguiente ecuación (Lane y Nearing, 1989):

$$S = \left(\frac{R_2 - R_1}{R_{12}} \right) \Big/ \left(\frac{K_2 - K_1}{K_{12}} \right)$$

Donde:

S es el índice de sensibilidad relativa
R_1 es el escurrimiento simulado usando la conductividad hidráulica medida o de referencia
R_2 es el escurrimiento simulado usando otro valor de conductividad hidráulica
R_{12} es el promedio de R_1 y R_2
K_1 es conductividad hidráulica medida o de referencia
K_2 es conductividad hidráulica determinada por otro método
K_{12} es el promedio de K_1 y K_2

Se utilizó como simulación de referencia la correspondiente a datos de Ks de Rawls y se utilizaron 3 eventos de lluvia que se muestran en el Cuadro 1 y 2.

Cuadro 1. Valores de conductividad hidráulica saturada (cm h^{-1}) utilizados en el análisis de sensibilidad.

Textura	Rawls	USDA	FAO	EPA	Lab
Franco	1.32	0.98	1.25	1.04	0.89
Migajón arcilloso	0.23	0.29	0.13	0.26	1.24
Migajón limoso	0.68	2.55	1.67	0.45	2.78
Migajón arcillo limoso	0.15	0.38	0.42	0.07	0.90
Migajón arcillo arenoso	0.43	0.63	1.04	1.31	0.75
Limo	0.30	3.52	2.71	0.25	2.20

Rawls: Rawls *et al*. (1982), incluidos por default en la tabla de consulta del modelo KINEROS. USDA: Soil Texture Triangle Hydraulic Properties Calculator, que relaciona el porcentaje de arena y arcilla con Ks. FAO: FAO (1980). EPA: Suarez-EPA (2005). Lab: método del permeámetro de carga constante, sobre las muestras de suelo recolectadas.

Cuadro 2. Características de los eventos de precipitación utilizados.

Evento	Estación	Duración (min)	Lámina precipitada (mm)	Intensidad máxima (mm h^{-1})
12 junio 2014	Zapotitlán	110	56.29	123.42
18 julio 2015	Huajuapan	55	26.8	74.4
04 octubre 2016	Huajuapan	230	59.4	80.4

El análisis de incertidumbre se realizó a nivel subcuenca, para lo cual, se establecieron 17 sitios de muestreo y se realizaron mediciones de Ks con el método del infiltrómetro de doble cilindro.
Se utilizó el método Monte Carlo con 5000 simulaciones y se calcularon los siguientes indicadores para las variables de salida volumen total escurrido, gasto pico y producción de sedimentos:

a) Error relativo absoluto (Díaz-Ramírez, 2012):

$$ERA = \sum_{i=1}^{n}\left[\frac{Q_{i+1} - Q_i}{Q_i}\right]$$

Donde: n es el número de simulaciones Monte Carlo; Q_i es el escurrimiento simulado para la corrida i del modelo.

b) Confiabilidad del modelo: De acuerdo con Díaz-Ramírez *et al*. (2012), la confiabilidad del modelo se refiere al porcentaje de escurrimiento simulado que se encuentra dentro de los límites del intervalo de confianza establecido.

c) Probabilidad de excedencia: Se construyeron curvas de probabilidad de excedencia que describen la probabilidad de que la variable respuesta sea igual o superior a un valor dado, mientras se fijan todos los demás parámetros, para cada evento de lluvia mencionado (Hantush y Kalin, 2005).

Resultados y Discusión

El índice de sensibilidad relativa se muestra en el Cuadro 3. Este índice indica el porcentaje de variación del escurrimiento por cada 100% de Ks. Valores negativos indican que el escurrimiento es subestimado en relación con la simulación de referencia. Se observó menor sensibilidad en el volumen escurrido al utilizar datos de Ks de FAO, y mayor sensibilidad utilizando valores de Ks de EPA; los menores índices de sensibilidad relativa se presentaron en el evento de mayor intensidad. En el gasto pico se observó la mayor sensibilidad al utilizar valores de Ks de EPA, mientras que la

menor sensibilidad se mostró utilizando valores de FAO; en cuanto a los eventos de lluvia, se tiene mayor sensibilidad en el gasto pico, en el evento de mayor intensidad, contrario a lo ocurrido con el volumen escurrido. La sensibilidad del modelo en la producción de sedimentos mostró un comportamiento similar al del volumen escurrido.

Cuadro 3. Índice de sensibilidad relativa de las variables de salida de KINEROS.

Evento	Volumen total escurrido				Gasto pico				Producción de sedimentos			
	USDA	FAO	Lab	EPA	USDA	FAO	Lab	EPA	USDA	FAO	Lab	EPA
18/07/2015	-0.88	-0.86	-2.05	4.59	-0.89	-0.83	-2.10	4.71	-0.97	-1.02	-1.89	4.38
12/06/2014	-0.27	-0.23	-0.63	1.27	-2.01	-0.98	-1.98	7.33	-0.31	-0.29	-0.86	1.34
04/10/2016	-0.43	-0.37	-1.11	2.00	-0.45	-0.38	-1.05	1.76	-0.46	-0.45	-1.35	2.10

El error relativo absoluto fue menor en el evento de mayor intensidad para las tres variables de salida del modelo (Cuadro 4). La variable producción de sedimentos presentó el mayor, con 56.97% para eventos de baja intensidad y 18.68% en eventos de alta intensidad.

Cuadro 41. Error relativo absoluto (%) de las variables de salida de KINEROS.

Evento	Q	Prod Sed	Qp
12/06/14	0.039	18.680	0.037
18/07/15	0.042	56.976	0.161
04/10/16	0.212	26.580	0.074

La confiabilidad del modelo, con un intervalo de confianza de 90%, fue de 89.9% en el evento de mayor magnitud y de 79.9% en el evento de menor intensidad. En el evento del 04/10/16 se obtuvo una confiabilidad de 89.44 %, valores más altos que los obtenidos por Díaz-Ramírez *et al*. (2012), quienes reportan una confiabilidad del modelo HSPF de 65.4% utilizando el método Monte Carlo con 5000 simulaciones.

Las curvas de probabilidad de excedencia asociadas a un parámetro aleatorio, describen la probabilidad de que la variable respuesta sea igual o superior a un determinado valor, mientras los demás parámetros permanecen constantes (Figura 1).

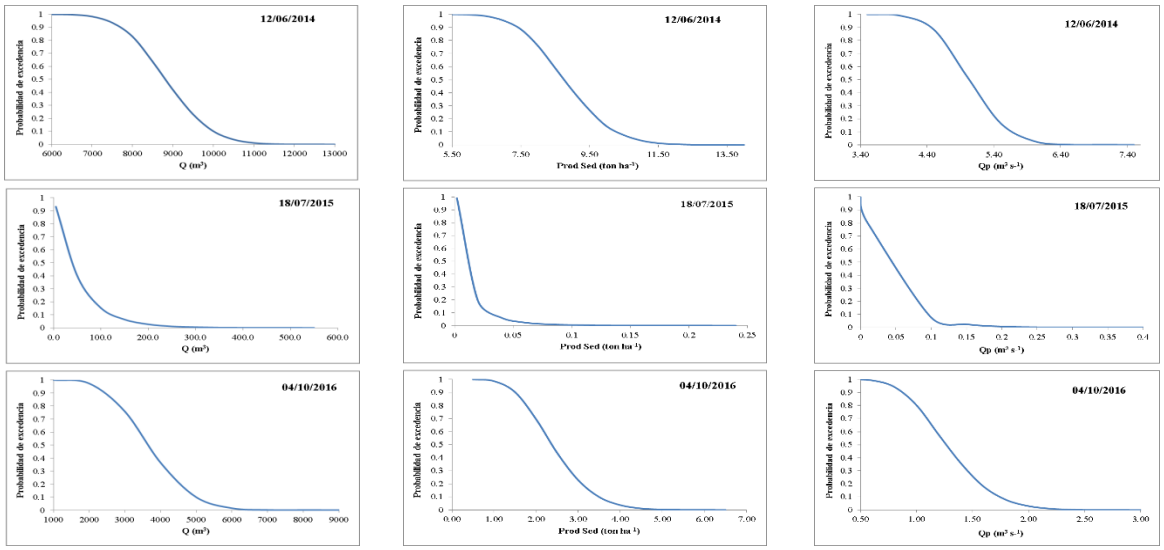


Figura 1. Curvas de probabilidad de excedencia 5000 simulaciones Monte Carlo.

La probabilidad de excedencia del volumen estimado con el valor medio de Ks en el evento de mayor intensidad fue de 52%; y de 42% para el evento de menor intensidad. En la producción de sedimentos, la probabilidad de excedencia al utilizar el valor medio de Ks fue de 51% en el evento de mayor intensidad; y de 60% en el de menor intensidad. La probabilidad de exceder el gasto pico estimado con la media de Ks fue de 55% en el evento de mayor intensidad; y de 70% en el de menor intensidad.

Conclusiones

El modelo KINEROS es muy sensible a los valores del parámetro conductividad hidráulica saturada, por lo que debe tener especial cuidado al elegir la fuente de la que se tomarán estos.
La intensidad de lluvia es un factor de gran importancia en la sensibilidad e incertidumbre del modelo, ya que el error relativo absoluto fue menor en eventos de alta intensidad y la confiabilidad del modelo también fue mayor. Por tanto, KINEROS es un modelo que funciona bien en eventos de alta intensidad, sin embargo, presenta una alta probabilidad de excedencia del escurrimiento, producción de sedimentos y gasto pico estimados con el valor medio de Ks.

Referencias

Aguilar, C. y Polo, M. J. 2005. Análisis de sensibilidad de AnnAGNPS en la dinámica de herbicidas en cuencas de olivar. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo 7: 337-343.

Blanco-Canqui, H., Gantzer, C. J., Anderson, S. H., Alberts, E. E. and Ghidey, F. 2002. Saturated hydraulic conductivity and its impact on simulated runoff for Claypan soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 66:1596–1602.

Díaz-Ramírez, J., Camacho, R., McAnally, W. and Martin, J. 2012. Parameter uncertainty methods in evaluating a lumped hydrological model. Obras y Proyectos 12: 42-56.

FAO. 1980. Drainage design factors. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 38. Rome. 52 pp.

Goodrich, D. C., Burns, I. S., Unkrich, C. L., Semmens, D. J., Guertin, D. P., Hernandez, M., Yatheendradas, S., Kennedy, J. R., Levick, L. R. 2012. KINEROS2/AGWA: model use, calibration, and validation. Transactions of the ASABE 55(4): 1561-1574.

Hantush, M. M. and Kalin L. 2005. Uncertainty and sensitivity analysis of runoff and sediment yield in a small agricultural watershed with KINEROS2. Hydrological Sciences Journal 50 (6): 1151-1171.

Lane, L.J., and M.A. Nearing. 1989. USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile Model Documentation. Rep. 2. USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, IN. 233 p.

Malone, R. W., Yagow, G., Baffaut, C., Gitau, M. W., Qi, Z., Amatya, D. M., Parajuli, P. B., Bonta, J. V. and Green, T.R. 2015. Parameterization guidelines and considerations for hydrologic models. Transactions of the ASABE 58 (6): 1681- 1703.

Rawls, W. J., Brakensiek, D. L. and Saxton, K. E. 1982. Estimation of soil water properties. Transactions of the ASAE 25 (5): 1316-1320.

Ruiz Armenteros, A. M., García Balboa, J. L. y Mesa Mingorance, J. L. 2010. Error, incertidumbre, precisión y exactitud, términos asociados a la calidad espacial del dato geográfico. En: 1er Congreso Internacional de Catastro Unificado y Multipropósito. 16 al 18 de junio de 2010. España. 1-8.

Singh, V.P. and Woolhiser, D.A. 2002. Mathematical modeling of watershed hydrology. Journal of Hydrologic Engineering. 7:4 (270-292).

Suarez, L. A. 2005. PRZM-3, A Model for Predicting Pesticide and Nitrogen Fate in the Crop Root and Unsaturated Soil Zones: User's Manual for Release 3.12.2. National Exposure Research Laboratory. U.S. Environmental Protection Agency. Athens, GA. 430 p.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA SUBCUENCA RÍO MEDIO AGUANAVAL

Pérez-Rodríguez, G.1* y López-Santos, A.1

[1]**Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA). Bermejillo, Durango. México.**

*Autor responsable: giopr30@gmail.com; Km. 40, Carretera Gómez Palacio-Chihuahua. Bermejillo, Durango. CP. 35230; Tel. +52(612)-201-6596

Resumen
El suelo es un recurso finito que se encuentra bajo una creciente y constante presión de deterioro. La erosión es un fenómeno natural o antrópico de permanente transformación de la superficie del suelo, ligado a la interacción con el agua o el viento, como principales factores degradantes. La erosión hídrica es ocasionada por la dispersión y transporte del suelo a causa del impacto de la lluvia, dependiendo de la cantidad e intensidad de la misma, las propiedades de los suelos, la pendiente y la cobertura vegetal. La importancia de la evaluación de la erosión hídrica se refleja en sus efectos como la perdida de capa arable, remoción de los nutrimentos, modificación en la filtración de agua. Se consideró la metodología propuesta por la Secretaría de Desarrollo Social y el Instituto Nacional de Ecología (SEDESOL-INE) en 1998, para estimar la erosión hídrica laminar ejecutándola a través de los SIG y técnicas geomáticas. El objetivo principal fue estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica en la subcuenca Río Medio Aguanaval, dado que no existen referencias para el área de estudio, ni de la metodología. La erosión hídrica laminar se obtuvo multiplicando los archivos raster de los calificadores (CAERO, CATEX, CATOP y CAUSO) además del IALLU, obteniendo valores de 0 a 364 t ha-1 año-1, refiriéndose a un nivel de degradación de ligera a muy alta. Se determinó que conjugar la metodología con los sistemas espaciales permite visualizar de manera más clara la distribución de la erosión hídrica laminar.

Palabras clave
Suelo; metodología SEDESOL-INE; degradación

Introducción
El suelo es el principal soporte de la vegetación, la infraestructura y el hábitat de la biodiversidad y participa de manera esencial en el funcionamiento de cualquier ecosistema. El suelo es un recurso finito que forma parte del capital natural de cualquier país, a pesar de ser el sostén de las economías agrícolas del mundo, se encuentra bajo una creciente y constante presión de deterioro (SEMARNAT, 2012). La erosión es un fenómeno natural o antrópico de permanente transformación de la superficie del suelo, esta principalmente ligado a la interacción con el agua o el viento, como principales factores degradantes (UNESCO, 2009). Se define a la erosión hídrica como la remoción del suelo debido a la acción de la lluvia (SEMARNAT, 2012). Este proceso depende principalmente de la cantidad e intensidad de las precipitaciones, las propiedades intrínsecas de los suelos, la pendiente del terreno y la cobertura vegetal (Huerta-Fernández y Loli-Figueroa, 2014). La importancia de la evaluación de la erosión hídrica se refleja en sus efectos en el sitio de incidencia, perdida de capa arable, remoción de los nutrimentos útiles a las plantas,

modificación de la velocidad de filtración de agua en el suelo, disminución de la capacidad de retención por el suelo, entre otros (Gómez-Sántiz, 2016). La falta de información cuantitativa de la erosión en zonas áridas y semiáridas (Pizarro *et al.* 2010), en específico la subcuenca Río Medio Aguanaval, es un problema a la hora de la toma de decisiones para conseguir un manejo sustentable del suelo que incluyan medidas encaminadas a la protección de los recursos en la región. En estudios similares se han empleado diversos métodos para la estimación de la erosión hídrica, en este caso se consideró el propuesto por SEDESOL-INE (1998), que estima la erosión hídrica y eólica laminar. Resulta de gran importancia la intervención de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las técnicas geomáticas que son básicas para la estimación de las tasas de erosión, para visualizar la distribución de la misma así como para analizar tal proceso, por lo tanto, los objetivos planteados para esta investigación fueron el estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica en la subcuenca Río Medio Aguanaval, mediante la aplicación del método de SEDESOL-INE (1998), así como describir dicha metodología mediante la asociación de los sistemas de información geográfica (SIG) y técnicas geomáticas y generar información cartográfica de la erosión hídrica de la subcuenca, así como de los factores propios de la metodología propuesta.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La subcuenca Río Medio Aguanaval se ubica en las coordenadas 24° 37´ 57” latitud N y 103° 15´ 36.37” longitud O, se sitúa al Este del estado de Durango, en menor proporción en los estados de Zacatecas y Coahuila, su rango altitudinal va de 1,400 a los 2,600 msnm. La metodología SEDESOL-INE (1998) consta de tres fases:

- Definir el área de influencia de erosión hídrica.
- Evaluar la erosión laminar hídrica a través de índices y calificadores.
- Clasificar el nivel de degradación en función de una serie de grados de erosión establecidos mediante rangos de pérdida de suelo medido en toneladas por hectárea por año.

Dicha metodología requirió como insumo principal el raster de la precipitación media anual (PMA) obtenido mediante la herramienta Model Builder del software ArcGIS 10.1, del cual se deriva el Período de crecimiento (PECRE), también el Índice de Agresividad de la Lluvia (IALLU), obteniendo rasters a través del Álgebra de mapas. Se establece como regla que, si el valor de IALLU es mayor a 50, se considere como zona de influencia para el estudio de erosión hídrica. Mediante la edición de los atributos de capas vectoriales y conversiones, se determinaron cuatro calificadores CAERO, CATEX, CATOP y CAUSO, referidos a la erodabilidad, textura y fase, topografía y uso de suelo y vegetación, respectivamente. Para conocer la cantidad de suelo perdido (t ha^{-1} $año^{-1}$) en la subcuenca se multiplicaron los calificadores e índices (álgebra de mapas) para obtener un raster de la erosión hídrica laminar, para luego clasificarla en un nivel de degradación.

Resultados y Discusión

La precipitación resultante en la subcuenca Río Medio Aguanaval, concuerda con los rangos de distribución de precipitación para la zona de Cuervo-Robayo, *et al.* (2014), presentando valores máximos de 524 mm. El Período de crecimiento (PECRE) está relacionado con los rangos de precipitación y la climatología, ya que la zona con mayor precipitación (400 a 600 mm anuales) pertenece a la zona con valores más altos de PECRE, donde el uso de suelo y vegetación

corresponden a pastizales y zonas agrícolas, principalmente. Los valores de la agresividad de la lluvia (IALLU), de 13 a 78 días, que no son considerados tan altos, debido a que es una zona árida y semiárida. Respecto a los calificadores se obtuvieron las distribuciones de cada uno de sus factores. Los resultados de la integración de cada uno de los calificadores (CAERO, CATEX, CATOP y CAUSO) además del IALLU, para la subcuenca Río Medio Aguanaval, indicaron varias áreas con distinto grado de erosión hídrica laminar actual, se obtuvieron áreas sin degradación aparente hasta el dato máximo de 364 t ha^{-1} $año^{-1}$. La subcuenca presenta los cuatro niveles de erosión hídrica laminar que establece la metodología SEDESOL-INE, relacionándola directamente con los niveles de degradación que van de ligera a muy alta (Figura 1).

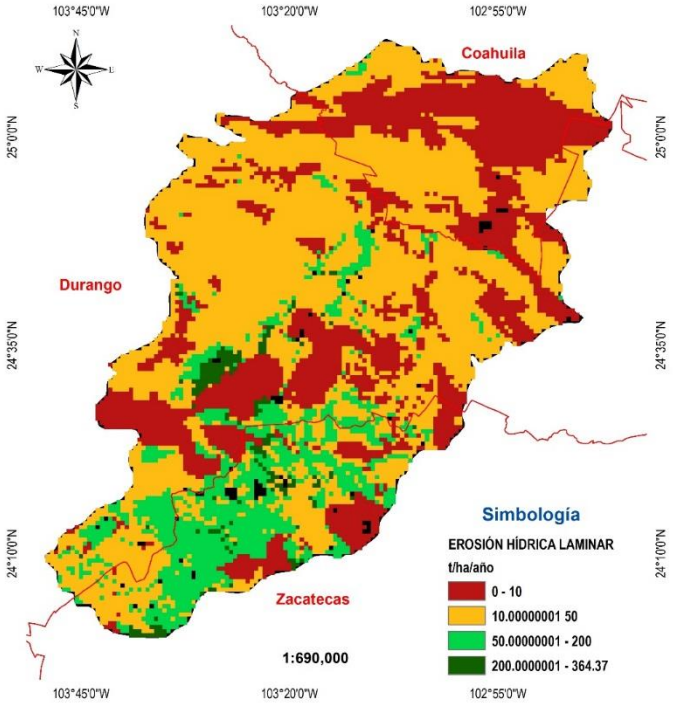


Figura 1. Distribución de la erosión hídrica laminar en la subcuenca Río Medio Aguanaval.

Estos datos difieren de los obtenidos por Gaitán *et al*. (2017) con una tasa media de erosión hídrica, para la República Argentina, de 6.2 t ha^{-1} $año^{-1}$, aplicando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG). También difieren de los datos conseguidos por Castro-Mendoza (2013), que obtuvo la erosión actual de la microcuenca de la presa Madín, ubicada en el Estado de México, en la cual se considera como incipiente (7.58 t ha^{-1} $año^{-1}$), a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). El resultado obtenido para este estudio concuerda con los obtenidos por SEMARNAT (2012), que cuantificó las cifras para todo el territorio mexicano, establecieron intervalos de valores desde 1 t ha^{-1} $año^{-1}$ hasta valores muy altos de 471 t ha^{-1} $año^{-1}$. López-Santos *et al*. (2012), evaluaron el grado de vulnerabilidad de los sistemas naturales y agroproductivos de Durango, fue calculada mediante la ecuación universal de perdida de suelo (EUPS) calibrada para México, obtuvieron un promedio de 163.8 t ha^{-1} $año^{-1}$ de pérdida de suelo. Aunque en sus elementos de salida (raster) identifican las zonas con mayor

erosión al Oeste del Estado. Los resultados obtenidos en este trabajo presentan similitudes con los conseguidos por Vásquez y Tapia, (2011), para la sierra peruana, en 22 microcuencas. La región corresponde a zonas semiáridas con topografía muy accidentada y una precipitación de 300 a 1,200 mm año^{-1}, los valores fueron de 45.04 t ha^{-1} año^{-1}, en este estudio más del 50% corresponde a una pérdida de entre 10 a 50 t ha^{-1} año^{-1}, con un nivel moderado.

Conclusiones

Mediante la metodología SEDESOL-INE (1998) y la integración de los calificadores en formato raster y el procesamiento a través de un sistema de información geográfica (SIG) y técnicas geomáticas, fue posible la estimación cuantitativa de la perdida de suelo actual de la subcuenca Río Medio Aguanaval. Esta información es de gran ayuda para la toma de decisiones en busca de un manejo sustentable y en la aplicación de medidas de prevención y en la ejecución de obras de mitigación de la erosión hídrica laminar. La pérdida de suelo actual en la subcuenca Río Medio Aguanaval va desde las zonas donde aparentemente no hay erosión hídrica laminar o valores de 0 hasta las 364 toneladas por hectárea por año (t ha^{-1} año^{-1}). Las cantidades mayores de suelo perdido se ubican en la zona centro y suroeste de la subcuenca, zonas principalmente descubiertas por estar destinadas a la agricultura. El grado de erosión que domina es el moderado con pérdidas de 10 a 50 t ha^{-1} año^{-}. Los valores de menos pérdida de suelo se presentaron en zonas donde la cobertura de vegetación es mayor y donde la perturbación antrópica o natural no ha causado grandes daños. Se obtuvieron mapas de distribución de la erosión hídrica actual de la subcuenca Río Medio Aguanaval, así como de cada uno de los factores que intervinieron en el proceso de estimación de la erosión.

Referencias

Castro Mendoza, I. 2013. Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, XXXIV (2), pp. 3-16.

Cuervo Robayo, A. P., Téllez Valdés, O., Gómez Albores, M. A., Venegas Barrera, C. S., Manjarrez, J., Martínez Meyer, E. 2014. Temperatura media anual en México (1910-2009), escala: 1:1, 000,000. Modificado por CONABIO (2015). México, D. F.

Gaitán, J., Navarro, M. F., Tenti Vuegen, L., Pizarro, M. J., Carfagno, P. y Rigo, S. 2017. Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. – 1ª. ed. – Buenos Aires: Ediciones INTA. ISBN 978-987-521-857-4

Gómez Sántiz, N. 2016. Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en el municipio de Oxchuc, Chiapas. Tesis de licenciatura. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

Huerta Fernández, P. y Loli Figueroa, O. 2014. "Erosión hídrica en la cuenca alta del río Moche", Ecología Aplicada, 13(1), pp. 15-22.

López Santos, A., Sánchez Cohen, I., Esquivel Arriaga, G. y González Barrios, J. L. 2012. Evaluación de la vulnerabilidad de los suelos del estado de Durango, México en el contexto del cambio climático", Agrociencia Uruguay Special Issue 16, pp. 117- 127.

Pizarro, R., Morales, C., Vega, L., Valdés, R., Olivares, C. y Balocchi, F. 2010. Evaluación de la erosión hídrica superficial en zonas áridas y semiáridas de Chile central. Aqua-LAC, 282, pp. 1-11.

SEDESOL-INE. 1998. Ordenamiento ecológico del territorio. Memoria Técnica y metodológica. Secretaría de Desarrollo Social e Instituto Nacional de Ecología. Pp. 629.

SEMARNAT. 2012. Informe de la situación del medio ambiente en México. La degradación de los suelos en México.

UNESCO (2009) Propuesta de un modelo de estimación de erosión hídrica para la región de Coquimbo, Chile. Pizarro, R., Morales, C., Vega, L., Olivares, C., Valdés, R. y Balocchi, F. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°18.

Vásquez, A. y Tapia M., M. 2011. Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la Sierra Peruana" Revista INGENIERÍA UC, 18(3) pp. 42-50.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

CALIBRACIÓN DEL FACTOR K/USLE EN UNA UNIDAD DE SUELO Y DOS CONDICIONES DE USO EN AGUASCALINETES, MÉXICO

Rodríguez, F.R.[1*]; Meraz-Jiménez, A.J.[1]; López-Santos, A.[2]; Torres-González J.A.[1]; Sosa-Ramírez, J.[1]; Ponce-Montoya, A.[1]

[1]**Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags. México.**
[2]**Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Durango. México.**

*Autor responsable: fernandorufinordz@gmail.com; Calle Av. Universidad Núm. 940, Col. Ciudad Universitaria, Aguascalientes, Ags. México. CP 20131; Tel. +52(449)-910-7400

Resumen

El factor K de la ecuación universal de pérdida de suelo es usado para calcular la susceptibilidad de un suelo a la erosión hídrica, el cual se obtiene al analizar las propiedades intrínsecas de un determinado suelo por medio de muestreos, que en conjunto con los factores que componen la ecuación de pérdida de suelo podemos conocer cuanto suelo se pierde en una determinada zona en toneladas por hectárea por año, siendo éste un método predictivo del cálculo de la pérdida de suelo que además de ser económico y sencillo de implementar para medir la erosión de grandes regiones es la metodología más utilizada para la medición de dicho fenómeno. Mientras que con la implementación de los módulos de escurrimiento instalados en campo podemos calcular de manera cuantitativa la pérdida que se está presentando en cada evento de lluvia con diferentes condiciones de uso y cada unidad de suelo, siendo sus únicos inconvenientes los altos costos que la instalación, mantenimiento y operación de dichos módulos representa, por lo que solo es recomendable el uso de éstos para la calibración en campo de la ecuación de pérdida de suelo. Comparando el factor K de la USLE con los módulos de escurrimiento podremos conocer la discrepancia existente entre ambos métodos y calcular dicha corrección para aplicarla en los estudios que se han realizado en similares condiciones de tipo de suelo y manejo.

Palabras clave

Fator k; cálculo; erosión; suelo

Introducción

La ecuación universal de pérdida del suelo (USLE) por sus siglas en inglés es usada para determinar el promedio de la tasa de erosión del suelo tomando en cuenta las prácticas de manejo que se realizan en campo, asociado a un tipo de suelo, un patrón de precipitaciones y a una determinada topografía. El concepto de la erosionabilidad del suelo es un índice que nos indica que tan susceptible o resistente es un suelo a la erosión y en el que solo influyen las propiedades intrínsecas de cada suelo, mientras que la tasa de erosión que se obtiene al implementar la ecuación de pérdida de suelo, se toman en cuenta otros factores como lo son la pendiente del terreno, la intensidad de la lluvia, la cobertura vegetal y las gestiones de conservación que por las propiedades del suelo.

Calcular la erosionabilidad en campo puede ser complejo, debido a que suelos con un bajo índice de erosionabilidad pueden mostrar problemas elevados de erosión a causa de las lluvias intensas, las pendientes prolongadas o pronunciadas, en contraste otras zonas con altos índices de erosionabilidad pueden presentar una erosión moderada cuando las pendientes son suaves o limitadas y las precipitaciones son moderadas o cuando se realiza una gestión eficiente en el manejo de los suelos (Wischmeier and D. 1978). El factor K que estima la erosionabilidad del suelo es la herramienta más utilizada para calcular la erosión (Mazllom, Emami and Haghnia 2016).

Objetivo

Calibrar el factor K de la USLE para determinar la susceptibilidad que tiene el suelo a erosionarse en dos unidades de estudio en base a los datos cuantitativos de la cantidad de sedimentos arrastrados en los módulos de escurrimiento.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en dos unidades experimentales ubicadas en una unidad de suelo de tipo Phaeozem albico, leptico con phaeozem leptico de textura media (WRB 2015). En el municipio de Jesús María, Aguascalientes, México. La primera se ubica en las coordenadas 21°58’04.25 N, 102°22’35” O, presenta una pendiente del 9% en un área de pastizal inducido. La segunda se localiza en las coordenadas 21°97’56.66 N, 102°35’99’’ O, presenta una pendiente del 6% estando establecida en terreno de uso agrícola donde se produce pasto para forraje de temporal.

Diseño experimental

El diseño experimental se realizó en parcelas al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones: Suelo desnudo (T1), barbecho (T2), Barbecho con esquilmo (T3) y pastizal inducido (T4), en cada unidad experimental se establecieron los tratamientos anteriormente mencionados.

Módulos de escurrimiento

Los Módulos de escurrimiento tienen un ancho de 2 m por 5.80 m de largo y fueron instalados en sentido de la pendiente del terreno cuya superficie fue separada del resto del terreno por medio de tablas para solo colectar los sedimentos de los escurrimientos que se generen en la superficie de cada módulo siendo esta de una superficie aproximada de 11 m^2. Se instalaron bandejas de conducción de flujo elaborados de fibra de vidrio en la parte baja del módulo para captar los escurrimientos por gravedad en recipientes con capacidad de 50 litros.

Toma de muestras

Se tomó una muestra de suelo compuesta por medio de un zig-zag en cada una de las parcelas experimentales con los diferentes tratamientos y una muestra fuera de los módulos como testigo. Las trece muestras por unidad experimental se analizaron en el laboratorio de suelos del CCA de la UAA en donde se les realizaron pruebas para determinar su densidad aparente, textura y contenido de materia orgánica.

La toma de sedimentos se realizó en cada uno de los módulos de escurrimiento tomando de los recipientes de 50 litros una muestra de 1 litro del agua con sedimentos que escurrieron en cada evento de lluvia y además se llevó un registro del agua que captó cada recipiente. En laboratorio se filtraron las muestras en papel filtro para obtener el peso solo de los sedimentos y con ellos poder realizar la extrapolación de las toneladas por hectárea que se arrastraron en cada evento de lluvia y con el registro de todos los eventos pluviales del año 2017 se obtuvo el arrastre anual de sedimentos.

Para extrapolar los datos de los gramos totales pesados en laboratorio y poderlos convertir a t/ha se multiplican por la cantidad de litros que tenía el recipiente que capta los sedimentos en campo para obtener los sedimentos totales en gramos, se multiplican por 10,000 y se dividen entre la superficie de los módulos de escurrimiento en metros cuadrados, de esa manera se obtienen los sedimentos arrastrados en g/ha, al dividirlos entre 1 millón se obtienen los sedimentos arrastrados en toneladas por hectárea.

Cálculo del Factor K

Para la determinación del factor K se analizó la materia orgánica y la clase textural en cada módulo de escurrimiento parámetros necesarios para calcular dicho factor por el método de referencia propuesto por Kirkby y Morgan (1980).

Resultados y Discusión

En el cuadro 1 la unidad experimental 1 para el año 2017 el T1 fue el tratamiento más susceptible a problemas de erosión con 0.05 ton.h/MJ.mm seguido de los tratamientos T3 y T4 con 0.047 ton.h/MJ.mm, siendo el T2 el menos susceptible a la erosión con solo 0.045 ton.h/MJ.mm.

Cuadro 1. Factor K calculado en base a textura y MOS en cada tratamiento expresado en (ton.h/MJ.mm).

Suelo de la unidad experimental 1 (Área Pecuaria) 2017

Tratamiento	MOS%	Clase textural	Factor K (ton.h/MJ.mm)
Barbecho	1.3	Franca	0.045
Suelo desnudo	0.8	Franca	0.05
Barbecho con esquilmo	2.5	Franca	0.047
Pastizal Inducido	2.4	Franca	0.047

En el cuadro 2 se observa que el factor K es el mismo para los cuatro tratamientos.

Cuadro 2. Factor K calculado en base a textura y MOS en cada tratamiento expresado en (ton.h/MJ.mm).

Suelo de la unidad experimental 2 (Área Agrícola) 2017

Tratamiento	MOS%	Clase textural	Factor K (ton.h/MJ.mm)
Barbecho	1.6	Franco Arcillosa	0.037
Suelo desnudo	1.6	Franco Arcillosa	0.037
Barbecho con esquilmo	1.4	Franco Arcillosa	0.037
Pastizal Inducido	1.4	Franco Arcillosa	0.037

En la unidad experimental 1 en el año 2017 (Figura 1), el tratamiento T1 presentó el mayor arrastre de partículas con 9.503 t/ha/año, seguido del T2 con 1.523 t/ha/año, mientras que los tratamientos con menores pérdidas fueron el T4 y T3 con 0.007 y 0.005 t/ha/año respectivamente.

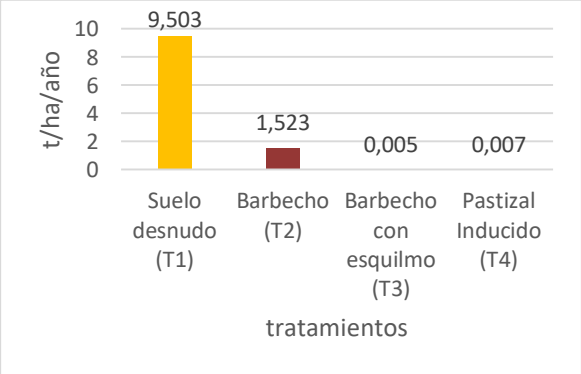


Figura 1. Cantidad de suelo perdido en cada tratamiento de la unidad experimental 1 en el año 2017.

Por otro lado, en la unidad experimental 2 (Figura 2), el tratamiento T1 presentó el mayor arrastre de partículas con 4.475 t/ha/año, seguido del T2 con 1.962 t/ha/año y los tratamientos T4 y T3 presentaron el menor arrastre de partículas con 1.114 y 0.656 t/ha/año respectivamente.

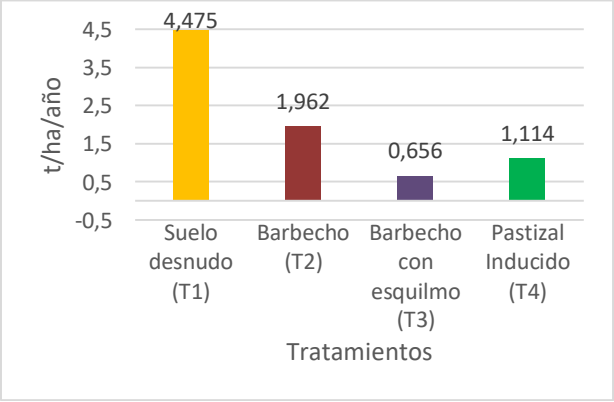


Figura 2. Cantidad de suelo perdido en cada tratamiento de la unidad experimental 2 en el año 2017.

En cuanto a la determinación del factor K se puede observar en las tablas 1 y 2 que el manejo alteró la erosionabilidad del suelo que en el año 2016 fue de 0.038 ton.h/MJ.mm para todas las parcelas y para el año 2017 después de un año de manejo se observaron diferencias entre tratamientos de 0.05 ton.h/MJ.mm para T1, 0.047 ton.h/MJ.mm para T3 y T4 y de solo 0.045 ton.h/MJ.mm para el T2 coincidiendo con (Piscitelli, Sfeir & Ares 2010) en que la susceptibilidad a la erosión también puede deberse al manejo.
Como se puede observar en las figuras 1 y 2, el tratamiento de suelo desnudo coincidió en ambas unidades experimentales como el que presenta mayores problemas de erosión, registrando pérdidas de sedimentos de hasta 9.503 y 4.475 t/ha/año para las unidades 1 y 2 respectivamente, esto

coincide con Alarcón (2013), en que la condición de suelo desnudo es la que puede presentar mayor susceptibilidad a ser erosionado. Mientras que los tratamientos que mostraron menor arrastre de sedimentos fueron el barbecho con esquilmo y el pastizal inducido, coincidiendo con Castro (2013), en que la cobertura vegetal es el factor que en mayor medida influye para que no se presente el desprendimiento y arrastre de partículas del suelo por la acción de las gotas de lluvia.

Conclusiones

Este proyecto sigue en curso por lo que se está trabajando en el análisis de los componentes intrínsecos del suelo para calibrar el factor K con la pérdida de sedimentos registrada en campo.

Referencias

Alarcón Muriel, Sandra L.; Reyes Trujillo, Aldemar Evaluación de la erodabilidad de los suelos typic dystrudepts, typic hapludands y andic dystrudepts mediante simulador de lluvia en la microcuenca la centella (dagua – valle del cauca) Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, núm. 12, enero-diciembre, 2013, pp. 49-57 Universidad del Valle Cali, Colombia

Mazllom, U., H. Emami & G. H. Haghnia (2016) Prediction the soil erodibility and sediments load using soil attributes. *EJSS*, 5**,** 201.

Kirkby, M. J. and Morgan, R. P. C. editors. (1980). Soil erosion, Chichester: John Wiley. Xiv + 316 pp.

Pérez, Salinas, J.M., López, Santos, A. 2017. Relación entre la erosión hídrica y el grado de erosionabilidad de dos unidades de suelo del norte y centro de México. Tesis de maestría. Chapingo, uruza (antecedentes del proyecto actual).

Piscitelli, M. V., M., A. Sfeir & G. Ares (2010) Valores de erodabilidad (factor K-USLE) para suelos representativos de la cuenca alta del arroyo Azul (partido de Azul- Buenos Aires). *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 109**,** 17-22.

Wischmeier, W. H., & Smith, & D. D. (1978) Predicting rainfall erosion
losses. 537**,** 285–291.

WRB, I. W. G. 2015. *Base referencial mundial del recurso suelo 2014, actualización 2015*.: FAO.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

CARBONO EDÁFICO EN ACRISOLES TRANSFORMADOS DE PASTIZALES A PLANTACIONES DE *ACACIA MANGIUM* EN TABASCO MÉXICO

Sánchez-Hernández Rufo[1,2*]; Payró- De la Cruz Emeterio[2], Valdés-Velarde Eduardo[3]; López-Noverola Ulises[1] y Estrada-Botello Maximiano[1]

[1] **División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México.**
[2] **Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca (ITZO). Centro, Tabasco, México.**
[3] **Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco de Mora, Estado de México, México**

*Autor responsable: rusaher@hotmail.com; Carretera Villahermosa-Teapa km 25, ranchería La Huasteca, segunda sección Villahermosa, Tabasco. México. 86280. Tel. +52 (937) 131-6795

Resumen
Se realizó una investigación con el objetivo de evaluar el impacto del cambio de uso de suelo de pastizales (PZ) a plantaciones forestales de *Acacia mangium* sobre los niveles de materia orgánica del suelo (MOS) y carbono orgánico del suelo (COS). Se seleccionaron sitios de muestreos en suelos cultivados con *Acacia mangium* durante 4, 6 y 8 años, como referencia se consideró un PZ cultivado. Se tomaron muestras compuestas de suelo a una profundidad de 0-30 cm y se evaluaron las variables MOS y COS. Los resultados indicaron que el cambio de uso de suelo de PZ a plantaciones forestales de *Acacia mangium* significan un aumento en los contenidos de MOS y COS respectivamente hasta los 6 años de haberse realizado dicho cambio, ya que a partir de los 8 años, el suelo registra una disminución en los contenidos de ambas variables, lo que puede representar el tiempo en que se registra la estabilización de ambas variables, aunque una conclusión más contundente requiere una mayor profundización en el estudio de este tipo de cambio de uso de suelo.

Palabras clave
Cambio de uso de suelo; suelos forestales; materia orgánica edáfica.

Introducción
Los Acrisols son suelos que se caracterizan por presentar un horizonte árgico de baja actividad a menos de 100 cm de profundidad, lo que repercute en una baja capacidad de intercambio catiónico (CIC), acidez, así como una baja saturación de bases efectiva dentro de los primeros 50 cm de profundidad. Esas características han llevado a considerar a dichos suelos como de baja fertilidad química, por lo que tradicionalmente su uso se había restringido al cultivo de especies tolerantes a esas condiciones de baja fertilidad. Cultivos de cítricos, piña, forestales, y particularmente pastizales de *Brachiarias* son frecuentes en este tipo de terrenos. Recientemente han llamado la atención, algunos cambios de uso de suelo que pueden ser favorables para mejorar las condiciones edáficas, aprovechar esos suelos pobres en cultivos de alta rentabilidad, así como aprovechar al recurso suelo para enfrentar problemas ambientales como el denominado cambio climático global (CCG). Al respecto, Don *et al.* (2011), mencionó que el cambio de uso de suelo es la segunda fuente más importante que el hombre ha provocado para inducir las emisiones de gases de efecto

invernadero, principalmente debido a la deforestación en los trópicos y sub trópicos. La emisión de CO_2 resulta de la perdida de la biomasa y COS y puede ser compensado con programas de reforestación. Es decir que los impactos del cambio de uso de suelo requieren ser evaluados para determinar los impactos que tienen sobre la mitigación del CCG, así como en la conservación de los recursos naturales, en específico de uno tan frágil como es el recurso suelo. Por su parte, Pielke *et al.* (2002) mencionan que el análisis del cambio de uso de suelo puede ofrecer información importante, para generar un modelo más incluyente en el estudio del cambio climático global (CCG), ya que, en la actualidad no se ha considerado el efecto protector de la vegetación, contra la tasa de radiación que llega a la superficie terrestre, la cual causa un efecto similar a las emisiones de gases de efecto invernadero, sumándose las denominadas islas de calor sobre el CCG (Fuentes 2015). Según Foley *et al.* (2005), el cambio de uso de suelo se ha considerado un problema ambiental local. Sin embargo, últimamente se está convirtiendo en un tema de importancia mundial, ya que la creciente demanda de alimentos, fibras, agua y refugio para la población humana, han provocado múltiples transformaciones a los bosques, tierras de cultivo, cursos de agua y el aire. Uno de los indicadores de calidad edáfica que permiten determinar el impacto del cambio de uso de suelo, es la variable materia orgánica del suelo (MOS), ya que el incremento de esta variable repercute en el mejoramiento de las propiedades físicas, biológicas y químicas; físicamente reducen el escurrimiento superficial y mejora la infiltración, condición que se ve reflejada en una disminución de la densidad aparente (ρ_b), así como incrementos de la porosidad total (PT) y estabilidad de los agregados del suelo (EAS) (Jordan *et al*., 2010); biológicamente repercuten en la actividad de los microorganismos del suelo, los cuales son responsables de procesos importantes como la mineralización e inmovilización microbiana, a través de los cuales se libera N, P y otras formas de nutrientes (Orozco *et al.*, 2016); químicamente repercute en el incremento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Bourg y Sposito, 2011) y pueden afectar el pH, debido a que la descomposición de dichas enmiendas producen ácidos orgánicos e inorgánicos que afectan dicha propiedad química (Pérez et al., 2014). El cambio del uso de suelo sobre el COS es un tema pobremente cuantificado debido a la insuficiente calidad y representatividad de los datos, por lo que el objetivo de este estudio fue medir la concentración de COS en una cronosecuencia de pastizales transformados a plantaciones de *Acacia mangium* en el municipio de Huimanguillo Tabasco, México.

Materiales y Métodos

La investigación se llevó a cabo en la Colonia Agrícola José María Pino Suárez, en el Municipio de Huimanguillo Tabasco, México. Se seleccionaron sitios cuyo uso de suelo anterior fue de pastizal, y que actualmente presentan un uso forestal con plantaciones de *Acacia mangium*. Los años de cambio fueron reportados por la empresa productora, y se organizaron en una base de datos, estableciéndose los siguientes rangos: 4 años (A4), 6 años (A6) y 8 años (A8); como tratamiento de referencia (control) se muestrearon los pastizales (PZ) aledaños. Los suelos en la zona de estudio se reportan como humic Acrisols. En los sitios de muestreo se recolectaron de muestras compuestas de suelos a partir de 10 sub-muestras por sitio, las cuales se tomaron a 30 cm de profundidad. Las muestras secas fueron trituradas y tamizadas para determinar el porcentaje de C total mediante un equipo TOC de la marca Perkin Elmer; la MOS se calculó mediante la multiplicación del % COS por el factor de Van Benmelen de 1.724 que resulta de la suposición de que la materia orgánica del suelo contiene un 58% de C.

Resultados y Discusión

Los suelos Acrisols presentan condiciones adversas de fertilidad química que limitan la mineralización de la MOS, por lo que los contenidos de MOS en pastizales son de alrededor de 7%. Según Sánchez *et al.* (2017) la acumulación de MOS en pastizales establecidos entre de 0-10 años, llegan a superar la cantidad que registran algunos Sistemas Agroforestales (SA) como los de cacao, no obstante conforme estos pastizales se hacen más viejos, sus propiedades se van degradando hasta disminuir sus contenidos de MOS por abajo de los niveles de dichos SA. Como se puede observar en la Figura 1, la especie forestal *Acacia mangium* aporta cantidades considerables de residuos orgánicos que permiten incrementar los contenidos de MOS y COS respectivamente.

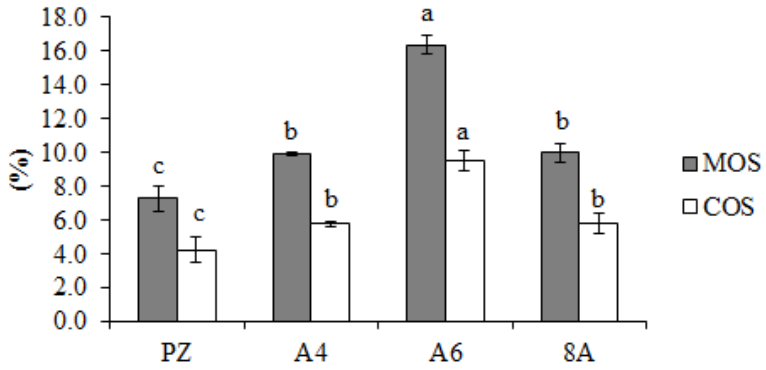


Figura 1. Contenidos de MOS y COS en suelos de pastizales y plantaciones forestales *Acacia mangium* de 4, 6 y 8 años de uso respectivamente en suelos Acrisols del sureste de México

Se puede observar que el cambio de uso de pastizal a plantaciones forestales de *Acacia mangium* permite un aumento de MOS y COS durante los primeros 6 años de haberse realizado el cambio. Al respecto Berg y Matzner (1996) indican que los cambios en la cantidad del *litter* y otras propiedades edáficas en plantaciones forestales dependen del tiempo de deposición de los residuos, si estos son recientes o viejos, ya que el tiempo que se requiere para modificar las condiciones edáficas son variables y necesarios para abatir la MOS y evitar su acumulación. Como se puede observar en las plantaciones estudiadas, el tiempo en que dichas condiciones se presentan es a los 8 años, ya que a partir este tiempo de uso se observa una decadencia en la cantidad de MOS, aunque los niveles registrados siguen estando por arriba de los contenidos del tratamiento control (PZ), por lo que suponen una condición edáfica favorable para una mayor mineralización de la MOS.

Conclusiones

El cambio de uso de suelo de pastizal a plantaciones forestales de *Acacia mangium* significan un aumento en los contenidos de MOS y COS respectivamente, hasta los 6 años de haberse realizado dicho cambio, ya que a partir de los 8 años, el suelo registra una disminución en los contenidos de

ambas variables, lo que puede representar el tiempo en que se registra su estabilización, aunque una conclusión más contundente requiere una mayor profundización en el estudio de este tipo de cambio de uso de suelo.

Agradecimientos

Se agradece al productor Ingeniero José Eduardo Zentella Bello, por el acceso a las plantaciones de *Acacia mangium* en Huimanguillo Tabasco México, así como a las facilidades otorgadas a esta investigación.

Referencias

Berg, B., Matzner E. 1997. Effect of N deposition on decomposition of plant litter and soil organic matter in forest systems. *Environmental Reviews*, *5*(1): 1-25.

Bourg, IC., Sposito, G. 2011. Molecular dynamics simulations of the electrical double layer on smectite surfaces contacting concentrated mixed electrolyte (NaCl–CaCl2) solutions. *Journal of colloid and interface science*, *360* (2): 701-715.

Don A., Schumacher J., Freibauer A. 2011. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks–a meta-analysis. Global Change Biology 17 (4): 1658-1670.

Foley JA., Defries R., Asner GP., Barford C., Bonan G., Carpenter SR, *et al.* 2005. Global Consequences of Land Use. Science 309: 570-574.

Fuentes PCA. 2015. Islas de calor urbano en Tampico, México: Impacto del microclima a la calidad del hábitat. Nova scientia 13: 495-515.

Jordan, A.; Zavala, L. M. and Gil, J. 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. Catena. 81(1):77-85.

Orozco, C. A. L.; Valverde, F. M. I.; Martínez, T. R.; Chávez, B. C. y Benavides, H. R. 2016. Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con manzano biofertilizado. Terra Latinoam. 34:441-456.

Pérez, E. J.; Escolástico, C.; Masaguer, A.; Vargas, C. and Moliner, A. 2014. Soluble organic carbon and pH of organic amendments affect metal mobility and chemical speciation in mine soils. Chemosphere. 103:164-171.

Pielke RA., Marland G., Betts RA., Chase TN., Eastman JL., Niles JO., Running SW. 2002. The influence of land-use change and landscape dynamics on the climate system: relevance to climate-change policy beyond the radiative effect of greenhouse gases. Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences 360 (1797): 1705-1719.

Salvador MP., Sánchez HR., Sánchez GD., López UN., Alejo SG., Valdés VE., Gallardo L JF. 2017. Evolution of soil organic carbon during a chronosequence of transformation from cacao (*Theobroma cacao* L.) plantation to grassland. Acta Agron. 66 (4): 525-530. doi.org/10.15446/acag.v66n4.62543

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

DEFINICIÓN DE DOSIS DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN MAÍZ EN BASE A EL CONTENIDO DE NITRATOS DEL SUELO EN LA ETAPA V_6 DEL CULTIVO.

Uribe-Montes, Hugo Raul[1*]; Nava-Ruiz, Paulina[2]; Chavez-Sanchez, Noe[3]; Ramos-Castro, Wendy Paulina[4].

[1, 2 y 3] **Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Delicias. Cd. Delicias, Chihuahua, México.**
[4]**Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias agrícolas y Forestales. Cd. Delicias, Chihuahua, México.**

*Autor responsable: hugouribem@hotmail.com; Avenida 18 y media sur Núm. 3107, Fraccionamiento "Los Girasoles", Cd. Delicias, Chihuahua, Mexico. CP 33080; Tel. +52(639)-107-4096

Resumen
En los últimos años se ha desarrollado un enfoque, que ayuda a definir de manera más racional la cantidad de nitrógeno (N) en forma de fertilizante que necesitan los cultivos de verano, mucho mejor que los enfoques de balance de masas tradicional y el de dosis optimas económicas, estamos hablando del enfoque del monitoreo del N dentro de la estación de crecimiento. En este enfoque se destaca el análisis de nitratos del suelo antes de la escarda en maíz, también llamado PSNT (Presidedress Soil Nitrate Test, por sus siglas en ingles) y el medidor de clorofila de la hoja (Greenseaker o Leaf Chlorophyll Meter, LCM).

En este trabajo, los resultados mostraron que el análisis de NO^-_3–N a 30 cm de profundidad del suelo en la etapa V_6 del cultivo (PSNT) reflejó adecuadamente la disponibilidad de N del suelo para el maíz, incluso cuando algo de N se aplicó en la siembra y por lo tanto, puede ser usado como un método para definir la dosis que requiere el cultivo en el momento adecuado de aplicación, sin arriesgar a que el rendimiento disminuya y minimizando el riesgo de contaminación de los acuíferos. Para la variable forraje verde o para silo (t/ha) se determinó un modelo lineal segmentado donde la ordenada al origen (0 ppm de NO_3^--N) fue de 24.7 t/ha, luego al incrementarse el contenido de nitratos del suelo el rendimiento aumentó 0.768 t/ha por cada ppm de nitratos, hasta alcanzar un nivel de producción de 23.5 ppm de NO_3^-N, posteriormente se estabiliza el rendimiento ante el incremento de nitratos. En esta localidad, la aplicación de nitrógeno en la etapa V_6 en maíz fue más eficiente que la aplicación a la siembra y la mayor eficiencia de uso fertilizante la tuvo la aplicación de 180 kg/ha de N en la etapa V_6 del maíz, con 59%.

Palabras clave
Nitratos; maíz; PSNT.

Introducción
La necesidad de desarrollar mejores métodos para estimar la dosis de aplicación de fertilizante nitrogenado se ha hecho urgente en los últimos tiempos, sobre todo por el incremento de los precios de los fertilizantes y la preocupación generalizada de la contaminación por NO_3 en las aguas superficiales y subterráneas.

Estudios recientes utilizando el PSNT han demostrado una buena correlación entre el rendimiento del grano de maíz y el contenido de NO^-_3-N de la superficie del suelo cuando las plantas están en la etapa V_4 a V_6 (Magdoff *et al.*, 1984; Fox *et al.*, 1989; Binford *et al*., 1992; Meisinger *et al*., 1992; Sims *et al*., 1995). El contenido de NO^-_3-N del suelo en esa etapa representa el balance neto entre la producción (mineralización del N de la materia orgánica del suelo, estiércol y/o fertilizantes) y la pérdida (lixiviación, desnitrificación, y la inmovilización del N) debido a que poco o nada de N se absorbe antes de esa etapa (Meisinger *et al*., 1992). Magdoff *et al.* (1984) han propuesto al PSNT como un índice de la intensidad de mineralización de N de la materia orgánica del suelo, partiendo del supuesto de que la mayor parte de N del cultivo debe aplicarse en la etapa V_4 a V_6 (Ritchie y Hanway, 1982). Sin embargo, el PSNT también puede ser usado como una herramienta para evaluar aplicaciones de N hechas antes de la siembra e indicar si se necesita N adicional en V_6 (Binford *et al*., 1992). Este método puede tener algunas limitaciones, por ejemplo, podría ser menos útiles en: (i) condiciones frescas (frio o exceso de lluvia y nublado) que pueden afectar a la mineralización y nitrificación del N de la materia orgánica o fertilizantes del suelo, (ii) suelos no estructurados altamente lixiviables, y (iii) circunstancias en las que la desnitrificación o inmovilización pueden afectar el "pool" de NO^-_3-N del suelo (Meisinger *et al*., 1992).
El análisis de NO_3^--N a 30 cm del suelo en maíz (*Zea mays* L.) cuando las plantas miden entre 15 y 30 cm o están en la etapa V_6 (Ritchie y Hanway, 1982), permite a los productores de maíz ajustar sus prácticas de fertilización de N para las interacciones específicas de cada localidad con el clima, tipo de suelo y las prácticas de manejo. Dichos ajustes podrían incrementar la redituabilidad de la producción de maíz y disminuir los problemas ambientales asociados con el uso de fertilizantes nitrogenados (El-Hout y Blackmer, 1990; Morris y Blackmer, 1989, 1990).

Materiales y Métodos

El trabajo se desarrolló en un suelo Yermosol cálcico (FAO/UNESCO, 1974) de la región agrícola de Delicias, Chihuahua, ubicado en la subestación Lázaro Cárdenas (28°24'13"N; 105°30'47"W) del Campo Experimental Delicias perteneciente al Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. El suelo tenia las siguientes características en su estrato 0-30 cm de profundidad: Textura franco arcillo-arenoso; pH alcalino de 8.7; 0.89% de materia orgánica; Conductividad eléctrica de 0.79 dS/m; 15.5 ppm de Nitratos; 4.5 ppm de P Olsen; 230 ppm de K; 3.4 ppm de Fe; 3.1 ppm de Zn; 0.4 ppm de Cu y 8.1 de Mn.

El trabajo se sembró el 11 de julio con el híbrido Asgrow 7573 con una población de 70,000 plantas/ha, se le aplicó un riego de presiembra y 6 de auxilio, cabe mencionar que el año fue lluvioso en donde se acumularon alrededor de 200 mm en los meses de julio y agosto. El cultivo se asperjó dos veces cuando la planta era joven (etapa V_2-V_4) con una solución foliar de 4% y 0.25% de SO_4 Fe y SO_4 Zn, respectivamente, para evitar clorosis férrica. Se aplicó dos veces Lorspac 5% (Clorpirifos) para controlar Gusano cogollero.

Las parcelas experimentales constaron de seis surcos de 0.8 m de ancho y 10 m de largo. Del surco dos y tres se tomó una muestra de tres m lineales de plantas (4.8 m^2) para estimar rendimiento de forraje para silo de maíz cuando la planta tenía alrededor de 35 % de materia seca y los surcos 4 y 5 (8 m^2) sirvieron para estimar rendimiento de grano con un 16% de humedad.

El diseño de tratamientos fue pensado para obtener datos de concentración de NO_3 del suelo tomados en la etapa V_6 del maíz que al correlacionarlos con el rendimiento de forraje o grano, nos permitan determinar el umbral de concentración de NO_3 (en ppm) del suelo donde hay respuesta a

la fertilización nitrogenada para lo cual se utilizaron los tratamientos 0, 45, 90, 135, 180 y 225 kg de N/ha aplicados a la siembra; en caso de que haya respuesta, conocer cuánto fertilizante es necesario aplicar para obtener el máximo rendimiento, para lo cual se aplicaron los tratamientos 45, 90, 135 y 180 kg de N/ha en V_6); además se evaluó una dosis en forma fraccionada con el supuesto de que va a maximizar rendimientos con un mínimo impacto ambiental 45 en la siembra y 135 kg de N/ha en V_6 o 90 en la siembra y 90 kg de N/ha en V_6. Se utilizó urea como fuente de N, aplicada en banda a 5 cm al lado de la hilera de maíz. Además se evaluaron dos tratamientos con materiales orgánicos (estiércol y biosolidos) producidos en la región, comúnmente utilizados en la agricultura, aplicados en cantidades que se supone satisfacen los requerimientos de N del cultivo. Los tratamientos fertilizados con N fueron aplicados con 80 kg/ha de P_2O_5.

Para N-NO_3 se muestreó después de que el cultivo se estableció y justo antes de que iniciara el crecimiento rápido de la planta y se diera la máxima absorción del nitrógeno. Esta época es la más importante para decidir si el N del suelo es suficiente o cuanto es necesario aplicar para cubrir las necesidades del cultivo. En esta época se tomó un set de tres muestras de cada parcela experimental (una muestra a cada lado de la hilera de maíz del surco 2 y otra en el centro del surco entre el surco 2 y 3), con lo que se generaron 75 muestras de suelo. Posteriormente 30 de estas muestras se correlacionaron con el rendimiento.

El diseño experimental fue bloques al azar con cinco repeticiones. Se analizaron nitratos en el suelo mediante el método de la brucina, antes de que iniciara el crecimiento rápido en maíz. El análisis estadístico de los datos se realizó mediante el análisis de varianza correspondiente, se determinó la comparación múltiple de medias con la prueba DMS (α=0.05) y se utilizó el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1988) Se midieron rendimiento de forraje y grano en maíz. Estos rendimientos se correlacionaron con la concentración de NO_3 en el suelo para determinar el umbral de NO_3 mediante los modelos de superficie de respuesta del tipo lineal segmentado con el procedimiento NLIN del paquete estadístico SAS (Ihnen y Goodnight, 1985).

Resultados y Discusión

El maíz forrajero y para grano respondió positivamente a la aplicación de N como se muestra en el cuadro 1, donde se observan incrementos de 10 t/ha de forraje para silo comparando el tratamiento sin N vs la aplicación de 225 kg/ha de N. Sin embargo, se observa que los tratamientos 135, 180 y 225 kg/ha son estadísticamente iguales, permitiendo esto la posibilidad de utilizar la dosis más baja de N para impactar menos el medio ambiente, sin la disminución significativa del rendimiento.
La fertilización con nitrógeno en V_6 en maíz (Ritchie y Hanway, 1982) es más eficiente que la aplicación a la siembra, sobretodo en labranza de conservación (Wells y Bitzer, 1984; Fox *et al*., 1986; Wells *et al*., 1992; Sainz Rozas *et al*., 1999). Sin embargo algunos técnicos y agricultores en las regiones agrícolas maiceras sugieren se aplique Urea [$(NH_2)_2CO$] ó UAN32 en banda al momento de la siembra y las dosis de N se determinan comúnmente utilizando el enfoque de balance de masas de N "encima del suelo" (Meisinger, 1984) de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$N_f = (N_{ch} + N_{cr} - e_s N_{sin} - e_m N_{min})/e_f$$

Dónde: N_f = es la entrada de N fertilizante; N_{ch} = N del grano de cultivos; N_{cr} = N del residuo de la cosecha; N_{min} = mineralización del N del suelo estimado; N_{sin} = N inorgánico del suelo estimado; e_f = fracción del N_f en la biomasa aérea; e_s= fracción del N_{sin} en el biomasa aérea, y e_m= fracción del N_{min} en la biomasa aérea.

En la ecuación anterior, N_{sin} es determinado al momento de la siembra, y N_{min} se calcula (estima) a partir del contenido de N orgánico multiplicado por un coeficiente de mineralización (1-3%). Esta metodología puede estar sujeta a considerables errores, debido a que una fracción del N mineralizado del suelo determinado al momento de la siembra puede perderse antes de ser absorbido por las plantas (Hergert, 1987). Además, la magnitud de mineralización de N depende del contenido de la materia orgánica, calidad y accesibilidad del sustrato, humedad y temperatura del suelo (Rice y Havlin, 1994).

Estudios recientes utilizando el análisis de NO_3 en el suelo en V_6 (PSNT) han demostrado una buena correlación entre el rendimiento del grano de maíz y el contenido de NO^-_3-N de la superficie del suelo cuando las plantas están en V_4 a V_6 (Magdoff *et al*., 1984; Fox *et al*., 1989; Binford *et al*., 1992; Meisinger *et al*., 1992; Sims *et al*., 1995; Sainz-Rosas *et al*., 2000). El contenido de NO^-_3-N del suelo en esa etapa representa el balance neto entre la producción (mineralización del N de la materia orgánica del suelo, estiércol y/o fertilizantes) y la pérdida (lixiviación, desnitrificación, y la inmovilización del N) debido a que poco o nada de N se absorbe antes de esa etapa (Meisinger *et al*., 1992). Magdoff *et al*. (1984) han propuesto al PSNT como un índice de la intensidad de mineralización de N de la materia orgánica del suelo, partiendo del supuesto de que la mayoría N debe aplicarse en la etapa V_4 a V_6. Sin embargo, el PSNT también puede ser usado como una herramienta para evaluar aplicaciones de N hechas antes de la siembra e indicar si se necesita N complementario en V_6 (Binford *et al*., 1992).

En este trabajo, se pudo observar una respuesta favorable a la aplicación de nitrógeno en V_6 acorde a lo mencionado por otros investigadores citados en la literatura, observándose que el tratamiento 10 (0 kg/ha de N en la siembra) con 10 ppm en el suelo cuando se le aplico 180 kg/ha de N en V_6 incrementó 8.3 t/ha de forraje verde, mientras que el tratamiento 11 (45-135) con 15 ppm en el suelo incrementó 6.1 t/ha cuando se le aplicó 135 kg/ha de N en la etapa V_6. Para corroborar esto, a las variables estudiadas se le practicaron contrastes ortogonales comparándose los tratamientos 2, 3, 4 y 5 (fertilización a la siembra) vs 7, 8, 9 y 10 (fertilización en V_6), observándose alta significancia estadística en Peso seco de elote, Peso seco de grano de elote y Peso seco de grano, teniendo una mejor respuesta del cultivo cuando se fertiliza en V_6. Estas diferencias se observan más claramente en la figura 1, teniéndose 1 t/ha mas de producción de grano cuando se fertiliza con N en la etapa V_6 del maíz (época de escarda o primer riego de auxilio), este incremento es mayor en dosis bajas (45 y 90 kg/ha) en comparación a las altas (135 y 180 kg/ha).

Un objetivo específico fue determinar el umbral de concentración de nitratos del suelo (ppm de NO_3) en que hay respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz. Para lograrlo, se analizó el comportamiento de diferentes variables de producción (FV= Forraje verde o Forraje para silo; FS= Forraje seco; PFE= Peso fresco de elote; PSE= Peso seco de elote; PSGE= Peso seco de grano de elote; PSG= Peso seco de grano) en función de la concentración de NO_3^--N en la etapa V_6 del maíz, simulados por la aplicación de dosis crecientes de N (0, 45, 90, 135, 180 y 225 kg/ha), en 30 parcelas generadas de seis tratamientos por cinco repeticiones. En todas las variables estudiadas se notaron dos áreas definidas; en la primera existe una fuerte respuesta del rendimiento hasta alrededor de 20 ppm de NO_3^--N; y en la segunda, los rendimientos fueron similares desde 20 hasta 61 ppm NO_3^--N, por lo que fue necesario definir estadísticamente el punto que delimita las dos áreas. Para ello, se obtuvieron modelos de superficie de respuesta del tipo lineal segmentado mediante el procedimiento NLIN (Ihnen y Goodnight, 1985), para cada una de las variables

estudiadas como se muestra en el cuadro 2, donde el umbral de respuesta varió desde 20.3 hasta 25.2 ppm de NO_3^--N.

Cuadro 1. Tratamientos de N y rendimiento de forraje para silo, peso fresco de elote y peso seco de grano de maíz. 2017. INIFAP-Delicias.

No. Tratamiento	N Fertilización (kg/ha)		Forraje para silo (t/ha)	Peso fresco de elote (t/ha)	Peso seco de grano (t/ha)
	Siembra	Etapa V_6			
1	0	0	33.5 de	11.3 g	6.1 f
2	45	0	36.5 cd	13.1 fg	7.6 e
3	90	0	36.6 cd	12.7 fg	8.6 de
4	135	0	42.2 ab	16.9 abc	9.6 bcd
5	180	0	42.8 ab	18.2 a	9.5 bcd
6	225	0	43.6 a	17.8 ab	10.1 abc
7	0	45	37.3 cd	13.9 ef	8.5 de
8	0	90	38.8 bc	15.6 cde	9.8 abcd
9	0	135	42.8 ab	17.4 abc	10.4 ab
10	0	180	41.8 ab	17.1 abc	10.4 ab
11	45	135	42.6 ab	17.1 abc	11.1 a
12	90	90	42.3 ab	17.8 ab	10.2 ab
13	Estiercol		40.3 abc	16.1 bcd	9.5 bcd
14	Biosolidos		38.7 bc	14.5 def	8.7 cde
15	Testigo		30.9 e	11.2 g	5.3 f

Letras distintas indican diferencia estadística significativa (DMS, α=0.05).

Cuadro 2. Modelos de superficie de respuesta del tipo Lineal segmentados generados para las distintas variables estudiadas. 2017. INIFAP-Delicias.

Variable	a (Ordenada al Origen)	b (Pendiente)	Umbral de respuesta	F	Pr>F	R^2
FV	24.7188	0.7684	23.5	22.43	0.0001	0.6243
FS	10.9337	0.3562	23.5	17.92	0.0001	0.5703
PFE	5.8058	0.4725	25.2	28.28	0.0001	0.6768
PSE	4.1133	0.2893	24.2	28.72	0.0001	0.6803
PSGE	3.4312	0.2425	24.1	28.34	0.0001	0.6774
PSG	2.0125	0.3785	20.3	13.60	0.0001	0.5017

FV= Forraje verde o Forraje para silo; FS= Forraje seco; PFE= Peso fresco de elote; PSE= Peso seco de elote; PSGE= Peso seco de grano de elote; PSG= Peso seco de grano.

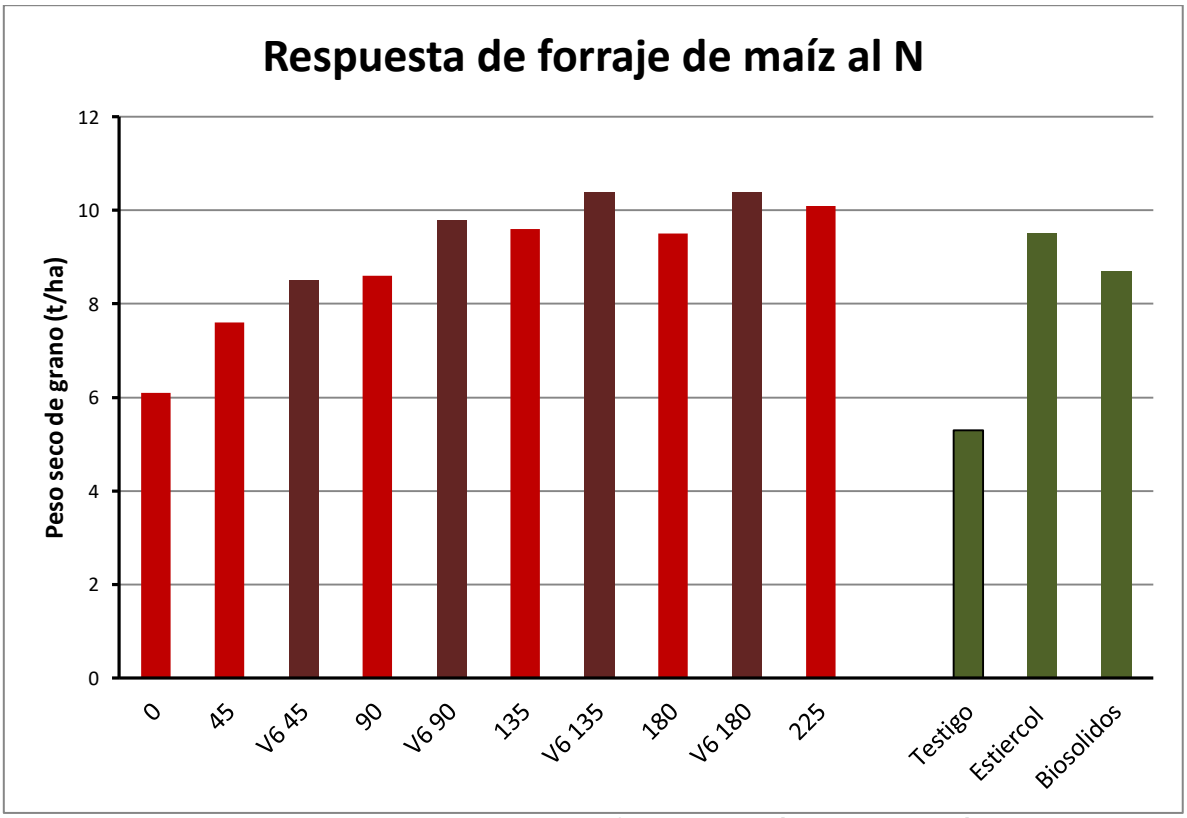


Figura 1. Rendimiento de Peso seco de grano (t/ha) de las diferentes dosis y épocas de aplicación de N. 2017. INIFAP-Delicias.

Por ejemplo, para la variable forraje verde o para silo (t/ha) se determinó un modelo lineal segmentado donde la ordenada al origen (0 ppm de NO_3^--N) fue de 24.7 t/ha, luego al incrementarse el contenido de nitratos del suelo el rendimiento aumentó 0.768 t/ha por cada ppm de nitratos hasta alcanzar un nivel de producción de 23.5 ppm de NO_3^-N, posteriormente se estabiliza el rendimiento ante el incremento de nitratos (figura 2). De esto se concluye que no existe respuesta a concentraciones mayores, por lo que agronómicamente esta es la apropiada.

Se observaron relaciones estrechas (R^2 =0.50–0.68, P=0.0001) entre las variables de rendimiento estudiadas y la concentración de NO^-_3–N en el suelo a 0-30 cm en la etapa V_6 del maíz (cuadro 2). Estos resultados están de acuerdo con la investigación reportada anteriormente (Magdoff *et al*., 1984; Fox *et al*., 1989; Meisinger *et al*., 1992; Binford *et al*., 1992; Bundy y Andraski, 1995; y Sims *et al*., 1995; Sainz-Rosas *et al*., 2000) e indican que bajo las condiciones de suelo y ambiente en esta localidad antes de la etapa V_6 del maíz, el análisis de NO^-_3–N de 0-30 cm de profundidad (PSNT) puede ser usado como un índice de la intensidad de la mineralización del N de la materia orgánica del suelo y del N nitrificado de la urea [$(NH_2)_2CO$] aplicada a la siembra, ambos denotan el potencial de suministro de N para el cultivo. El pequeño número de puntos que caen en el cuadrante superior izquierdo confirman esta idea (Figura 2). Por otro lado, los pocos puntos que caen en el cuadrante inferior derecho indican la lixiviación fuera de la zona de la raíz, pérdidas por

desnitrificación e inmovilización de NO^-_3–N después de V_6 no fueron importantes bajo las condiciones de este experimento.

La mayor eficiencia de uso fertilizante la tuvieron los tratamientos 9, 10, 11 y 12 los cuales fueron aplicados en la etapa V_6 del maíz, con 57, 59, 55 y 54% de eficiencia (cuadro 3).

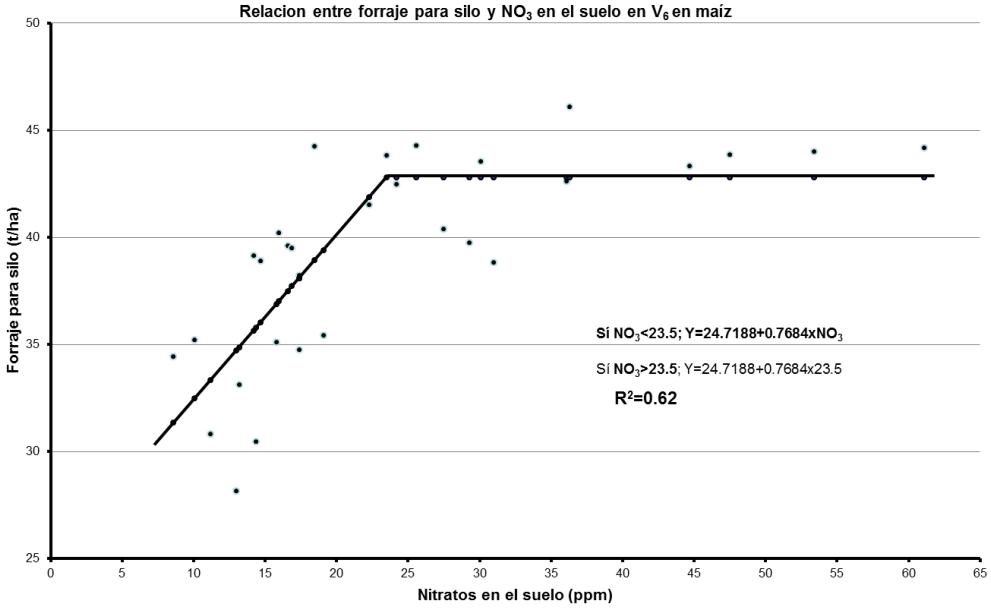


Figura 2. Rendimiento de forraje para silo (t/ha) en respuesta a la concentración de NO_3 (ppm) en el suelo en la etapa V_6 del maíz. 2017. INIFAP-Delicias.

Cuadro 3. Tratamientos de N y bipartición del N absorbido por la planta hacia el follaje y grano de maíz. 2017. INIFAP-Delicias.

No. Tratamiento	N Fertilización (kg/ha)		Nitrogeno en follaje (kg/ha)	Nitrogeno en grano (kg/ha)	Nitrogeno en el total de planta (kg/ha)	Eficiencia de uso de fertilizante (%)
	Siembra	Etapa V_6				
1	0	0	67	72	139	----------
2	45	0	72	81	153	31
3	90	0	70	89	159	22
4	135	0	80	123	203	44
5	180	0	80	121	201	34
6	225	0	77	136	213	33
7	0	45	48	85	133	---------
8	0	90	68	104	172	37
9	0	135	83	133	216	57
10	0	180	101	144	245	59
11	45	135	86	152	238	55
12	90	90	80	156	236	54
13	Estiercol		77	129	206	
14	Biosólidos		68	116	184	
15	Testigo		55	93	148	

Conclusiones

Los resultados mostraron que el análisis de NO^-_3–N a 30 cm de profundidad del suelo en la etapa V_6 (PSNT) refleja adecuadamente la disponibilidad de N del suelo para el maíz, incluso cuando algo de N se haya aplicado a la siembra y puede ser usado como un método para definir la dosis que requiere el cultivo y en momento más apropiado, sin arriesgar a que el rendimiento disminuya y minimizando el riesgo de contaminación de los acuíferos. Para la variable forraje verde o forraje para silo (t/ha) se determinó un modelo donde como ordenada al origen (0 ppm de NO_3^--N) fue de 24.7 t/ha y como punto de intersección o umbral de respuesta fue 23.5 ppm de NO_3^--N con lo cual se producen 42.8 t/ha de forraje, por lo que se concluye que no existe respuesta a concentraciones de nitratos mayores y esta concentración es la agronómicamente apropiada.

Por otro lado, la fertilización con nitrógeno en la etapa V_6 en maíz fue más eficiente que la aplicación a la siembra.

Referencias

Binford, G.D., A.M. Blackmer and M.E. Cerrato. 1992. Relation between corn yields an soil nitrate in late spring. Agron, J. 84: 53-59.

Bundy, L.G., and T.W. Andraski. 1995. Soil yield potential effects on performance of soil nitrate tests. J. Prod. Agric. 8:561–568.

El-Haout, N.M. and A.M. Blackmer. 1990. Nitrogen status of corn after alfalfa in 29 Iowa fields. J. Soil water Conserv. 45: 115-117.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1974. Soil map of the world. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Paris, France. 59 p.

Fox, R.H., J.M. Kern, and W.P. Piekielek. 1986. Nitrogen fertilizer source, and method and time of application effects on no-till maize yields and nitrogen uptakes. Agron. J. 78:741–746.

Fox, R. H., G. W. Roth, K. V. Iverson, and W. P. Piekielek. 1989. Soil and tissue nitrate tests compared for predicting soil nitrogen availability to corn. Agron. J. 81:971–974.

Hergert, G.W. 1987. Status of residual nitrate-nitrogen soil tests in the United States of America. p. 73–79. *In* J.R. Brown (ed.) Soil testing: Sampling, correlation, calibration, and interpretation. SSSA Spec. Publ. 21. SSSA, Madison, WI.

Ihnen, L.A. and J.H. Goodnight. 1985. The NLIN procedure. p. 575-606. *In* SAS User's guide: Statics, 5th ed. SAS Institutes Inc. Cary, N.C.

Magdoff, F. R., D. Ross and J. Amadon. 1984. A soil test for nitrogen availability for corn. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:1301–1304.

Meisinger, J.J. 1984. Evaluating plant-available nitrogen in soil-crop systems. p. 391–416. *In* R.D. Hauck et al. (ed.) Nitrogen in crop production. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.

Meisinger, J. J., F. R. Magdoff and J. S. Schepers. 1992. Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions: Underlying principles. p. 7–27. *In* B.R. Bock and K.R. Kelley (ed.) Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions. Proc. SSSA Symp., 28 Oct. 1991, Denver, CO. TVA Bull. Y-226. TVA, Muscle Shoals, AL.

Morris, T.F. and A.M. Blackmer. 1989 Survey of the nitrogen status of corn in two Iowa counties in 1988. P. 247 In Agronomy Abstracts. ASA. Madison, WI.

Morris, T.F. and A.M. Blackmer. 1990. Nitrogen status of corn fields in two Iowa counties in 1989. P. 275 In Agronomy Abstracts. ASA. Madison, WI.

Rice, C.W., and J.L. Havlin. 1994. Integrating mineralizable nitrogen indices into fertilizer nitrogen recommendation. p. 1–13. *In* J.L.V Havlin et al. (ed.) Soil testing: Prospects for improving nutrient recommendations. SSSA Spec. Publ. 40. SSSA, Madison, WI.

Ritchie, S.W. and J.J. Hanway. 1982. How a maize plant develops. Coop. Ext. Service Spec. Rep. 48. Iowa State Univ. of Science and Technology. Ames, IA.

Sainz Rozas,H.R.,H.E. Echeverria, G.A. Studdert, and F.H.Andrade. 1999. No-tillage maize nitrogen uptake and yield: Effect of urease inhibitor and application time. Agron. J. 91:950-955.

Sainz Rozas, H., H. E. Echeverria, G. A. Studdert and G. Dominguez. 2000. Evaluation of the presidedress soil nitrogen test for no-tillage maize fertilized at planting. Agron. J. 92:1176–1183.

Sims, J.T., B.L. Vasilas, K.L. Gartley, B. Miliken and V. Green 1995. Evaluation of soil and plant nitrogen tests for maize on manured soils of Atlantic Coastal Plain. Agron. J. 87:213–222.

SAS Institute. 1988. SAS/STAT User's guide. Release 6.03 SAS Institutes Inc. Cary, N.C.

Wells, K.L., and M.J. Bitzer. 1984. Nitrogen management in the no-till system. p. 535–549. *In* R.D. Hauck et al. (ed.) Nitrogen in crop production. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.

Wells, K.L., W.O. Thom, and H.B. Rice. 1992. Response of no-till maize to nitrogen source, rate, and time of application. J. Prod. Agric. 5:607–610.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

LA PROPORCIÓN Fe/Zn EN MANZANO VARIEDAD 'STARKRIMSON'

Blanco-Macías, F.[1*]; Valdez-Cepeda, R.D.[1]; Lara-Herrera, A.[2]; Márquez-Madrid, M.[1]; Magallanes-Quintanar, R.[3]; Méndez-Gallegos, S. de J.[4]

[1]**Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro Norte. Zacatecas, Zac., México.**
[2]**Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Agronomía. Zacatecas, Zac., México.**
[3]**Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica. Zacatecas, Zac., México.**
[4]**Colegio de Posgraduados, Campus San Luis Potosí. Salinas de Hidalgo, SLP., México.**

*Autor responsable: *Blanco-Macías, F. fiblama63@gmail.com; Calle Cruz del Sur Núm. 100, Col. Constelación, El Orito, Zacatecas, Zac. México. CP 98085; Tel. +52(492)-924-6147.

Resumen
Los nutrimentos se constituyen como factores limitantes de la producción en una amplia gama de agrosistemas. La proporción Fe/Zn puede ser usada para investigar como la disponibilidad relativa de Fe y Zn influye sobre varios procesos ecológicos y como es afectada por impactos humanos y de manejo. El objetivo del presente informe de investigación fue analizar el rendimiento, así como la proporción Fe/Zn, desde un punto de vista estequiométrico, por efecto de las aplicaciones de MicroSoil® (como fuente de RPCV) al follaje y las flores de árboles de manzano variedad 'Starkrimson', establecidos en Rancho Nuevo, Zacatecas sobre la composición de las hojas y la producción de fruto. La proporción estequiomética Fe/Zn puede ser útil para identificar desbalances nutrimentales en manzano. En la huerta experimental, el rango de la proporción Fe/Zn de 6 a 17.3 está asociada al 90% de rendimiento máximo estimado (70.66 kg fruto por árbol. Es decir, hubo especímenes cuyos rendimientos fueron limitados por Zn o F, dado que presentaron valores de Fe/Zn > 11.66 (Fe excesivo o Zn insuficiente), otros presentaron Fe/Zn < 6 (Fe insuficiente o Zn excesivo), mientras que unos pocos tuvieron valores entre 6 y 17.3 (Fe y Zn son co-limitantes).

Palabras clave
Nutrimento limitante; Rendimiento; Desorden nutrimental.

Introducción
La superficie dedicada al cultivo del manzano en México es de 66,400 ha. Esta área representa el 6% de la superficie total ocupada por todas las especies frutícolas (SAGARPA, 2002). El estado de Zacatecas tiene un potencial para el cultivo del manzano en 8,000 ha (Llamas-Llamas *et al*., s/f). Sin embargo, solo se cultivan 1,200 ha debido a que los últimos inviernos han sido cálidos e irregulares de manera que han provocado desequilibrios fisiológicos (que inducen brotación tardía, escasa e irregular, mayor sensibilidad al ataque de plagas y enfermedades y reducción del rendimiento) en los árboles de las variedades 'Golden' y 'Red Delicious' (Llamas-Llamas *et al*., s/f), lo cual ha conllevado a que la superficie cultivada haya disminuido notablemente desde más 2,000 ha en 1985. Muchos factores, como los nutrimentos, se constituyen como factores limitantes de la producción en una amplia gama de agrosistemas. En particular, los problemas de desórdenes nutrimentales por deficiencias y excesos han sido resueltos con la implementación de prácticas de manejo como la fertilización. Por ello, ha sido preciso el desarrollo de tecnología y la estimación de los requerimientos nutrimentales a nivel local o regional. En otras palabras, además de los

elementos minerales esenciales aplicados por medio de fertilizantes químicos, hay otros factores estimulantes del crecimiento de los vegetales amigables con el ambiente en condiciones específicas (Wojcik y Klambowski, 2004). Uno de ellos está asociado al uso de biofertilizantes que contienen microorganismos benéficos en lugar de productos químicos sintéticos, pues con ellos se mejora el crecimiento de las plantas ya que coadyuvan a mantener un ambiente sano y la productividad del suelo (O'Connell, 1992). Algunos microorganismos benéficos asociados con la rizósfera de las plantas son bacterias y han sido denominadas Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (RPCV). Entre ellas se han identificado cepas de los géneros *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Azospirillium*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Beijerinckia*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Rhizobium* and *Serratia* (Sturz y Nowak, 2000; Sudhakar *et al*., 2000). Estas bacterias son consideradas RPCV y agentes con potenciales para el control biológico de una amplia gama de bacterias y hongos patógenos que causan problemas de importancia económica en la agricultura (Cuppels *et al*., 1999; Cakmakci *et al*., 2001; Esitken *et al*., 2002; Esitken *et al*., 2003). En un gran número de estudios se ha demostrado el mejoramiento del crecimiento y el desarrollo de los vegetales, mediante la producción de reguladores del crecimiento como posible mecanismo, en respuesta a la inoculación de raíces o semillas con RPCV (Zahir *et al*., 2004). Pirlak *et al*. (2007) han sugerido que *Pseudomonas putida* BA−8 y *Bacillus subtillus* (sinónimo de *Paenibacillus macerans*) OSU−142 por si solas o en combinación, aplicadas al follaje y flores, tienen el potencial de incrementar el rendimiento, el crecimiento y las concentraciones foliares de nutrimentos en árboles de manzano 'Starkrimson', establecidos en una huerta experimental en Karaman, Turquía. Desde un enfoque estequiométrico, la proporción Fe/Zn puede ser usada para investigar como la disponibilidad relativa de Fe y Zn influye sobre varios procesos ecológicos y como es afectada por impactos humanos y de manejo. Los valores de Fe/Zn reflejan la disponibilidad relativa de Fe y Zn y pueden indicar el nivel de deficiencia de Fe o Zn experimentada por las plantas (Nambiar y Motiramani, 1981); en ocasiones son más confiables que los experimentos de fertilización (Güsewell *et al*., 2003). Por lo tanto, el objetivo del presente informe de investigación fue analizar el rendimiento, así como la proporción Fe/Zn, desde un punto de vista estequiométrico, por efecto de las aplicaciones de MicroSoil® (como fuente de RPCV) al follaje y las flores de árboles de manzano variedad 'Starkrimson', establecidos en Rancho Nuevo, Zacatecas.

Materiales y Métodos

Cepas bacterianas, condiciones de cultivo, medio y tratamientos

El producto comercial (MicroSoil®) se evaluó en un experimento como fuente de bacterias. En sí, dicho producto contiene *Azotobacter vinlandii*, *Clostridium pastereium*, *Bacillus lichenoformis*, *Bacillus subtilis*, *Rhodococus*, *Azospirillum*, *Arthrobacter* y *Rhodobacter*. La suspensión bacteriana se diluyó en agua destilada estéril para obtener 3 dosis diferentes: 250 mL en 25 L de agua, 312.5 mL en 25 L de agua y 417 mL en 25 L de agua. El experimento se estableció en una huerta de Rancho Nuevo, Zacatecas, en árboles de 6 a 10 años de edad (2010). El espaciamiento entre hileras fue de 4.5 m, mientras que entre árboles fue de 2.6 m. En el primer año, 48 árboles de la variedad 'Starkrimson' fueron seleccionados. Las 4 dosis se aplicaron en 4 bloques completos al azar. Cada dosis se aplicó en tres árboles; de esta manera: 4 dosis X 4 repeticiones X 3 árboles = 48 árboles. La aplicación de la dosis testigo o control (T1) consistió en rociar los árboles con agua estéril. La aplicación de las otras dosis consistió rociar la suspensión diluida en la etapa de plena floración y a los 30 y 60 días después de plena floración, durante 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 y

2017. Las prácticas riego y control de plagas y enfermedades fueron realizadas por el productor cooperante. Cabe señalar que el control fitosanitario integral del cultivo está basado en la prevención y manejo del agente causal de la pudrición del cuello (*P. cactorum*) de los árboles, mediante el uso de patrones tolerantes ('MM109') y la aplicación de fungicidas elaborados con base en hongos antagónicos *Trichoderma harzianum*. La prevención de daños a la raíz de los árboles, causados por pulgón lanígero, *E. lanigerum*, se ha llevado a cabo mediante el uso de patrones tolerantes ('MM109', 'MM106' y 'MM111') y el bioinsecticida Bio−Metha, elaborado con base en el hongo entomopatógeno, *Metharhizium anisopliae*. En este informe, el efecto de los tratamientos con bacterias se cuantificó al estimar las concentraciones de los elementos nutrimentales Fe y Zn en las hojas de 16 árboles cada año (1 de cada 3 a los que se aplicó cada tratamiento por repetición; 1 árbol murió, entonces n=127) y el rendimiento (Peso de Frutos/Árbol).

Análisis de Follaje

Hojas completamente desarrolladas de la parte media de la copa de cada uno de los 48 árboles fueron muestreadas a mediados julio en todos los años de estudio (2010-2017). Con el fin de determinar el contenido mineral en las hojas, las muestras fueron secadas en estufa a 68°C durante 48 horas y, posteriormente, molidas. El procedimiento espectrofotometría se usó para la determinación de Fe y Zn (AOAC, 1990), después de la dilución ácida de las muestras (AOAC, 1990).

Análisis de datos

Los datos de los 8 años de estudio con respecto a rendimiento (Peso de frutos/Árbol), así como de Hierro (Fe), Zinc (Zn) fueron analizados desde un punto de vista estequiométrico en forma gráfica (Rendimiento *versus* la relación nutrimental Fe/Zn). En otras palabras, en este informe preliminar no se plantea considerar los efectos de los tratamientos ni las diferencias entre variedades. Para ello, los datos se capturaron y procesaron en Excel.

Una curva envolvente fue usada para estimar valores óptimos de Fe/Zn y máximos de rendimiento. Por consiguiente, la variable Fe/Zn se dividió en 10 clases; luego, los valores de rendimiento mayor y los correspondientes de Fe/Zn en cada clase fueron involucrados para estimar los parámetros de la función (curva) envolvente, tal y como lo indicó Webb (1972).

Resultados y Discusión

Los estimadores estadísticos básicos de las variables involucradas se aprecian en el Cuadro 1; mientras que los datos usados para estimar la función cuadrática como curva envolvente se presentan en el Cuadro 2. Lo apreciable fácilmente es que la mayoría de las observaciones se localizan debajo de la curva cuadrática estimada (Figura 1); es decir, la mayoría de las observaciones corresponden a rendimientos pequeños. Sin embargo, pocas observaciones definidas por rendimientos grandes son apreciables en las clases de la variable Fe/Zn involucradas; por lo tanto, la selección de los pares de valores de ambas variables usadas para estimar la función envolvente fur relativamente simple.

De manera notable, hasta un valor de Fe/Zn=6 se aprecia un incremento de rendimiento tanto en los datos valores medidos como en los estimados con la curva envolvente (Figura 1). También, el rendimiento disminuye drásticamente después de Fe/Zn=17.3. Entonces, los árboles de manzano variedad 'Starkrimson', parecen ser capaces de producir rendimientos mayores a 60 kg cuando la proporción Fe/Zn en su follaje es de 6 a 17.3. El rendimiento máximo estimado (70.66 kg) con la función cuadrática se asocia a Fe/Zn=11.66.

Cuadro 1. Estimadores estadísticos básicos (n=127) de variables de follaje y rendimiento en manzano variedad 'Starkrimson'.

Estimador	Fe (ppm)	Zn (ppm)	Fe/Zn	Peso Fruto/Árbol (kg)
Media	143.77	43.90	10.39	21.67
Desviación Estándar	32.20	83.98	6.53	18.07

Cuadro 2. Datos para estimar función cuadrática al considerar Fe/Zn como variable independiente y Peso Fruto/Árbol como variable dependiente en manzano variedad 'Starkrimson'.

Clase de Fe/Zn	Intervalo Fe/Zn	Fe/Zn	Peso Fruto/Árbol (kg)
I	0-2.5	1.198	30.31
II	2.5-5	4.692	46.55
III	5-7.5	5.462	24.11
IV	7.5-10	7.778	97.79
V	10-12.5	10.583	81.09
VI	12.5-15	13.2	96.85
VII	15-17.5	16.75	41.92
VIII	17.5-20	17.7	43.78
IX	20-22.5	21.429	16.30
X	22.5-25	22.75	20.11
XI	25-27.5	26.2	8.11

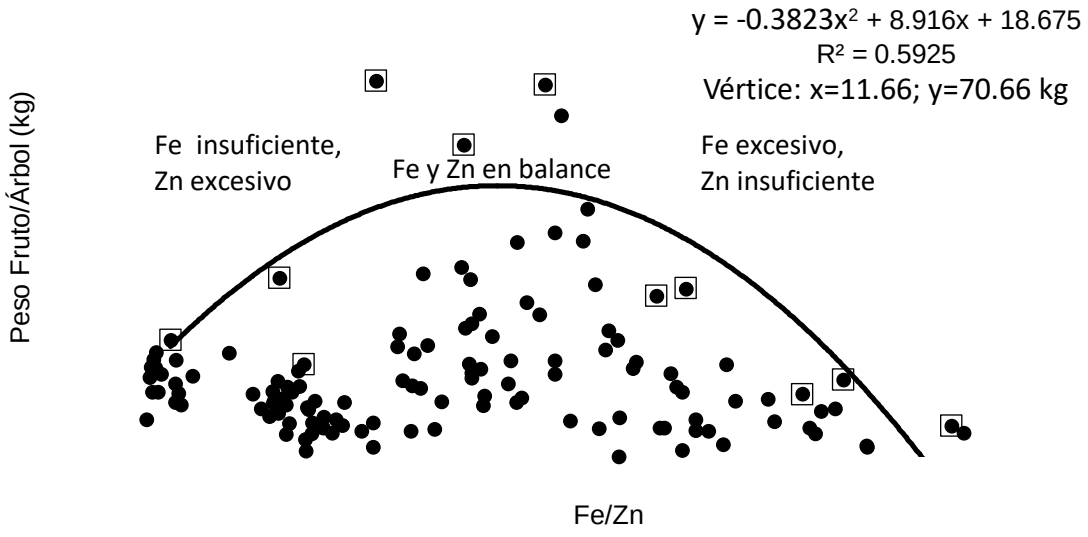


Figura 1. Distribución bivariada (Peso Fruto/Árbol y Fe/Zn) y función cuadrática como curva límite para definir valores de Fe/Zn óptimo en hojas y Peso de Fruto/Árbol máximo en manzano variedad 'Starkrimson'.

Los resultados de este trabajo amplían, en cierta manera, lo señalado por Nambiar y Motiramani (1981), quienes consignaron que el nivel crítico de la proporción Fe/Zn es 6, al considerar el 90% de rendimiento máximo en algunos cultivos, principalmente maíz. De hecho, las evidencias indican que a dicho nivel de Fe/Zn en el follaje de manzano variedad 'Starkrimson' se asocia el 90% de máximo rendimiento estimado con la curva envolvente apreciable en la Figura 1.

Asimismo, los resultados también fortalecen lo señalado por Watanabe *et al*. (1965), quienes sugirieron que el efecto adverso sobre los rendimientos de los cultivos puede no estar vinculado a las concentraciones de Fe y Zn por separado, sino que dicho efecto puede estar más asociado a decrementos de la proporción Fe/Zn. Este efecto es apreciable en la zona de Fe insuficiente y Zn excesivo en la Figura 1. Además, también es notable que a valores Fe/Zn mayores a 17.3 en el follaje de manzano variedad 'Starkrimson', el rendimiento disminuye drásticamente debido posiblemente a exceso de Fe o insuficiencia de Zn.

Conclusiones

En general, los resultados indican que el rendimiento en el cultivo de manzano variedad 'Starkrimson' puede maximizarse si la proporción Fe/Zn en el follaje se mantiene dentro del rango definido por los valores 6 y 11.66. Esta situación puede manejarse vía la aplicación de microorganismos (RPCV) al follaje; sin embargo, la necesidad de identificar la dosis adecuada aún no ha sido definida.

Agradecimientos

Al Instituto de Horticultura y la Dirección de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo por el financiamiento del proyecto del que se derivó éste informe.

Referencias

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990. Copper catalyst Kjeldahl method. p. 15. In: K. Helrich (Ed.). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th edition AOAC. Arlington, VA, USA.

Cakmakci, R., F. Kantar and F. Sahin. 2001. Effect of N2−fixing bacterial inoculations on yield of sugar beet and barley. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 164: 527−531.

Cuppels, D., F. Sahin and S.A. Miller. 1999. Management of bacterial spot of tomato and pepper using a plant resistance activator in combination with microbial biocontrol agents. *Phytopathology* 89: 19.

Esitken, A., H. Karlidag, S. Ercisli, M. Turan and F. Sahin. 2003. The effect of spraying a growth promoting bacterium on the yield, growth and nutrient element composition of leaves of apricot (*Prunus armeniaca* L. cv. Hacihaliloglu). *Aust. J. Agric. Res.* 54: 377−380.

Esitken, A., H. Karlidag, S. Ercisli and F. Sahin. 2002. Effects of foliar application of *Bacillus subtilis* Osu−142 on the yield, growth and control of shot−hole disease (*Coryneum* blight) of apricot. *Gartenbauwissenschaft* 67: 139−142.

Güsewell, S., Koerselman, W. and Verhoeven, J.T.A. 2003. Biomass N:P ratios as indicators of nutrient limitation for plant populations in wetlands. Ecological Applications 13: 372-384.

Llamas−Llamas, J.J., J.J. Avelar−Mejía, A. Lara−Herrera, J.O. Cortés−Bañuelos y M.A. Salas−Luévano. s/f. Evaluación de variedades de manzano con bajos requerimientos de frío invernal. Universidad Autónoma de Zacatecas−Unidad Académica de Agronomía. Zacatecas, Zac., México. 6 p. http://www.uaz.edu.mx/cippublicaciones/viijornadasdeinvestigacion/mesa9/Evaluaci%F3n%20de%20variedades%20de%20manzano.pdf.

Nambiar, K.K.M., and Motiramani, D.P. 1981. Tissue Fe/Zn ratio as a diagnostic tool for prediction of Zn deficiency in crop plants. I. Critical Fe/Zn ratio in maize plants. Plant and Soil 60: 357-367.

O'Connell, P.F. 1992. Sustainable agriculture−a valid alternative. *Outlook on Agric.* 21: 5−12.

Pirlak, L., M. Turan, F. Sahin and A. Esitken. 2007. Floral and foliar application of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) to apples increases yield, growth, and nutrient element contents of leaves. *J. Sustainable Agriculture* 30(4): 145−155.

Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2002. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

Sturz, A.V. and J. Nowak. 2000. Endophytic communities of rhizobacteria and the strategies required to create yield enhancing associations with crops. *Applied Soil Ecol*. 15: 183−190.

Sudhakar, P., G.N. Chattopadhyay, S. K. Gangwar and J.K. Ghosh. 2000. Effect of foliar application of *Azotobacter*, *Azospirillium*, and *Beijerinckia* on leaf yield and quality of mulberry (*Morus alba*). *J. Agr. Sci.* 134: 227−234.

Watanabe, F.S., Lindsay, W.L., and Olsen, S.R. 1965. Nutrient balance involving phosphorus, iron and zinc. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29: 562-565.

Webb, R. A. 1972. Use of the boundary-line in the analysis og biological data. J. Hort. Sci. 47: 309-319.

Wojcik, P. and K. Klambowski. 2004. 'Szampion' apple trees response to foliar Titanium application. *J. Plant Nutr*. 27(11): 2033−2046.

Zahir, A.Z., M. Arshad and W.T. Frankenberger, Jr. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: Applications and perspectives in agriculture. *Adv. Agron.* 81: 97−168.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

PRODUCTIVIDAD DE LA MILPA: MAÍZ, BAYOCOTE, HABA, CALABAZA Y CHÍCHARO FERTILIZADA CON NPK Y ESTIÉRCOL, EN GANZDA, ACAMBAY, ESTADO DE MÉXICO

Juan-García E.[1*]; Santiago-Mejía2, H.[1]; Albino-Garduño3, R.[1]

[1]Universidad Intercultural del Estado de México

*Autor responsable: eduarjg10@gmail.com; Calle s/n Núm. s/n, Col. Barrio el potrero, Acambay, México. México. CP 50513; Tel. +52(712)-182-3964

Resumen
La agricultura campesina en México es importante para lograr una seguridad alimentaria, ésta se practica mayormente en laderas. Pero está en una crisis reflejada en bajos rendimientos. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la respuesta de la fertilización con NPK y estiércol en el rendimiento de las especies de la milpa: maíz, bayocote, haba, calabaza, y chícharo. Para ello se estableció una parcela experimental en Ganzda, Acambay, Estado de México en el ciclo agrícola 2017. Se manejó un diseño experimental central compuesto con bloques al azar de parcelas divididas con dos parcelas grandes (0 y 20 t de estiércol ha-1) y diez tratamientos de parcela chica, con tres repeticiones. Los tratamientos de parcela chica se generaron a partir de un factorial 22 (+1, -1) más dos puntos axiales (-2, +2) de los factores N y P. El noveno tratamiento corresponde a la dosis central. El décimo tratamiento se utilizó para corroborar el efecto del K_2O (0, -2). Se agregó un tratamiento adicional sólo con estiércol. La fertilización con estiércol 20 t ha-1, obtuvo el mejor rendimiento de grano y rastrojo de maíz y de haba. La fertilización mixta, NPK más estiércol, incrementó los rendimientos de las especies componentes de la milpa. Las dosis 250 y 300 kg de nitrógeno con o sin estiércol disminuyo los rendimientos de grano y rastrojo de maíz, bayocote y haba. La fertilización con potasio disminuyó el rendimiento de grano y rastrojo de maíz y bayocote; sin embargo, incrementó el rendimiento de haba, calabaza y chícharo.

Palabras clave
Fertilización mixta; imbricado; intercalado; policultivo; MIAF.

Introducción
La intención básica del desarrollo sustentable es crear un proceso que permita el desarrollo social, pero de una manera en la que, para las generaciones venideras, deben seguir permaneciendo los recursos naturales y los ecosistemas donde garanticen un bienestar y una calidad de vida adecuados (Oguchi y Emmanuel, 2016).

Entre las necesidades fundamentales de la humanidad está la alimentación, para satisfacerla, la agricultura campesina o familiar tiene una gran importancia en nuestro país; gracias a que los pequeños productores son quienes sustentan la canasta de alimentos de autoconsumo (Barros, 2017).

La FAO y otros organismos internacionales han constatado que la agricultura familiar campesina en el mundo es la que produce más del 50% de los alimentos que se consumen en el mundo con solo el 23 % de superficie y el 40 % de agua de riego destinado a la agricultura (Altieri y Nicholls, 2012). En México, la mayoría de la agricultura campesina se ubica en condiciones de ladera y de temporal;

y se encuentra en una crisis económica y ambiental (Pérez y Juan, 2016). Existen tecnologías para tratar de revertir los problemas que enfrenta la agricultura campesina. Entre ellas se encuentra la tecnología Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF). Este sistema agroforestal está compuesto por tres estratos: sotocultivo (el frijol, otra leguminosa o especies de porte bajo); mesocultivo (maíz); epicultivo (árboles frutales con demanda en el mercado y adaptados a la ecología de la región) (Turrent *et al*., 2017). Es necesario realizar investigación en las condiciones reales del campesino, con especies locales, agricultura de temporal, condiciones edafoclimáticas adversas. De esta manera se desarrollará tecnología adecuada que disminuya la problemática de erosión de los suelos, baja productividad y rentabilidad, y por consecuencia tener la seguridad alimentaria. Por lo anterior, el presente trabajo tiene el objetivo de evaluar la producción de la milpa: maíz, bayocote, haba, calabaza, y chícharo fertilizada con NPK y estiércol, en el ciclo agrícola 2017, en un suelo Luvisol crómico de Ganzda, Acambay, comunidad otomí del noroeste del Estado de México.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El presente trabajo se realizó en un suelo Luvisol crómico bajo condiciones de temporal en la comunidad de Ganzda, Municipio de Acambay, Estado de México (Fig. 1).

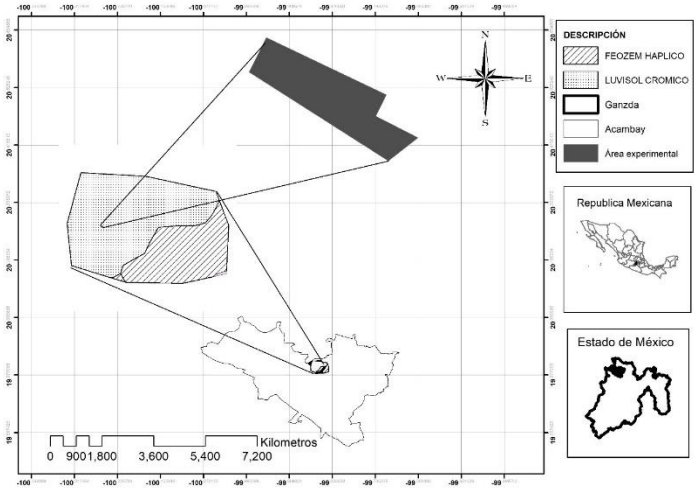


Figura 1. Ubicación de la parcela experimental y tipo de suelo en la comunidad de Ganzda, Acambay Estado de México**.**

La comunidad está ubicada en las coordenadas: longitud: -99.848889 y latitud: 19.988889, a una altura de 2800 metros sobre el nivel del mar, el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano y una precipitación anual de 660mm (INEGI, 2018).

Diseño experimental

Se manejó un diseño experimental central compuesto con bloques al azar de parcelas divididas con dos niveles de parcela grande y diez tratamientos de parcela chica, con tres repeticiones. Los niveles de parcela grande consistieron en, con estiércol 20 t ha-1 y sin estiércol 0 t ha-1. Los tratamientos de parcela chica se generaron a partir de un factorial 22 (+1, -1) que dio cuatro tratamientos, más dos puntos axiales (-2, +2) de los factores N y P que dieron cuatro tratamientos adicionales. El tratamiento 9 corresponde a la dosis central de los cinco niveles explorados (cuadro1). El décimo tratamiento se utilizó para corroborar el efecto del K2O (0, -2). El tratamiento adicional 12 consistió

en la aplicación de solo estiércol para cotejar la fertilización orgánica (cuadro 1).

Cuadro 1**.** Tratamientos del diseño experimental parcelas divididas, y tratamientos adicionales con los factores N, P, K y estiércol aplicados a maíz-haba, maíz-bayocote, calabaza y chícharo; en Ganzda, Acambay, ciclo agrícola 2017.

					maíz-haba, maíz-bayocote			calabaza			chícharo		
Trat.	X_1	X_2	X_3	Estiércol t ha^{-1}	N	P kg ha^{-1}	K	N	P kg ha^{-1}	K	N	P kg ha^{-1}	K
1	-1	-1	0	20	150	80	40	150	80	40	55	70	40
2	1	-1	0	20	200	80	40	200	80	40	75	70	40
3	-1	1	0	20	150	140	40	150	140	40	55	110	40
4	1	1	0	20	200	140	40	200	140	40	75	110	40
5	-2	0	0	20	125	110	40	125	110	40	45	90	40
6	2	0	0	20	225	110	40	225	110	40	85	90	40
7	0	-2	0	20	175	50	40	175	50	40	65	50	40
8	0	2	0	20	175	170	40	175	170	40	65	130	40
9	0	0	0	20	175	110	40	175	110	40	65	90	40
10	0	0	-2	20	175	110	0	175	110	0	65	90	0
11	0	0	0	20	175	110	40	175	110	40	65	90	40
12	-	-	-	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	-1	-1	0	0	150	80	40	150	80	40	55	70	40
14	1	-1	0	0	200	80	40	200	80	40	75	70	40
15	-1	1	0	0	150	140	40	150	140	40	55	110	40
16	1	1	0	0	200	140	40	200	140	40	75	110	40
17	-2	0	0	0	125	110	40	125	110	40	45	90	40
18	2	0	0	0	225	110	40	225	110	40	85	90	40
19	0	-2	0	0	175	50	40	175	50	40	65	50	40
20	0	2	0	0	175	170	40	175	170	40	65	130	40
21	0	0	0	0	175	110	40	175	110	40	65	90	40
22	0	0	-2	0	175	110	0	175	110	0	65	90	0
23	0	0	0	0	175	110	40	175	110	40	65	90	40

Simbología: X1= N, X2= P, X3= K y Estiércol, niveles de fertilización; -2= 1, -1=2, 0= central, 1= 3, 2= 4.

Arreglo topológico

La milpa se estableció en un arreglo de dos surcos de mesocultivo: un surco de maíz imbricado con haba y un surco de maíz imbricado con bayocote; intercalados con dos surcos de sotocultivo: un surco de calabaza y uno de chícharo.

Fertilización y escarda

Los dos tipos de fertilización utilizados en el experimento fueron NPK más estiércol y solo estiércol. Las dosis de fertilización para cada especie se aplicaron de acuerdo con la lista de tratamientos (Cuadro 1). Las dosis de fertilización para maíz, haba, bayocote, chícharo y calabaza se fraccionaron en dos partes; en la siembra y en la primera escarda. En la siembra se colocó 1/3-1-1-1 de NPK y estiércol, respectivamente; las 2/3 partes de N restante se aplicaron en la primera escarda (9 de junio). La calabaza se fertilizó en la primera y segunda escarda; en la primera se le aplicó 1/3-1-1-1 de N-P-K-estiércol, respectivamente; y las 2/3 partes faltantes del N, en la segunda. Las fuentes de fertilización fueron, N: urea; P: súper fosfato triple; K: cloruro de potasio; y estiércol de bovino precomposteado.

Cosecha

El tamaño de la parcela experimental fue de 5 m lineales con 0.80 m de ancho. Para realizar la cosecha se eliminó el efecto orilla 30 cm de cada extremo evitando el efecto de los tratamientos vecinos. Al final quedo una parcela útil de 4.4 m. La cosecha de fruto de calabaza se realizó en dos cortes, el 18 de agosto y el 2 de septiembre; para ello se seleccionaron tres plantas en competencia perfecta dentro del área útil de la parcela experimental. La cosecha del grano de chícharo se realizó el 10 de septiembre; de igual manera se eligieron tres plantas en competencia perfecta. La cosecha del grano de haba se realizó el 22 de octubre; se seleccionaron tres plantas en competencia perfecta. La cosecha del maíz y bayocote se realizó el 24 de noviembre, se evaluaron todas las plantas del maíz y bayocote de la parcela útil.

Análisis estadístico

El análisis de varianza (ANOVA) se realizó de acuerdo con el diseño experimental de parcelas divididas con el paquete estadístico SAS® (Statistical Análisis System) Versión 9.1 (SAS Institute, 2004). La comparación de medias fue realizada con la prueba de Tukey Krammer ($P \leq 0.05$). Se graficó el efecto del N-P-K y estiércol en el rendimiento de cada especie cultivada con Sigma Plot® versión 11.

Resultados y Discusión

Rendimiento de grano de maíz

El valor más alto del rendimiento de maíz se presentó con la fertilización de sólo estiércol para maíz imbricado con bayocote y maíz imbricado con haba (Cuadro 1), esto puede deberse a que cantidades adecuadas de estiércol favorecen a una alta eficiencia de uso de N; mientras que la fertilización mineral desequilibrada resulta una baja eficiencia de uso de N y una disminución en el rendimiento de los cultivos (Hui-Tian *et al*., 2015).

Rendimiento de rastrojo

El mayor rendimiento de rastrojo fue cuando el maíz estuvo imbricado con haba y con sólo 20 t ha^{-1} de estiércol (Cuadro 1). Los abonos orgánicos contribuyen al incremento en el rendimiento y la calidad de los cultivos (Hui-Tian et al., 2015). Estudios realizados por Muñoz-Tlahuiz *et al*. (2013), en los altos de Puebla y Tlaxcala en condiciones de temporal, encontraron que el mayor rendimiento de rastrojo de maíz se logró al aplicar estiércol con una dosis de 25 t ha^{-1}, lo que coincide con el presente estudio.

Rendimiento de bayocote

El mayor rendimiento de grano de bayocote imbricado con maíz fue con la dosis 250-50-40 kg ha^{-1} de N-P-K sin estiércol, 284.36 kg de grano en 0.25 ha-1. Sin embargo, también se presentaron rendimientos altos con la fertilización mixta, mineral con aplicación de estiércol 20 t ha^{-1} (Cuadro 1). Rojas *et al*. (2017) reportan que la producción de bayocote se favorece al asociarse con maíz; y Apáez *et al*. (2013) en condiciones de temporal con 150-150 kg de N-P ha^{-1} obtuvieron 1.42 t ha^{-1}; y puede alcanzarse hasta 8.6 t ha-1 con dosis similares (Rojas-Victoria *et al*., 2017).

Rendimiento del haba

El mayor rendimiento de grano fresco de haba imbricado con maíz (1.21 t 0.25 ha^{-1}) fue con sólo estiércol (20 t ha^{-1}). Pei-Pei *et al*. (2012) encontraron que la aplicación de estiércol (20 t ha^{-1}) en el cultivo de maíz intercalado con haba incrementa sus rendimientos. Otro estudio realizado por

Pichardo-Riego *et al*. (2013) con haba, muestran que el estiércol incrementa los rendimientos debido a la función y contenido nutrimental de la materia orgánica. Otro estudio en haba muestra que la fertilización mixta, mineral y estiércol, presentó los mayores rendimientos en comparación con sólo la mineral u orgánica (Guadarrama *et al*., 2007).

Rendimiento de la calabaza

El mayor rendimiento de fruto de calabaza (9.18 t 0.25 ha^{-1}) se presentó en la fertilización mixta, NPK más estiércol, tratamiento 4 (cuadro 1). Ebel *et al*. (2017) mencionan que la calabaza en policultivo con maíz y frijol su rendimiento incrementa en conjunto y genera resiliencia ante perturbaciones externas. Otros estudios han mostrado que la mejor fuente de fertilización es la mixta NPK más estiércol, un ejemplo de ello es el estudio realizado por Rojas *et al*. (2017) donde al utilizar 250-150-300 kg ha^{-1} de N-P-K y 15 t ha^{-1} de estiércol obteniendo rendimientos de 11.3 t ha^{-1} de fruto fresco de calabaza.

Rendimiento de chícharo

Los rendimientos más altos (3.13 y 3.30 t 0.25 ha^{-1}) de grano de chícharo fueron con la fertilización mixta, NPK y estiércol tratamiento 1 y 4 (cuadro 1) y 2.73 con puro estiércol, los tres son iguales estadísticamente. Estudios semejantes han mostrado que la fertilización mineral más estiércol logran rendimientos de 2.32 t ha^{-1} en chícharo (Rafique *et al*., 2015).

Conclusiones

La fertilización únicamente con estiércol 20 t ha^{-1}, obtuvo el mejor rendimiento de grano y rastrojo de maíz y de haba. El mejor rendimiento de grano de bayocote se encontró en la dosis 250-50-40 kg de NPK ha^{-1} sin estiércol. Para el rendimiento de fruto de calabaza y grano seco de chícharo la mejor dosis fue 200-140-40 kg ha^{-1} con 20 t ha^{-1} de estiércol.

La fertilización mixta, NPK más estiércol, incrementó los rendimientos de las especies componentes de la milpa; maíz, bayocote haba, calabaza, y chícharo en el ciclo agrícola 2017, en un suelo luvisol crómico en Ganzda, Acambay, Estado de México.

El efecto del nitrógeno, fósforo y potasio con 20 t de estiércol ha^{-1} en el rendimiento de las especies componentes de la milpa fue positivo, pero cuando no se usa estiércol su efecto es menor o negativo. Las dosis con 250 y 300 kg de nitrógeno con o sin estiércol abatieron los rendimientos de grano y rastrojo de maíz, de bayocote y de haba, y este efecto es mayor al no utilizarse estiércol.

La fertilización con potasio, 40 kg ha^{-1}, disminuyó el rendimiento de grano y rastrojo de maíz y de bayocote, y este efecto fue mayor al no fertilizarse con estiércol. Sin embargo, incrementó el rendimiento de haba, calabaza y chícharo, siendo mayor el efecto cuando se utilizó 20 t de estiércol ha^{-1}.

Referencias

Altieri M. A., C. Nicholls. 2012. Agroecología: única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología1: 1-21.

Apáez B P., J. A. S. Escalante E., P. Ramírez V., S. Douglas K O., E. Sosa M., V. M. Olalde G. 2013. Eficiencia agronómica de nitrógeno y fósforo en la producción de frijol chino en espaldera de maíz. Terra Latinoamericana 4: 285-293.

Barros C. 2017. Hagamos milpa. Fortalezcamos la agricultura campesina. Argumentos 83: 305-311.

Ebel R., J. G. Pozas C., F. Soria M., J. Cruz G. 2017. Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. Terra Latinoamericana 35: 149-160.

Guadarrama Q A., J. Escalante E., M. Rodríguez G., P. Sánchez G., E. Sandoval C. 2007. Biomasa, proteína, taninos y rendimiento en haba en función del nitrógeno. Terra Latinoamericana 25:169-175.

Hui-tian M., L. Jia-long., X. Ming-gang., Z. Wen-ju., H. Shao-min., P. Chang. C. Li-ming. 2015. Carbon and nitrogen

allocations in corn grown in Central and Northeast China: different responses to fertilization treatments. Journal of Integrative Agriculture 14:1212–1221.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2018. Catálogo de localidades. Consultado 23 de marzo de 2018 http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=150010024.

Muñoz-Tlahuiza F., J. de D. Guerrero-Rodrígueza., P. A. Lópeza., A. Gil-Muñoza., H. López-Sáncheza., E. Ortiz-Torresa., J. A. HernándezGuzmána., O. Taboada-Gaytána., S. Vargas-Lópeza., M. Valadez-Ramírez. 2013. Producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en condiciones de temporal en los valles altos de Libres-Serdán, Puebla, México. Revista mexicana de ciencias pecuarias 4: 515-530.

Oguchi C., B. and E. Chukwuma O. 2016. Sustainable Functional Education as a Strategy for the Attainment of Agenda 2030 (UN): A Perspective from the African Child. International Journal of Comparative Studies in International Relations and Development 4: 2354-4198.

Pei-Pei M., G Lin-Guo., P. W. Jian-Cheng., H. Hui-Ying., P. Christie., L. Li. 2012. Maize/faba bean intercropping with rhizobia inoculation enhances productivity and recovery of fertilizer P in a reclaimed desert soil. Field Crops Research130:19-27.

Pichardo-Riego J C., J. A. S. Escalante-Estrada., R. Díaz-Ruíz., A. Quevedo-Nolasco., V. Volke-Haller., E. J. Morales-Rosales. Rendimiento y eficiencia en el uso del agua de cultivares de haba (Vicia faba L.) Para doble propósito. 2013. Revista Chapingo Serie Horticultura1: 71-84.

Rafique E., M. Yousra., M. Mahmood-Ul-Hassan., S. Sarwar., T. Tabassam., T. K. Choudhary. 2015. Zinc Application Arects Tissue Zinc Concentration and Seed Yield of Pea (Pisum sativum L.). Pedosphere 2: 275-281.

Rojas V N., J. Escalante E., F. Conde M., J. Mejía C., R. Díaz R. 2017. Rendimiento del frijol ayocote y maíz del agrosistema asociado en función del número de plantas por mata. Terra Latinoamericana 35:219-228.

Rojas-Victoria N J., J. A. S. Escalante-Estrada., M. A. Rodríguez-Gonzales. 2017. Rendimiento de ayocote en espaldera de maíz con suministro de Nitrógeno. Ciencias de la Economía y Agronomía 2:1-5.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

PRODUCTIVIDAD DEL SISTEMA MILPA INTERCALADA CON ÁRBOLES FRUTALES, CON FERTILIZACIÓN MINERAL Y ORGÁNICA DURANTE TRES CICLOS DE CULTIVO, EN SAN FELIPE DEL PROGRESO, ESTADO DE MÉXICO

Muñoz-Ruiz E.[1*]; Albino-Garduño, R.[2]; Santiago-Mejía, H.[3]

Universidad Intercultural del Estado de México. Estado de México. México[1].
Universidad Intercultural del Estado de México. Estado de México. México[2].
Universidad Intercultural del Estado de México. Estado de México. México[3].

[1]*Autor responsable: eduardomunoz0894@gmail.com; Libramiento Francisco Villa S/N, Col. Centro, San Felipe del Progreso, Estado de México. México. CP 50640; Tel. +52 (712)-181-64-41.

Resumen

El objetivo del trabajo fue evaluar la productividad del cultivo maíz-frijol asociado, intercalado con tomate y relevado con cempasúchil durante tres ciclos de cultivo en Ejido San Felipe del Progreso. Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas con dos tratamientos, parcela grande (sin y con 10 t ha^{-1} de estiércol) y 22 tratamientos de fertilización mineral se intercalaron dos surcos de maíz-frijol asociado con tomate de cáscara. Los rendimientos de grano de maíz en los años 2015, 2016 y 2017, fue con la dosis de fertilización 90-50-40 de N-P-K kg ha^{-1} más estiércol. Los rendimientos en grano de frijol en los años 2015 y 2016 fueron: con la dósis de fertilización 180-80-40 de N-P-K kg ha^{-1} más estiércol y la dósis de fertilización 90-110-40 de N-P-K kg ha^{-1} más estiércol. Los rendimientos de tomate de cáscara en los años 2015, 2016 y 2017 con las dósis de fertilización 120-80-40 N-P-K kg ha^{-1}; con 150-110-40- de N-P-K kg ha^{-1} más estiércol. Los rendimientos de cempasúchil en 2016 y 2017 fueron; con la dósis de fertilización 180-80-40 de N-P-K kg ha^{-1} más estiércol y la fertilización de 10 t ha^{-1} de estiércol ovino precomposteado. En el año 2015 la ERT se obtuvó un valor de 1.23 solo mineral, indicando que se requiere un ha de monocultivo para alcanzar los rendimientos obtenidos en 0.33 ha^{-1} de policultivo y 1.42 con estiércol. En 2016, la ERT fue de un valor de 1.17 solo mineral; 1.63 con estiércol y ERT 2017 muestra efectos negativos.

Palabras clave

Policultivo; intercalado; rendimiento

Introducción

Una alternativa pertinente para la agricultura campesina, en superficies pequeñas y en ladera es el sistema milpa intercalada con árboles Frutales (MIAF). Este es un sistema agroecológico de cultivo múltiple en el cual el maíz, el frijol u otra leguminosa de preferencia comestible, y los árboles frutales con demanda en el mercado de fruta fresca, interactúan agronómicamente en franjas alternas perpendiculares a la pendiente del terreno. En el sistema MIAF, los cultivos básicos tienen el objetivo de garantizar la seguridad alimentaria, y los árboles son la fuente principal de ingreso económico, muro vivo para el control de la erosión hídrica de suelo, y en términos de servicios ambientales son

elemento clave para la captura y retención de carbono (Cortés *et al*., 2014). Por otro lado, se reconoce que la comunidad mazahua se basa en una economía de subsistencia estacional y autoconsumo que depende de las prácticas agrícolas de producción de temporal en el sistema milpa (Vizcarra y Guadarrama, 2006). Los campesinos en la zona mazahua representan un gran porcentaje de la población. Ellos practican una agricultura con ciertos usos y manejos particulares y con sistemas agrícolas que permiten tanto la conservación de especies como una dieta variada para ellos durante todo el año (Castillo *et al.*, 2013). En la región mazahua se han hecho algunas investigaciones previas sobre la fertilidad y productividad de la milpa. El estudio de Tapia (2015) mostró una ERT de 1.7 intercalando tomate con maíz-frijol asociado en un suelo andosol del Estado de México. Otro estudio realizado por García (2015) mostró una eficiencia relativa de la tierra (ERT) 1.35 y 1.40 intercalando maíz- frijol, asociado con haba en un suelo andosol. Se exploró el potencial de cultivos en el sistema MIAF y se determinó la dósis óptima fisiológica (o máximo rendimiento) del cultivo maíz (*Zea mays L.)* y tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) intercalados. En el estudio de Silva, (2016) en El Oro se obtuvo un rendimiento de 5.01 t ha^{-1} de maíz con la dósis de 120-80-40 kg ha^{-1} de N-P-K combinada con 10 t ha^{-1} de estiércol ovino. En caso de tomate de cáscara de 12.37 t ha^{-1} con la dósis de 120-80-0 kg ha^{-1} de N-P-K y 10 $kgha^{-1}$ estiércol ovino, con una ERT de 1.65. El método de campo para evaluar la productividad de agrosistemas, de acuerdo con Reggie J. (1991) propone que la optimización de insumos agrícolas (como fertilizantes) debe evaluarse en condiciones de producción del campesino. En este sentido, las recomendaciones técnicas de fertilidad son específicas del cultivo en cada condición de cultivo. La presente investigación se realizó en un suelo fluvisol, en el que se cultivaron especies de uso local, maíz (*Z mays*), frijol (*P vulgaris*), tomate de cascará (*P ixocarpa*), y cempasúchil (*Tagetes erecta*) este último como cultivo de relevo en el año 2015. La finalidad fue calcular la ERT de los cultivos múltiples. Así mismo, se calculó la optimización fisiológica de los fertilizantes sintéticos más estiércol, durante los ciclos agrícolas 2015, 2016 y 2017 en la localidad Ejido la Cabecera perteneciente al municipio de San Felipe del Progreso, Estado de México.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El experimento se estableció en el municipio de San Felipe del Progreso al noroeste del Estado de México. A una altitud de 2 545 msnm. La precipitación promedio de 950 mm, un clima templado subhúmedo. El suelo es fluvisol. (PRONTUARIO, 2009).

Diseño experimental

Se manejó un diseño experimental de parcelas divididas con dos tratamientos el diseño de tratamientos de parcela grande y 10 tratamientos de parcela chica, con tres repeticiones. En el ciclo 2017 se adicionó un tratamiento de parcela chica sólo con estiércol. Las parcelas chicas se generan a partir de un factorial 2^2 (+1,-1) que dio cuatro tratamientos más dos puntos axiales de los factores N y P que dieron 4 tratamientos más el tratamiento 9 correspondió a las dósis central de los factores explorados. El décimo tratamiento, se utilizó para corroborar el efecto del K_2O (0-2). El tratamiento adicional 11 correspondió a la dósis central (tratamiento 9) en monocultivo, se exploraron cinco niveles de los tres factores de estudio (N, P_2O_5 y K_20). Este fue utilizado para calcular ERT. El tratamiento adicional 12 consistió en la aplicación de sólo estiércol para cotejar la fertilización orgánica. En el monocultivo de maíz, frijol, cempasúchil y tomate de cáscara se probó la dósis

central que corresponde al tratamiento 22 en los dos primeros ciclos y en el último fue de 23. El tomate tuvo

la misma dósis de fertilización que el maíz, teniendo micro rotación de los surcos en los arreglos topológicos. Para determinar la dósis central de los cultivos, se tomó en cuenta la dósis recomendadade ICAMEX en los cultivos evaluados; Maíz de 115-46-30 (kg N-P-K ha^{-1}), tomate de cáscara 120-60-120 (kg N-P-K ha^{-1}) y frijol 40-40-30 (kg N-P-K ha^{-1}) y la dósis usada por los productores en la región del Municipio de San Felipe del Progreso en las localidades de Fresno Nichi es de 119-77-00 30 (kg N-P-K ha^{-1}), en San Pedro el Alto 158-15-00 (kg N-P-K ha^{-1}) y en el municipio de Jocotitlan en la localidad de San Juan Coajomulco, y el análisis físico químico del suelo de la zona de estudio. Para calcula la eficiencia relativa de la tierra se utilizó la ecuación de ERT es la siguiente: $ERT = \sum_j^n = 1y_{j,i} / y_{j,s}$ (Mead y Willey, 1980). Donde "N" es el inicio de la fórmula, "J" termina la ecuación, "Y" es el rendimiento de la especie en policultivo y "S" es el rendimiento de la especie en monocultivo. Los datos obtenidos del rendimiento de maíz, rastrojo, frijol, tomate y cempasúchil se analizaron en el programa estadístico SAS® versión 9.00. Se realizó análisis de varianza (ANOVA) correspondiente al diseño experimental usado el modelo $Y_{ij} = T_i$ ($p \leq 0,05$). Se graficó con el programa Sigma plot® versión 11.

Resultados y Discusión

Se presenta el análisis de los rendimientos de cada especie evaluada por separado, mostrando el efecto de los factores de estudio, y posteriormente se interpretará la evaluación como sistema de cultivo múltiple, a través de la eficiencia relativa de la tierra.

Maíz asociado con frijol de guía

En los tres años evaluados se observó que la fertilización mineral combinada con el estiércol ovino precompostado tuvo un efecto positivo ($P<0.05$) en los rendimientos del grano de maíz. Estudios previos han mostrado el efecto positivo del manejo integrado de fertilizantes minerales y orgánicos. En el estudio realizado por Silvia (2016) la combinación de fertilizante mineral y orgánico en el cultivo de maíz generó mayor rendimiento de grano cuando se utilizó la dósis de fertilización 120-80-40 de N-P-K Kg ha^{-1} mezclada con estiércol. (Álvarez-Solís *et al.*,2010) mencionan que para mejorar la producción de maíz no basta emplear fertilizantes minerales, se debe combinar con la fertilización orgánica para complementar los requisitos nutrimentales del cultivo con efectos positivos en la biomasa microbiana. De los 22 tratamientos probados, los rendimientos se obtuvieron con la dosis 90-50-40 de N-P-K con la fertilización mineral más estiércol ovino precompostado (10 t ha^{-1}) fue uno de los tratamientos con mayor rendimiento (2015, 3.33 t; 2016 4.56 t y 2017 3.60 / 0.33 ha^{-1}), de grano de maíz en los tres años evaluados.

Frijol de guía

Los rendimientos más altos de frijol no siempre se presentaron en los tratamientos con la combinación de fertilización mineral más estiércol. En el año 2015 el tratamiento con mayor ($P \leq 0.05$) rendimiento (0.48 t/ 0.33 ha^{-1}) se obtuvo con la dosis 180-80-40 N-P-K kg ha-^{1} combinado con estiércol ovino (10 t ha^{-1}). Se obtuvo un rendimiento positivo con el cambio de la dosis baja en nitrógeno, dado que se realizó la micro rotación, por lo que refiere al año 2016 con la dosis 90-110-40 N-P-K kg ha^{-1} combinado con estiércol ovino 10 t ha^{-1} alcanzó el rendimiento máximo (0.60 t /

0.33 ha^{-1}). La integración de leguminosas mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, aportan materia orgánica y permiten la entrada de nitrógeno al suelo (Gimeno *et al*., 2006).

Tomate de cáscara

Los rendimientos más altos del tomate de cáscara se presentaron en todos los tratamientos con la combinación de fertilización mineral más estiércol. El estudio de Antonio (2018) confirma que los rendimientos más altos de tomate de cáscara fueron con la combinación de fertilizante mineral más estiércol. En el año 2015 el tratamiento que mostró mayor ($P \leq 0.05$) rendimiento (3.36 t /ha^{-1}) de tomate de cáscara fue con la dosis 180-80-40 N-P-K kg ha^{-1} combinado con estiércol ovino (10 t ha^{-1}). No obstante, la dosis 120-20-40 N-P-K kg ha^{-1} más estiércol mostró rendimientos altos en los años 2016 (4.86 t / 0.33 ha^{-1}) y 2017 (4.64 t / 0.33 ha^{-1}). El estudio realizado por Antonio (2018), mostró que el rendimiento más alto de tomate de cáscara fue con la dósis 120-20-40 kg ha^{-1} combinado con 10 ton ha^{-1} de estiércol. Cano (2016) en su estudio, evidencia que los fertilizantes orgánicos satisfacen las necesidades en el cultivo de tomate de cáscara para una mejor producción y calidad del fruto.

Cempasúchil

En el año 2015, el tratamiento que mostró mayor ($P \leq 0.05$) rendimiento (110,654.44 capítulos / 0. 33 ha^{-1}) de capítulos de cempasúchil fue con la dósis 180-80-40 N-P-K kg ha^{-1}. No obstante, el tratamiento con la dosis 0-0-0 N-P-K kg ha^{-1} más 10 t ha^{-1} de estiércol mostró el mayor rendimiento (70,263 capítulos / 0. 33 ha^{-1}) en el año 2017. Se estima que el alto rendimiento de cempasúchil en 2017 se debió al efecto residual de las especies cultivadas (tomate de cáscara, maíz, frijol de guía). Álvarez *et al.*, (2010), concluye en su estudio que la incorporación combinada de estiércol, rastrojo y cobertura de leguminosa es una estrategia adecuada para disminuir la fertilización inorgánica, con un efecto positivo en biomasa microbiana y la materia orgánica. Salazar *et al.,* (2010), menciona que después de un período de varios años de aplicación continua de estiércol, queda suficiente nitrógeno residual para producir el siguiente ciclo agrícola sin necesidad de aplicar ningún fertilizante químico y sin que disminuyera la producción.

Eficiencia relativa de la tierra

En este estudio, la eficiencia relativa de la tierra (ERT) con fertilización mineral fue de 1.23 y 1.17 y con la fertilización orgánica mostró una ERT de 1.42 y 1.63 en los años 2015 y 2016. Es decir, el valor de 1.23 necesita una hectárea de monocultivo para obtener los rendimientos que se obtienen en 0.3 hectárea de policultivo (maíz-frijol, asociado, intercalado con tomate de cáscara) en el sistema MIAF. La fertilización mineral más estiércol mostró un incremento en la ERT. Por el contrario, en el año 2017 la ERT muestra efectos negativos. La eficiencia relativa de la tierra parcial, con fertilización
mineral y orgánica más alta en 2015 fue de 0.57 en policultivo de frijol y 0.60 en policultivo de tomate de cáscara; en 2016 fue de 0.74 y 0.91 en policultivo de maíz; en 2017 de 0.27 en policultivo de maíz y 0.32 en politultivo de cempasúchil. Se han realizado estudios bajo el sistema MIAF mostrando que la ERT es mayor a 1. Si la ERT es mayor que 1.0, el cultivo intercalado es más eficiente, y si ella es menor que 1.0 entonces, el cultivo simple es más eficiente (Gliessman, 2002). Silva (2016) obtuvó en su estudio una ERT de 1.65 y 1.15 en el sistema intercalado de maíz con tomate, con fertilización mineral y con estiércol respectivamente

Conclusiones

La dósis óptima fisiológica para el cultivo de maíz fue con 90-50-40 kg ha^{-1} de N-P-K combinada con 10 t ha^{-1} de estiércol de ovino puesto que mostró rendimientos positivos los tres años evaluados. Por su parte, los rendimientos más altos en el tomate de cáscara y frijol de guía se presentaron en los tres años con 120-20-40 kg ha^{-1} de N-P-K compuesto y 10 t ha^{-1} estiércol de ovino. Los rendimientos más altos de cada especie fueron con fertilización mineral combinada con la fertilización orgánica más estiércol. El mayor valor de eficiencia relativa de la tierra fue de 1.63 al comparar a la misma dósis de fertilización en monocultivo y en policultivo combinada con mineral más orgánica, así mismo, mostró que se requiere más terreno en monocultivo para alcanzar el rendimiento en policultivo. Se estima que la fertilización orgánica con estiércol ha dejado efectos residuales de nutrimentos asimilables para los cultivos de relevo, para corroborarlo se requiere investigación que lo verifique.

Referencias

Álvarez, S, J. D., Díaz-Pérez, E., León-Martínez, N. S., and Guillén-Velásquez, J. 2010. Enmiendas Orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento de maíz. *Terra Latinoamericana*, *28*3.

Álvarez, S, J. D., Gómez-Velasco, D., León-Martínez, N. S., and Gutiérrez-Miceli, F. A. 2010. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. *Agrociencia*, *44*5.

Antonio, D, A. 2018. Opimización de fertilizantes (N-P-K Y Estiércol Ovino) en el cultivo intercalado de maíz (*Zeas Mays L.*) y tomate *(Physalis Ixocarpa*) del año 2016 en Santa Rosa de Lima, Estado de México.

Cano, M. L. 2016. Fertilizaciones orgánicas en el desarrollo del cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* brot.).

Castillo-Nonato, J., and Chávez-Mejía, C. 2013. Caracterización campesina del manejo y uso de la diversidad de maíces en San Felipe del Progreso, Estado de México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, *10*(1), 26-38.

Cortés, F. J. I., and Turrent F. A. 2014. La milpa intercalada con árboles frutales (MIAF): Un sistema agrícola multiobjetivo para las pequeñas unidades de producción, programa de edafología, Colegio de Postgraduados.

García, T. L. 2015. Fertilización mineral y orgánica en el cultivo intercalado maíz- frijol asociado y haba en un andosol del Estado de México. Colegio de Posgraduados. Maestría en Ciencia. 44.

Gimeno, G. H., González, L. R. G. and Guzmán, C. G. 2006. El manejo tradicional de las huertas en la provincia de granada. VII Congreso SEAE Zaragoza. 13:1-11

Gliessman, R. S. 2002. Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible., Turrialba, Costa Rica. 243-245.

Mead, R., Willey, R.W, 1980. The concept of a “Land Equivalent Ratio” y advantages in yelds from intercropping. Exp. A Gric.16, 217-218.

Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos San Felipe Del Progreso 2009. México. *Clave Geoestadística 15074 2009*.

Reggie, J. L. 1991., Rama de suelos., Investigación agronómica para el desarrollo de la agricultura tradicional. Colegio de Posgraduados. Escuela nacional de agricultura. Chapingo, México.

Salazar,S. E., Trejo-Escareño, H. I., López-Martínez, J. D., Vázquez-Vázquez, C., Serrato-Corona, J. S., Orona-Castillo, I., and Flores-Márgez, J. P. 2010. Efecto residual de estiércol bovino sobre el rendimiento de maíz forrajero y propiedades del suelo. *Terra Latinoamericana*, *28*(4), 381-390.

Tapia, H.A. 2015., Sotocultivos en el sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) En la región noroeste del Estado de México., Colegio de Postgraduados., Maestría en Ciencia. 71.

Vizcarra, B. I. and Guadarrama, M. 2006. Las niñas a la casa y los niños a la milpa la construcción social de la infancia mazahua. Convergencia, *13*(40), 39-67

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

FERTILIZACIÓN Y PRODUCTIVIDAD DE LA MILPA EN EL SISTEMA MIAF EN TRES COMUNIDADES MAZAHUA DEL ESTADO DE MÉXICO

Santiago-Mejía, H.[1*]; Albino-Garduño, R.[1]; Muñoz-Ruiz, E.[1]; Silva-Arellano, G.[1]; Lucas-Álvarez, G[1].

[1]Universidad Intercultural del Estado de México. San Felipe del Progreso, Estado de México. México.

*Autor responsable: horaciosm@colpos.mx; Libramiento Francisco Villa S/N, Col. Centro, San Felipe del Progreso, Estado de México. México. CP 50640; Tel. +52(712)-123-5963 Ext. 118 y 119.

Resumen

El objetivo de la investigación fue analizar el efecto de la fertilización con NPK y estiércol en el rendimiento del cultivo maíz cónico (*Zea mays* L.) intercalado con tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*), en el sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF), en tres comunidades mazahua del Estado de México. Las parcelas se establecieron con campesinos del Ejido La Cabecera (EC), Santa Rosa de Lima (SR) y San Mateo (SM), durante el ciclo agrícola 2015. Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas con dos tratamientos de parcela grande y 10 tratamientos de parcela chica, con tres repeticiones. La parcela grande fue: 1) estiércol vacuno (10 t ha^{-1}) y 2) sin estiércol. Los tratamientos de parcela chica resultaron del diseño compuesto central rotable con los factores nitrógeno, fósforo y potasio. Se evaluó el rendimiento de grano de maíz y del fruto de tomate (t $0.5ha^{-1}$). Con la dosis central 120-80-40-10 kg de NPK y t estiércol ha^{-1} el mayor de rendimiento de maíz fue en EC y de tomate en SM, 5.4 y 8.6 t $0.5ha^{-1}$, respectivamente. El estiércol favoreció el efecto de NPK en el rendimiento de maíz de los tres sitios y en tomate el N, P y su interacción abatió los rendimientos en SR y SM. El P y su interacción con estiércol incrementaron el rendimiento de maíz en el andosol de SR. La productividad de la milpa varió en cada comunidad y la fertilización de NPK y estiércol la potencializa.

Palabras clave: NPK, estiércol, maíz cónico, tomate de cáscara.

Introducción

La agricultura campesina en México enfrenta dos grandes retos, resolver la crisis ambiental, económica y social en la que se encuentra inmersa; y por otro parte, salvaguardar la agrobiodiversidad mexicana. El 82 % de la unidades de producción en México son menores a cinco hectáreas y casi la mitad de ellas se encuentras en laderas con pendientes moderas y abruptas. En estas regiones habitan la mayoría de los 26 millones de indígenas de nuestro país (CDI, 2018). La pérdida de fertilidad de los suelos, el uso indiscriminado de agrotóxicos, la tendencia al monocultivo, principalmente, ponen en riesgo la seguridad alimentaria de la población rural. La Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF) es una alternativa agroecológica para resolver la crisis multidimensional de la agricultura campesina. Es una plataforma tecnológica con un arreglo topológico que permite la interacción agronómica positiva en su cultivo (Albino-Garduño *et al*., 2015); árboles frutales (epicultivo), maíz asociado con frijol o haba (mesocultivo) y especies de porte bajo como tomate, calabaza o quelites (sotocultivo). Este sistema se establece en franjas, en laderas las franjas van en curvas a nivel en las que el árbol frutal ocupa el 40% de la superficie, y la milpa el 60% (Cortés *et al*., 2005). La tecnología se ha desarrollado con especies mejoradas o

nativas en unidades productivas de mediana a alta productividad, en los estados de Oaxaca, Chiapas, Veracruz y Puebla. De acuerdo a su pertinencia para el campesino en México hace necesario su desarrollo y evaluación en regiones que los requieren como en las que habitan los grupos originarios del Estado de México. Los campesinos mazahua aun cultivan el maíz cónico de diferentes colores, pero su rendimiento es bajo debido a la degradación de sus suelos. Por lo anterior es necesario realizar investigación en las condiciones edafloclimáticas y socioculturales de estos campesinos. Evaluar el efecto de la fertilización con NPK y estiércol en el rendimiento del cultivo maíz cónico intercalado con tomate de cáscara en tres comunidades mazahua del Estado de México; ayuda a incrementar la producción de cultivos básicos y coadyuva a la seguridad alimentaria de la población indígena y rural de México.

Materiales y Métodos

Sitio experimental

El estudio se realizó en comunidades mazahua de tres municipios del Estado de México: 1) Santa Rosa de Lima, en El Oro; 2) Ejido La Cabecera, en San Felipe del Progreso y 3) San Mateo, en Ixtlahuaca. El clima en los tres sitios es templado subhúmedo con lluvias en verano.

Para conocer las características del suelo, previas al experimento y del estiércol usado se analizaron tres muestras compuestas de cada sitio experimental en enero de 2015.

Diseño de tratamientos y experimental

Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas con dos tratamientos de parcela grande y 10 tratamientos de parcela chica, con tres repeticiones. Estos fueron probados en el cultivo intercalado de maíz-tomate en razón de dos surcos de cada especie. La parcela grande fue: 1) fertilización con estiércol vacuno pre-composteado (5 t ha^{-1}) y 2) sin estiércol. En cada parcela grande se evaluaron los factores nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). La combinación de estos factores dio lugar a 10 tratamientos de parcela chica de acuerdo a un diseño compuesto central rotable (Cuadro 1). Este diseño tuvo como base un diseño factorial 2^2 (dos niveles de los factores: N y P). Los niveles de cada variable se codificaran como -1 y +1, aumentados por cuatro puntos axiales codificados como -2 y +2, además de un punto central codificado como (Barrios-Ayala *et al*., 2003; Volke *et al*., 2005) (Cuadro 2). Para conocer el efecto del potasio en los tratamientos, con dosis constante de este, se anexó un tratamiento sin potasio. El tomate tuvo la misma dosis de fertilización que el maíz.

Cuadro 1. Tratamientos de parcela chica en central compuesto para dos factores y un tratamiento adicional sin potasio.

Tratamiento	Factores y sus niveles		
	N	P	K
1	-1	-1	0
2	+1	-1	0
3	-1	+1	0
4	+1	+1	0
5	-2	0	0
6	+2	0	0
7	0	-2	0
8	0	+2	0
9	0	0	0
10	0	0	-2

Cuadro 2. Codificación de los niveles de N, P y K (fertilizante mineral) a probar en cada parcela chica

	Niveles de los factores				
	-2	-1	0	+1	+2
N (kg ha^{-1})	60	90	120	150	180
P_2O_5 (kg ha^{-1})	20	50	80	110	140
K_2O (kg ha^{-1})	0	20	40	60	80

Los tratamientos de parcela chica tuvieron distribución al azar en cada repetición. Cada tratamiento de parcela chica tuvo una parcela útil de dos surcos de 0.8 m de ancho por 4.1 m de largo en cada una de las tres repeticiones.

Manejo del cultivo

Las fechas de cada labor cultural, los procedimientos de siembra, escarda y cosecha se hicieron como los campesinos acostumbran de manera tradicional. El barbecho con arado (enero de 2015) y el trazado de surcos para la siembra (abril de 2015) se hizo con tracción animal. Se utilizó semilla nativa de maíz cónico (*Zea mays* L.): blanco en San Mateo, amarillo en El Ejido y negro en Santa Rosa. En la siembra de maíz y trasplante de tomate se aplicó 1/3 del N, todo el P y K. El resto del N se aplicó al maíz en la primera escarda y al tomate cuando fue la segunda escarda del maíz. El estiércol fue aplicado durante la siembra de maíz a dosis constante equivalente a 10 t ha^{-1}. El tomate verde (*Physalis ixocarpa*) fue sembrado en almácigo y trasplantado en la primera semana de junio. En la misma fecha se realizó la primera escarda del maíz y su segunda fertilización.

Variables de estudio

Rendimiento de grano de maíz (t 0.5 ha^{-1}) se calculó con el 14 % de humedad y rendimiento de fruto de tomate de cáscara (t 0.5 ha^{-1}).

Análisis estadístico

Los datos de rendimiento de grano de maíz y de fruto de tomate de cáscara se les realizaron un Análisis de Varianza (ANOVA) para determinar las variables significativas en el rendimiento. Con las variables significativas del rendimiento de ambas especies se realizó análisis de regresión para determinar su ecuación de rendimiento.

Resultados y Discusión

Con la dosis central, 120-80-40 kg de NPK ha^{-1} el rendimiento más alto de grano de maíz fue en la comunidad de Ejido La Cabecera, en segundo lugar San Mateo y el más bajo fue en Santa Rosa de Lima; 5.4, 2.8 y 2.5 t 0.5ha^{-1}, respectivamente. En los tres sitios hubo un efecto positivo en el rendimiento al utilizar 10 t estiércol ha^{-1} (Fig. 1A). Para el rendimiento de fruto de tomate de cáscara el rendimiento más alto se obtuvo en la comunidad de San Mateo, seguido por Ejido La Cabecera y el más bajo en Santa Rosa de lima; 8.6, 6.9 y 4.6 t 0.5ha^{-1}, respectivamente (Fig. 1B). El estiércol también tuvo un efecto positivo en el rendimiento al utilizarse en la fertilización.

En Ejido La Cabecera, el rendimiento de grano de maíz al no utilizarse estiércol se abate por efecto del nitrógeno (4.4 t ha^{-1}), pero al utilizarse 5 t estiércol ha^{-1} el efecto del N y del K es positivo, alcanzado hasta un rendimiento de grano de 6.4 t 0.5ha^{-1}. En esta localidad, al utilizarse o no estiércol el K tiene un efecto positivo en el rendimiento de maíz (Cuadro 1).

En Santa Rosa de Lima, el rendimiento de grano de maíz al no utilizarse estiércol es menor que al utilizarse estiércol. Al incrementarse las unidades de N el rendimiento se abate, pero al usarse K el rendimiento se incrementa, en ambos casos, con o sin estiércol. En el suelo andosol de esta comunidad, con deficiencias de P, al utilizarse estiércol y P se incrementa el rendimiento (Cuadro 1).

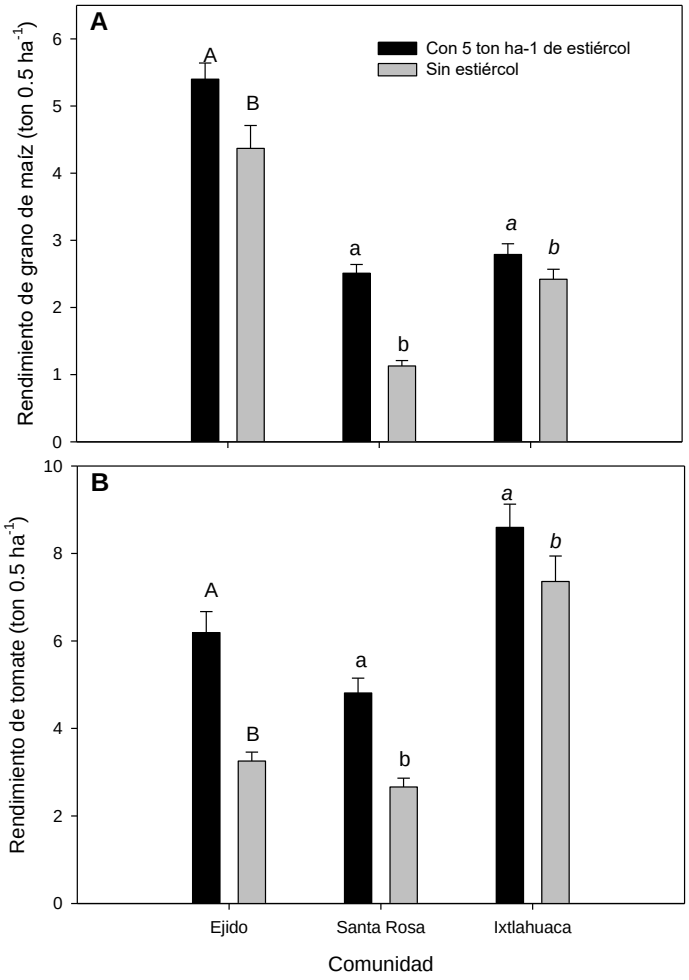


Figura 1. Efecto de la fertilización 120-80-40 kg de NPK ha^{-1} con y sin estiércol en el rendimiento de grano de maíz (A) y de fruto de tomate de cáscara en tres comunidades mazahua del Estado de México, en el ciclo agrícola 2015.

En San Mateo, el rendimiento de grano de maíz también se ve favorecido al utilizarse estiércol. Al no utilizarse estiércol el efecto del N en el rendimiento es positivo, el del K y de la interacción NP es negativo. Pero cuando se utiliza 5 t estiércol ha^{-1} el efecto en el rendimiento del N es negativo y del K positivo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Ecuaciones de regresión del rendimiento de grano de maíz y fruto de tomate de cáscara en tres comunidades mazahua del Estado de México.

Variable	Ecuación de regresión
Grano de maíz	
$\hat{Y}_{M\ Ejido\ sin\ est.}$ =	4.29984 - 0.48723**N** + 0.63908**K**
$\hat{Y}_{M\ Ejido\ con\ est.}$=	5.27024 + 0.12087**N** + 1.00066**K**
$\hat{Y}_{M\ SantaRosa\ sin\ est.}$ =	1.02127 – 0.0283**N** + 0.13304**K**
$\hat{Y}_{M\ SantaRosa\ con\ est.}$ =	4.29984 – 0.92395 **N** + 0.11751**K** + 0.11762**P**
$\hat{Y}_{M\ SanMateo\ sin\ est}$=	2.65607 + 0.12152**N** – 0.05361 **K** - 0.21531**NP**
$\hat{Y}_{M\ SanMateo\ con\ est.}$ =	3.64006 – 1.12593**N** + 0.34687**K**
Tomate de cáscara	
$\hat{Y}_{T\ Ejido\ sin\ est.}$ =	3.06587- 0.11463**N**- 0.25616**P**
$\hat{Y}_{T\ Ejido\ con\ est.}$=	5.17983 + 0.55754**N** + 0.19070**P**
$\hat{Y}_{T\ SantaRosa\ sin\ est.}$ =	3.06587 + 0.65843**K** - 1.06177**NP**
$\hat{Y}_{T\ SantaRosa\ con\ est.}$ =	6.75167 - 0.54089**N** - 0.46211**P** - 0.93645**K**
$\hat{Y}_{T\ SanMateo\ sin\ est}$=	6.96893 - 1.31466**K**
$\hat{Y}_{T\ SanMateo\ con\ est.}$ =	3.06587 - 0.86345**N** - 1.42356**P** - 2.28438**NP**

$\hat{Y}_M$ = rendimiento estimado de maíz. $\hat{Y}_T$ = rendimiento estimado de tomate. $P<0.05$.

En el Ejido, el rendimiento de fruto de tomate de cáscara fue mayor al utilizarse 5 t estiércol ha^{-1} que al no utilizarse. El efecto en el rendimiento del N y del P es negativo cuando no se usa estiércol, pero cuando se utiliza su efecto es positivo (Cuadro 1).

De igual manera, en Santa Rosa de Lima el rendimiento de fruto de tomate es mayor cuando se utiliza estiércol que cuando no se usa en su fertilización. Cuando no se usa estiércol, el efecto del K es positivo, pero la interacción NP abate los rendimientos. Al utilizarse 10 t estiércol ha^{-1}, el efecto del N, P y K en el rendimiento de fruto de tomate es negativo.

En San Mateo sucedió un efecto contrario a las otras dos comunidades, ya que al no utilizarse estiércol el rendimiento de fruto de tomate fue mayor que al utilizarse 10 t estiércol ha^{-1}. Además, cuando no se usa estiércol, el efecto del K es negativo. Y cuando se aplican 10 t estiércol ha^{-1} en la fertilización del tomate, el efecto en el rendimiento del N, P y su interacción entre ellos es negativa.

Conclusiones

Con la dosis central 120-80-40 kg de NPK ha^{-1} el mayor de rendimiento de maíz fue en Ejido la Cabecera y de tomate en San Mateo, 5.4 y 8.6 t $0.5ha^{-1}$, respectivamente. Al utilizarse 10 t estiércol ha^{-1} el rendimiento de maíz y tomate fue mayor en las tres comunidades. El estiércol favoreció el

efecto de NPK en el rendimiento de maíz en los tres sitios y en tomate el N, P y la interacción NP abatió los rendimientos en Santa Rosa de Lima y San Mateo. El potasio junto con el estiércol tuvo un efecto positivo en el rendimiento de maíz en las tres comunidades. El fósforo y su interacción con estiércol incrementó el rendimiento de maíz en el suelo andosol de Santa Rosa de Lima. La productividad de la milpa varió en cada comunidad y la fertilización de NPK y estiércol la potencializa.

Referencias

Albino-Garduño, A., A. Turrent-Fernández, J. I. Cortés-Flores, M. Livera-Muñoz y M. C. Mendoza-Castillo. 2015. Distribución de raíces y de radiación solar en el dosel de maíz y frijol intercalados. Agrociencia 49: 513-531.

Barrios, A. A.; Turrent, F. A.; Martínez, G. A.; Cortés, F. J. I. y Ortiz- Solorio, C. A. 2003. Optimización tecnológica simultánea para tres híbridos de maíz con precisión definida a priori. Terra Latinoam. 21(1):127-135.

CDI. 2018. Numeralia Indígena 2015. Consultado el 14 de Agosto de 2018 en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/239941/02-numeralia-indicadores-socioeconomicos-2015.pdf

Cortés J., F., A. Turrent F., P. Díaz V., R. Hernández E., R. Mendoza R., y E. Aceves. 2005. Manual para el establecimiento y manejo del sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en laderas. SAGARPA-Colegio de Postgraduados. pp: 1-11.

Volke, H. V.; Turrent, F. A. y Castillo, M. 2005. Diseños de tratamientos y estimación de funciones de respuesta en la investigación agrícola. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Estado de México. 68 p.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA DE LA PALMA DE ACEITE (*Elaeis guineensis* Jacq.) EN EL ORIENTE DEL ESTADO DE CHIAPAS

Victorino Gómez Valenzuela[1]
[1] Unidad Regional Universitaria Sursureste, Universidad Autónoma Chapingo.
E-mail: vgomez62@hotmail.com.

Resumen

En la porción oriente de Chiapas se desarrollan actividades productivas de gran importancia; se cultivan especies vegetales de importancia agroindustrial entre las que se encuentran hule (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) y palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). Esta última, aunque muy polémica desde la óptica ambientalista, mantiene interés y expectativa en los productores; sin embargo se desconocen las áreas con mayor potencial productivo considerando las características naturales de la zona; por ello se planteó su estudio y análisis desde la perspectiva edafoclimática haciendo uso de la información existente y con el apoyo de la Metodología de Zonificación Agroecológica propuesta por la FAO, adaptada a México y en particular al oriente del estado, para conocer la vocación ambiental natural para cultivar palma de aceite. Entre los resultados de este estudio destaca la identificación de una superficie de 61,991.4 hectáreas, donde no existen restricciones de clima y suelo para el cultivo de palma y 235,021.7 hectáreas, con cierto nivel de restricción, manejando adecuadamente los componentes edafológicos, es posible incrementar los rendimientos y la calidad de la producción, por lo que podría ampliarse la superficie cultivada. Derivado de lo anterior, se concluye que existen condiciones agroecológicas adecuadas para continuar cultivando esta oleaginosa, aprovechando el potencial productivo existente y así contribuir a mejorar la planeación del desarrollo agrícola en la región.

Palabras clave: Zonificación agroecológica, Niveles de Aptitud, Oriente de Chiapas.

Introducción

En México, Chiapas ocupa el primer lugar en superficie cultivada con palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.), (38,525 hectáreas establecidas que significa el 70% de la superficie total nacional. Según el INIFAP, Chiapas cuenta con las condiciones agroclimáticas apropiadas para el establecimiento de más de 400,000 hectáreas adicional es (Pérez y Platas, 2015).

El mejor desarrollo de la palma de aceite ocurre a bajas elevaciones, 0-500 msnm, aunque existe plantaciones hasta 1,500 msnm. La temperatura máxima óptima para el cultivo es de 28 a 34 ºC y la mínima de 21 a 24 ºC. Puede desarrollarse en un rango de precipitación de 650 a 5,000 mm anuales (suelos de buen drenaje), pero la cantidad ideal de lluvia es de 2000 a 2500 mm año^{-1} distribuidos uniformemente y sin períodos de sequía. Ante

un severo déficit de humedad (más de 200 mm al año) hay aborto de flores y predomina la floración masculina (Janick y Paull, 2008).

Al ser la palma de aceite una planta de origen tropical, las condiciones óptimas se encuentran cerca del ecuador (17° de latitud), sin embargo, existe plantaciones a los 18° de latitud norte y sur con rendimiento de 20 toneladas de fruta fresca por hectárea. Requiere de suelos profundos, planos o ligeramente ondulados; pendientes mayores a 12% lo exponen a erosión y los costos de producción se incrementan por requerir más caminos, terrazas o curvas de nivel y se dificulta el manejo (Sandoval, 2011).

De las 90,118 hectáreas sembradas en México hasta 2016, solo 33.76% de la superficie se encuentra mecanizada, 58.03% cuenta con tecnología aplicada a la sanidad vegetal, mientras que el 63.49% con este cultivo cuenta con asistencia técnica. Por otro lado, 95.92% de la producción es de temporal (SAGARPA, 2016), lo que explica porque hasta ahora se han utilizado tierras en donde los aportes de lluvia registran valores acordes al requerimiento hídrico del cultivo.

Materiales y método

La zona oriente de Chiapas comprende 15,556 Km^2, representa el 19% del territorio estatal y está conformada por los municipios de Marqués de Comillas, Benemérito de las Américas, Ocosingo, Palenque, La Libertad y Catazajá, Figura 1.

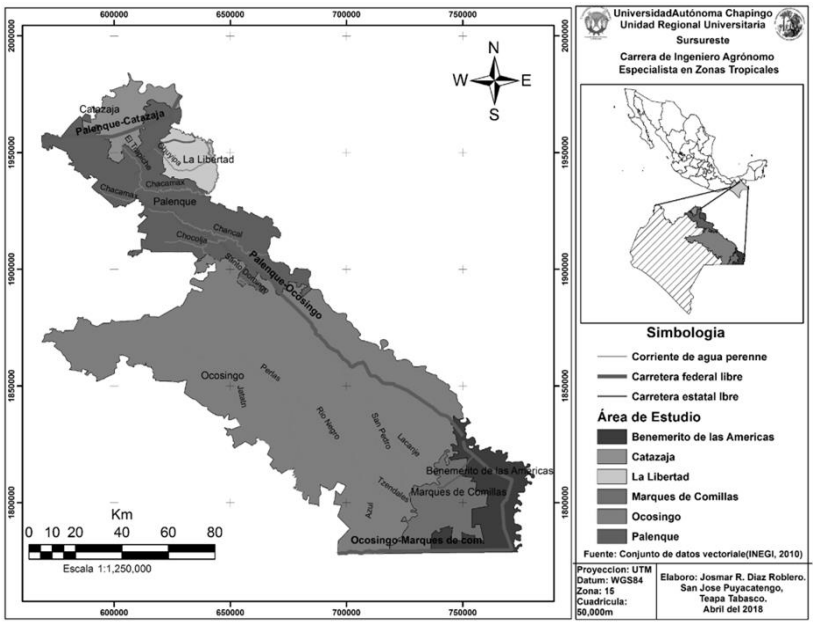


Figura 1. Ubicación del área de estudio en el oriente del estado de Chiapas.

En la zona de estudio predomina el clima cálido húmedo, 81.21%, y en pequeña porción el semicálido subhúmedo, 1.14% de la superficie, localizado en el municipio de Ocosingo. Los rangos de temperatura van de los 22 a los 24 °C como mínima y de 26 a 28 °C, en las máximas, observándose los valores más altos en el municipio de Benemérito de las Américas y Marqués de Comillas.

El Oriente de Chiapas, tiene rangos de precipitación de 1,500 hasta 3,000 mm anuales, predominando valores de 2,000 a 2,500, lo cual cumple con el requerimiento de lluvia para la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.), presentándose esta temporada de lluvias de mayo a noviembre.

La provincia fisiográfica predominante en el área de estudio es la sierra de Chiapas y Guatemala (80%,) , en menor proporción la llanura costera del Golfo sur que ocupa los municipios de Catazajá y La Libertad, cuyos suelos son planos y poca pendiente. Los tipos de suelo predominantes son Nitosol y Rendzinas; en menor proporción se encuentran Vertisoles y Regosoles.

Para la zonificación agroecológica se utilizó la "Metodología propuesta por la FAO (1997) adaptada a las condiciones de la República mexicana" (Pájaro y Ortiz, 1992) a la cual se le realizó modificaciones.

Se utilizó cartografía de INEGI (2004), escala de 1: 250,000 de los municipios mencionados, con la que se elaboró un mapa de ubicación. Se trabajó con el cultivo de palma de aceite con un nivel de inversión alto que supone un enfoque de una agricultura mecanizada o comercial y porque se trató de encontrar las mejores condiciones naturales para establecimiento del cultivo. Utilizando el mapa de clasificación agroclimática obtenido y por sobre posición de información se realizó el ajuste por unidad de suelos.

Para el factor pendiente se establecen las siguientes categorías, acordes al grado de pendiente propuesto por Sandoval (2011), Cuadro 1.

Cuadro 1. Categorías por pendiente del terreno (Sandoval, 2011).

Pendiente	Condición	Ejemplo
0-12%	Pendiente sin restricciones (S1, O), no se degrada	MA=MA
12-25%	Con limitaciones (S2, 1) se degrada una clase	MA=A
>30%	Pendiente no apta (NA)	NA

Como la metodología no considera el factor altitud se utilizó el mapa de alturas para descartar zonas que superaban dicho rango.

Resultados y discusión

Clasificación agroecológica de la palma de aceite. Al aplicar el conjunto de criterios señalados en la metodología se degradan significativamente las categorías de Aptitud, manteniendo un mosaico predominantemente No Apto en el área de estudio y conservando solamente a las porciones noroccidental y centro oriental con la mayor Aptitud para el cultivo de palma de aceite, denotándose la importancia del factor suelo en la definición de aptitud para este cultivo, Figura 2.

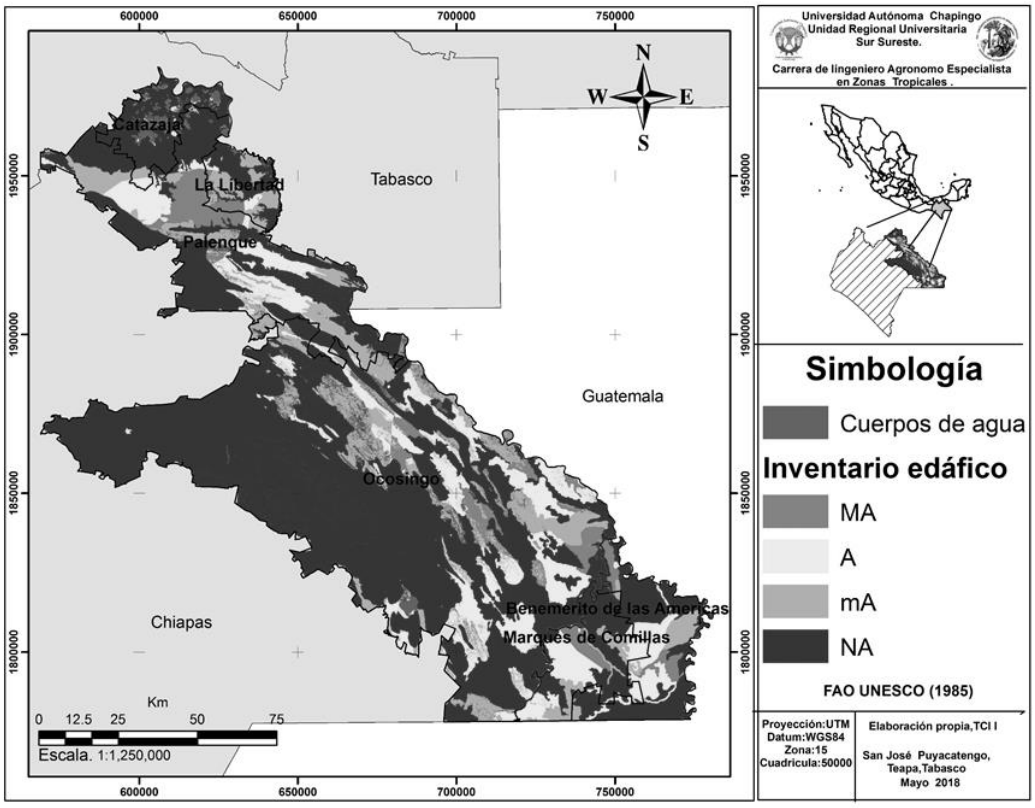


Figura 2. Clasificación agroecológica para cultivo de palma de aceite en el oriente del estado de Chiapas.

El estudio clasificó y cuantificó 61,991.4 ha como zonas Muy Aptas en donde se tienen las mejores condiciones climáticas y edáficas para el cultivo de referencia, estas áreas se ubican en su mayor parte en el municipio de Palenque, pero estas zonas solo representan el 4% de la superficie total del área de estudio. Aún así se tiene que el potencial adafoclimático para el cultivo de esta palma es de alrededor de 62,000 ha y que de acuerdo a la estimación que se tiene respecto a la superficie establecida, existe el doble de hectáreas susceptible de aprovechamiento para este cultivo. Se encontró que alrededor de 235,000 ha se clasifican como zonas Aptas, en

estas áreas podría establecerse el cultivo de palma y no tendría muchas limitaciones, pero no cumple estrictamente con los requerimientos del cultivo, en este caso las zonas Aptas representan el 15.5% y eventualmente podrían acercarse en producción a las zonas Muy Aptas si se atiende las limitaciones edáficas que presentan. La clasificación marginalmente Apta representa un 14.6% (221,228 ha), en donde las condiciones edáficas presentan limitaciones que podrían mejorase con manejo. De establecerse el cultivo en estas condiciones puede prosperar, pero difícilmente será productivamente similar a las clases Aptas y Muy Aptas, Cuadro 2.

Cuadro 2. Niveles de aptitud para el cultivo de palma de aceite en el oriente del estado de Chiapas.

Nivel de aptitud	Superficie		
	Km^2	Ha	%
MA	**620**	**61,991.4**	**4.1**
A	2350	235,021.7	15.5
mA	2212	221,228.7	14.6
NA	9990	999,004.5	65.8
Total	15172	1´517,246	100

Conclusiones

Por condiciones agroclimáticas no se presentan limitaciones para el cultivo de palma de aceite en el oriente del estado de Chiapas ya que las temperaturas y la precipitación cumplen con las necesidades hídricas de este.

Las unidades de suelo, así como su textura, son la principal limitante para el cultivo de palma de aceite.

Se encontraron 61,000 ha (4%) Muy Aptas ubicadas en mayor proporción en el municipio de Palenque; 235,000 ha (15%) Aptas; 221,000 ha (15%) marginalmente Aptas y en mayor proporción zonas No Aptas cuya extensión es de 999,000 ha (66%), la mayor proporción del área de estudio tiene esta última condición.

Agradecimientos

A los palmicultores que sin ningún interés proporcionaron experiencias e información acerca de sus plantaciones. Asociaciones de palmicultores, e instituciones educativas y oficiales por las facilidades para la realización del presente trabajo**.** En especial a: Sr. Erasmo Humberto Ramírez Figueroa productor y presidente de la Sociedad Cooperativa de Palmeros Unidos con el Valle de Tulijá, S. C. de R. L. de CV; Ing. Jorge Luís Reyna de la Secretaría del Campo Delegación VI Selva Palenque, Chiapas; Dra. Arely Bautista Gálvez, Profesora de La Escuela Maya de Estudios Agropecuarios de la Universidad Autónoma de Chiapas; MC. Héctor

Cano Ascencio, técnico y asesor profesional del desarrollo agrícola en la zona de estudio; MC. Humberto Sánchez Bolón, gerente técnico de la empresa Oleopalma, agroindustrias de Palenque S.A de C.V.; Sra. Otilia Jiménez Silvano, Productora de palma de aceite y representante del grupo de palmeros del Ejido Nueva Esperanza, Palenque, Chiapas; Sr. Fausto Arcos Ruiz. Palmicultor y presidente de la sociedad de palmeros Chancalá, Rio Seco Palenque, Chiapas.

Referencias

FAO, 1997. Zonificación agro-ecológica. Guía general. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

INEGI. 2004. Guía para la interpretación de cartografía edafología. Obtenido de http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/EdafIII.pdf

Janick, J. and R. E. Paull. 2008. The Encyclopedia of fruit and nuts. Obtenido de http://s3.amazonaws.com/zanran_storage/www.fitoica.com/ContentPages/2476053199.pdf

Pájaro, H. D. y C. A. Ortiz S. 1992. Estimación del periodo de crecimiento por disponibilidad de agua y libre de heladas para la república mexicana. Centro de edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

SAGARPA, 2017. Potencial Palma de Aceite. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Obtenido de Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257081/.pdf

Sandoval, E. A. 2011. Programa estratégico para el desarrollo rural sustentable de la región sur sureste de México: Trópico húmedo. Paquete tecnológico palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). Establecimiento y mantenimiento. Centro Regional de Investigación Pacífico Sur. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas, México.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

PRIMERA DESCRIPCIÓN DE SUELOS DE SABANA DEL ESTADO DE YUCATÁN

Estrada-Medina, H.[1*]; Ortíz Díaz, J. J.[1]; Cortés Couoh[1], J. A.[1]; González Acuña, I. J.[2]; Quintana Owen, P.[3]; González Gómez, W.[3]; Álvarez-Rivera O. O.[1]

[1] **Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México**
[2] **INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Santiago Ixcuintla, Nayarit, México**
[3] **CINVESTAV-Unidad Mérida, Yucatán, México**

*Autor responsable: hector.estrada@correo.uady.mx; Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Departamento de Manejo y Conservación de recursos naturales tropicales, Km 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil s/n, C.P. 97315, Mérida, Yucatán, México. Tel. +52(999)-942-3212

Resumen
Los principales suelos de Yucatán de acuerdo a la clasificación WRB son los Leptosols que ocupan el 53.83% del territorio, seguidos de otros de mediana abundancia como los Phaeozem, Luvisols y Cambisols y finalmente los menos abundantes; Arenosols, Gleysols y Kastañozem, estos últimos, en conjunto ocupan menos de 0.5% del territorio. Adicionalmente, existen suelos de los que solo hay algunos reportes y observaciones de campo que indican su presencia. Tal es el caso de los suelos de sabana cuya ubicación se limita a pequeñas áreas en la parte más al sur del estado de Yucatán y los cuales han tenido poca atención tanto taxonómica como agronómica. En este estudio se describieron y tomaron muestras de dos perfiles de suelo en la sabana Chacho Lugo localizada en el municipio de Tekax, Yucatán. Una de las calicatas fue excavada en la parte alta del microrelieve y otra en la parte baja Se reportan los resultados de las descripciones de campo y los análisis de laboratorio de sus propiedades fisicoquímicas y mineralógicas. El área donde se ubica la sabana se inunda durante la época de lluvias y por lo tanto los suelos presentan condiciones reductoras evidentes. Los suelos de la sabana Chacho Lugo fueron clasificados como Mollic Reductic Stagnosol y Reductic Stagnosol. Los resultados de difracción de rayos X muestran que tanto la roca como los suelos son ricos en cuarzo, caolinita y tosudita, y libres de carbonatos.

Palabras clave
Perfiles edáficos, Suelos inundables, Stagnosols, WRB.

Introducción
Los principales suelos de Yucatán de acuerdo a la clasificación WRB son los Leptosols que ocupan el 53.83% del territorio, seguido de otros como los Phaeozems, Luvisols y Cambisols (INEGI, 2007), los cuales han sido relativamente bien estudiados (Duch, 1988; Bautista-Zúñiga *et al*., 2003, 2004; Borges-Gómez *et al*., 2005; Delgado-Carranza *et al*., 2017). Existen otros tipos de suelos aún menos estudiados como los Arenosols, Gleysols y Kastañozems que en conjunto ocupan menos de 0.5% del territorio (INEGI, 2007). Finalmente, existen suelos de los que solo hay algunos reportes y observaciones de campo que indican su presencia. Tal es el caso de los suelos de sabana, los cuales están limitados a pequeñas áreas en la parte más al sur del estado de Yucatán. Estos suelos han tenido poca atención tanto taxonómica como agronómica y se caracterizan por presentar periodos de estancamiento de agua durante la época de lluvias, lo que promueve condiciones reductoras. El

objetivo del presente trabajo fue realizar por primera vez la descripción de los suelos una sabana del estado de Yucatán.

Materiales y Métodos

Para este estudio se seleccionó la sabana Chacho Lugo del municipio de Tekax, localizado al sur del estado de Yucatán, ubicada en las coordenadas 19° 48' 48.3" N y 89° 21' 56.8" O. El microrelieve de la sabana Chacho Lugo es ligeramente ondulado, dominada por gramíneas y ciperáceas nativas como *Paspalum plicatulum*, *P. coryphaeum*, *Rhynchospora holoschoenoides* y *Scleria bracteata* y árboles dispersos de jícara (*Crescentia cujete*) y nan che (*Byrsonima crassifolia*) (Ortíz *et al*., 2014). Se excavaron dos calicatas (uno en la parte alta y otro en la parte baja del microrelieve) y se describieron los perfiles de suelo utilizando la guía para la descripción de suelos de la FAO (FAO, 2009). Se tomaron muestras de suelo de cada horizonte y se analizaron sus propiedades fisicoquímicas (contenido de arenas, limos y arcillas, pH, potencial REDOX, capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases). El rH (presión parcial de hidrógeno) se calculó como: $Eh*29^{-1}+2pH$ (FAO, 2014). Adicionalmente se identificaron los minerales presentes en los primeros dos horizontes inorgánicos a través de difracción de rayos X (Bruker D8-Advance) con geometría Bragg-Brentano y radiación monocromática de cobre 40 kV y 30 mA (λ = 1.5418 Å), intervalo de registro fue de $3° \leq 2\theta \leq 60°$, con un tamaño paso de 0.02º/s y una duración de 50 minutos por cada registro. Los suelos se clasificaron de acuerdo con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo actualizada a 2015 (FAO, 2014).

Resultados y Discusión

Los suelos de la sabana Chacho Lugo fueron clasificados preliminarmente como Mollic Reductic Stagnosol y Reductic Stagnosol (Cuadro 1). El horizonte mólico que se identificó en uno de los perfiles de la sabana Chacho Lugo se ubica en la parte alta del microrelieve, lo cual sugiere que la colonización de los pastos aquí, es más pronta en relación a las partes bajas, promoviendo la acumulación de materia orgánica.

Cuadro 1. Descripción de los perfiles de suelos estudiados

Perfil 1 (parte alta del microrelieve) **Clasificación WRB (2014):): Mollic Reductic Stagnosol**		
H	**P**	**Descripción**
A	0-11	Color 2.5Y 2.5/1 (*black*) en seco, color 2.5Y 2.5/1 (*black*) en húmedo; franco-arcilloso; bloques subangulares; consistencia un poco dura (seco), muy friable (húmedo); ligeramente adherente; plástico; sin moteado; carbonatos ausentes.
Bt	11-35	Color 2.5Y 5/1 (*gray*) en seco, color 2.5Y 3/1 (*very dark gray*) en húmedo; arcilloso; bloques subangulares; consistencia dura (seco), muy friable (húmedo); ligeramente adherente; plástico; ningún moteado; carbonatos ausentes.
Btg	35-49	Color 2.5Y 6/4 (*light yellowish brown*) en seco, color 2.5YR 6/3 (*light yellowish brown*) en húmedo; arcilloso; bloques subangulares; consistencia dura (seco), firme (húmedo); adherente; plástico; muchos moteados; carbonatos ausentes. Algunos nódulos de color negro de 0.5 mm de diámetro.
Bgm1	49-82	Color 2.5Y 7/2 (*light gray*) en seco, color 2.5Y 6/2 (*light brownish gray*) en húmedo; arcilloso; estructura masiva; consistencia muy dura (seco), firme (húmedo); muy adherente; plástico; muy pocos moteados; carbonatos ausentes.
Bgm2	82-109	Color 2.5Y 7/3 (*pale yellow*) en seco, color 2.5Y 6/2 (*light brownish gray*) en húmedo; arcilloso; estructura masiva; consistencia extremadamente dura (seco); consistencia muy

		firme (húmedo); muy adherente; muy plástico; muy pocos moteados; carbonatos ausentes.

Perfil 2 (parte baja del microrelieve) Clasificación WRB (2014): Reductic Stagnosol		
H	**P**	**Descripción**
Ag	0-27	Color 2.5Y 5/3 (*light olive brown*) en seco, color 2.5Y 4/2 (*dark grayish brown*) en húmedo; arcilloso; bloques subangulares; consistencia un poco dura (seco), muy firme (húmedo); ligeramente adherente; plástico; ningún moteado; carbonatos ausentes.
Btg	28-42	Color 2.5Y 7/3 (*pale yellow*) en seco, color 2.5Y 6/3 (*ligth yellowish brown*) en húmedo; arcilloso; bloques subangulares; consistencia dura (seco), muy firme (húmedo); ligeramente adherente; plástico; moteado común; carbonatos ausentes. Algunos nódulos de color negro de 0.5 mm de diámetro.
Bgm	43-80	Color 2.5Y 7/3 (*pale yellow*) en seco, color 2.5Y 5/3 (*light olive brown*) en húmedo; arcilloso; bloques subangulares; consistencia muy dura (seco), firme (húmedo); adherente; plástico; moteado común; carbonatos ausentes.

H=Horizonte; P= Profundidad

Ambos suelos descritos tienen en común que se inundan durante la época lluviosa, por lo tanto presentan condiciones reductoras evidentes, ya que al menos un horizonte de cada perfil presentó una presión parcial de hidrógeno (rH) menor a 20 (Cuadro 2). El pH varió de ligeramente ácido a neutro con un promedio de 6.30 (± 6.02), mientras que la CIC fue similar en ambos perfiles excepto por el horizonte A del perfil 1, que tuvo dos veces más CIC que el resto de los horizontes. Esta diferencia puede estar relacionada al alto contenido de materia orgánica en este horizonte (Cuadro 2).

Cuadro 2. Propiedades fisicoquímicas de los perfiles de suelo descritos

H	Arcillas	Limos	Arenas	CT	pH	CIC	Eh	COT	SB	rH
	%					Cmol/Kg	Mv	%		
Perfil 1 (parte alta del microrelieve)										
A	35	43	22	FA	5.72	23.4	2.024	9.0	11.4	18.4
Bt	57	29	14	A	5.60	11.2	2.141	2.6	26.6	18.6
Btg	87	9	4	A	5.70	12.0	2.372	1.0	51.6	19.6
Bgm1	90	6	4	A	6.34	12.1	2.041	0.3	68.2	19.7
Bgm2	83	5	12	A	7.04	11.6	1.772	0.3	79.5	20.2
Perfil 2 (parte baja del microrelieve)										
Ag	65	19	16	A	6.12	9.80	2.063	2.1	74.6	19.4
Btg	91	6	3	A	6.78	11.2	1.774	0.4	71.7	19.7
Bgm	93	3	4	A	7.12	11.1	1.512	0.3	80.0	19.5

CT= Clase textural (A= Arcilloso, FA= Franco arcilloso); CIC= Capacidad de intercambio de cationes; Eh= Potencial REDOX; COT= Carbono orgánico total; SB= Saturación de bases; rH= Presión parcial de hidrógeno.

Los contenidos de nutrientes son diferentes en ambos perfiles (Cuadro 3). El contenido de nitrógeno en ambos perfiles es alto en la superficie y se van reduciendo con la profundidad. El fósforo inorgánico (Olsen) no fue detectado en ninguno de los dos perfiles. El calcio es muy bajo y va aumentando con la profundidad en ambos perfiles. El contenido de K va de bajo a muy bajo en el perfil 1 y es muy bajo en el perfil dos; en ambos casos va aumentando con la profundidad.

El contenido de Al fue muy bajo en el perfil 1 mientras que en el perfil 2 no se detectó, lo cual pudiera estar relacionado con las condiciones más reductoras en el perfil 2. Los resultados de difracción de rayos X muestran que el material parental, a diferencia del de los alrededores (caliza), es rico en cuarzo y libre de carbonatos. Los suelos son ricos en Caolinita y Tosudita (Cuadro 4). Previamente solo se habían documentado Stagnosols en el trabajo de actualización del mapa de suelos de Yucatán (Bautista *et al*., 2015) pero relacionados con material parental de origen calcáreo.

Cuadro 3. Contenido de nutrientes de los perfiles de suelo descritos

Hor	N	P	K	Ca	Al
	(%)		(mg/kg)		
Perfil1 1					
A	0.4	ND	113.1	8.0	1.75
Bt	0.3	ND	50.7	10.0	1.25
Btg	0.1	ND	62.4	16.0	0.37
Bgm1	0.1	ND	46.8	50.0	0.19
Bgm2	ND	ND	31.2	82.0	ND
Perfil 2					
Ag	0.3	ND	70.2	26.0	ND
Btg	0.1	ND	50.7	60.0	ND
Bgm	ND	ND	46.8	78.0	ND

Hor= Horizonte; ND= No detectado

Cuadro 4. Composición mineralógica de los horizontes superficiales de los suelos estudiados

	Perfil 1		**Perfil 2**	
	A	Bt	Ag	Btg
Cuarzo	24.8	36.9	40.5	7.2
Anortita	2.3	11.9	4.3	2.7
Tosudita	20.8	25.2	19.7	44.4
Caolinita	31.6	20.6	20.0	38.9
Ilita	15.5	0.0	9.4	0.0
Anastasa	5.0	5.4	6.1	6.8

Conclusiones

Los suelos de sabana de Yucatán descritos pertenecen al grupo de los Stagnosols. Las propiedades reductoras son evidentes en al menos un horizonte del suelo de cada perfil descrito, presentan moteado rojizo y/o nódulos de color negro. Hacia lo profundo los suelos van perdiendo su estructura subangular para volverse masivos, lo que dificulta la excavación con herramientas convencionales. También el color se va aclarando con la profundidad. Los horizontes más

superficiales presentan variables contenidos de materia orgánica lo que está relacionado con el grado de colonización que alcanza la vegetación durante la temporada seca. El material parental no es de origen calizo lo que ha permitido el desarrollo de suelos completamente diferentes a los que hay en los alrededores (donde abunda la caliza).

Agradecimientos

Al Laboratorio Nacional de Nano y Biomateriales del Cinvestav, Mérida por la realización de los análisis mineralógicos, con apoyo de los proyectos FOMIX-Yucatán 2008-108160, CONACYT (LAB-2009-01-123913, 292692, 294643, 188345 y 204822).

Referencias

Bautista, F., Frausto, O., Ihl, T., & Aguilar, Y. (2015). Actualización del mapa de suelos del Estado de Yucatán México: Enfoque geomorfopedológico y WRB. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, *2*(6), 303-315.

Bautista-Zuñiga, F., Estrada-Medina, H., Jiménez-Osornio, J. J. M., & González-Iturbe, J. A. (2004). Relación entre el relieve y unidades de suelo en zonas cársticas de Yucatán. *Terra Latinoamericana*, *22*(3), 243-254.

Bautista-Zúñiga, F., Jiménez-Osornio, J., Navarro-Alberto, J., Manu, A., & Lozano, R. (2003). Microrelieve y color del suelo como propiedades de diagnóstico en Leptosoles cársticos. *Terra Latinoamericana*, *21*(1), 1-11.

Borges-Gómez, L., Escamilla-Bencomo, A., Soria-Fregoso, M., & Casanova-Villareal, V. (2005). Potasio en suelos de Yucatán. *Terra Latinoamericana*, *23*(4), 437-445.

Delgado-Carranza, C., Bautista-Zúñiga, F., Calvo-Irabien, L. M., Aguilar-Duarte, Y. G., & Martínez-Tellez, J. G. (2017). El carbono orgánico en Leptosols con distribución discontinua en la península de Yucatán. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, *4*(10), 31-38.

Duch, G. J. 1988. La conformación territorial del estado de Yucatán. Universidad Autónoma de Chapingo. Centro Regional de la Península de Yucatán. Texcoco, México. 427 p.

FAO, R. (2009). Guía para la descripción de suelos. Bolivia. Cuarta edición Traducido y adaptado al castellano por Ronald Vargas Rojas (Proyecto FAOSWALIM, Nairobi, Kenya-Universidad Mayor de San Simón).

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2007) Conjunto de datos vectorial Edafológico escala 1: 250 000 Serie II (Continuo Nacional).

FAO (2014). Base referencial mundial del recurso suelo 2014, actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma.

Ortíz Díaz, J. J., J. Tun Garrido, I. Arnelas y G. García Gil. 2014. Flora fanerogámica de dos enclaves de sabana de la Península de Yucatán, Revista Mexicana de Biodiversidad 85: 665-676.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EXTRACCIÓN SELECTIVA DE ALUMINIO, HIERRO Y SÍLICE PARA LA DIFERENCIACIÓN DE GRUPOS DE SUELOS DE CENIZA VOLCÁNICA

Cornejo-Cruz, C. A.[1*]; López-López, A. B.[1]; Valderrábano-Gómez, J. M.[1]; Vázquez-Selem, L.[2]; Cruz-Flores, G[1].

[1]**Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.**
[2]**Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.**

*c3conejo@gmail.com; Lino Merino 41, Juan Escutia, Iztapalapa, Ciudad de México. México. 09100; +52(044)-5548156587

Resumen
Los suelos derivados de material piroclástico, se caracterizan por presentar poca resistencia al intemperismo químico, la rápida alteración del material parental promueve la formación antagónica de minerales de bajo orden estructural o de complejos organometálicos en función del clima, materia orgánica y pH, los cuales, influyen directamente en el desarrollo de estos suelos. Se han hecho muchos estudios acerca del desarrollo de suelos de ceniza volcánica en diferentes condiciones climáticas, sin embargo, no se ha reportado la diferencia que puede marcar la exposición sobre el intemperismo de estos suelos. Por lo que en este trabajo se evaluó el efecto microclimático en una catena de suelos del Parque Nacional Izta-Popo, en sitios homólogos en altitud, pero en exposición opuesta (ladera umbría y ladera solana) desarrollados sobre depósitos piroclásticos. Se realizaron extracciones selectivas de aluminio, hierro y sílice, se cuantificó Corg (Walkley & Black) y se clasificó a los suelos de acuerdo a indicadores de desarrollo (Alo+1/2Feo y Alp/Alo) para diferenciar los suelos de acuerdo a su grado de intemperismo y fracción coloidal dominante. Los datos obtenidos muestran diferencias dadas por la exposición, los constituyentes coloidales dominantes en ladera umbría son de complejos orgánicos, mientras que, los minerales de rango corto tipo alófano dominan en ladera solana. Las diferencias en el desarrollo de los suelos volcánicos son evidentes a lo largo del gradiente altitudinal, sin embargo, las condiciones microclimáticas que produce la exposición de ladera es un factor diferencial en la génesis de suelos de ceniza volcánica.

Palabras clave
Génesis de suelo; Andosol; Alófano.

Introducción
El término “suelos de ceniza volcánica” es comúnmente utilizado para designar a los suelos formados sobre “ejectas” volcánicas en las que se encuentra la ceniza volcánica. Al proceso de desarrollo de estos suelos se le llama andosolización, ya que los suelos de referencia son los Andosoles. La andosolización de materiales parentales volcánicos involucra la rápida intemperización de la ceniza volcánica, la formación de minerales de bajo orden estructural (alófano, imogolita, ferrihidrita, haloisita, entre otros) y la acumulación de materia orgánica formando complejos con aluminio y hierro, siendo estos los procesos pedogenéticos dominantes en la formación de estos suelos (Shoji *et al.*, 1993; Nanzyo, 2002; Dahlgren *et al.*, 2004). Las propiedades de los suelos volcánicos están fuertemente determinadas por la naturaleza de su

fracción coloidal (Leamy *et al.,* 1988). Durante su desarrollo, estos suelos que provienen de material piroclástico y que se encuentran en climas templados/húmedos ocurre un vínculo antagónico entre la formación de complejos Al, Fe-humus y la síntesis de alófano y sus similares (Wada, 1989). El conjunto coloidal dominante varía ampliamente dependiendo de factores tales como la composición del material parental, el pH, la temperatura del suelo, los regímenes de humedad, y la acumulación de materia orgánica (Shoji *et al*., 1993; Nanzyo *et al.*, 1993).

El aluminio, hierro y sílice son los principales elementos que constituyen la fracción coloidal de los suelos volcánicos, para identificar las diferentes formas de Al, Fe y Si se utilizan métodos de extracción química selectiva. Para poder hacer una clasificación preliminar propuesta por Shoji (1996) y utilizada por la Base referencial mundial del recurso suelo (WRB; IUSS, 2007) se hace uso de dos disoluciones: oxalato ácido de amonio (**o**) para aluminio, hierro y sílice en materiales de rango corto, y Al, Fe en pirofosfato de sodio (**p**) en complejos orgánicos. El objetivo del presente trabajo consistió en evaluar el efecto climático en el desarrollo y propiedades del suelo en diferentes condiones macroclimáticas, así como elaborar una clasificación preliminar a partir de los datos de las fracciones de Al, Fe y Si obtenidos con oxalato de amonio (Alo, Feo, Sio) y pirofosfato de sodio (Alp).

Materiales y Métodos

Para seleccionar los sitios de muestreo se recopiló información cartográfica con ayuda de fotografías satelitales obtenidas con el programa informático *Google Earth,* así como las cartas (E14B41, E14B42) topográficas, edafológicas, y de uso de suelo y vegetación en el sitio web del INEGI. A toda la información digital disponible se le dio un tratamiento selectivo de información e integración a una base de datos por medio de un Sistema de Información Geográfica (*QGIS* versión 2.18 “Las Palmas”) de tal manera que se generaron mapas vectoriales que permitieron ubicar los posibles puntos de muestreo de acuerdo con su posición altitudinal, exposición, pendiente y vegetación.

En un gradiente altitudinal (3300 a 4300 m snm) en el occidente del Parque Nacional Izta-Popo se seleccionaron tres pisos altitudinales con diferente tipo de vegetación en los que se describieron perfiles de suelo en sitios homólogos en altitud, pero en exposición opuesta (ladera umbría y ladera solana). Posteriormente, en laboratorio, las muestras de suelo se secaron a temperatura ambiente, se tamizaron con una malla de 2 mm de abertura y se almacenaron en frascos de plástico previamente etiquetados con sus datos correspondientes de campo.

El análisis químico y físico de las muestras se realizaron en el Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal de la Facultad de Estudio Superiores Zaragoza (Cuadro 1). Para identificar las diferentes fracciones de Al, Fe y Si, en laboratorio, se hicieron extracciones químicas selectivas utilizando oxalato ácido de amonio (o) y pirofosfato de sodio (p). Los contenidos de Fe, Al y Si fueron cuantificados por espectrofotometría de absorción atómica en el Instituto de Geología de la UNAM. Una vez obtenidos los datos, se analizaron las posibles relaciones entre los constituyentes coloidales y otras propiedades del suelo. Finalmente, haciendo uso de indicadores pedogenéticos (Alo+1/2Feo y Alp/Alo) se elaboró una clasificación para diferenciar los suelos de acuerdo a su grado de intemperismo y su fracción coloidal dominante utilizando el modelo propuesto por Shoji (1996; Figura 1).

Parámetro	Método
pH activo	Potenciométrico (relación 1:2.5) (Reeuwijk, 2002)
pH en NaF	Potenciométrico (relación 1:50 en NaF 1 M) (Fieldes y Perrott, 1996).
DA	Del cilindro (SAMLA, 1996)
Materia orgánica	Método de Walkley y Black, 1934
Al, Fe libre	Ditionito-citrato-bicarbonato (Mehra y Jackson, 1960)
Al, Fe y Si activo	Oxalato ácido de amonio (Blakemore *et al*. 1987)
Al, Fe en complejo orgánico	Pirofosfato de sodio (Blakemore *et al*. 1987)
Alófano	%Sio * 7.1 (Nanzyo *et al*., 1993)
Al alofánico	Alo – Alp (Shoji *et al*., 1993)
Fe cristalino	Fed – Fep (Childs *et al*., 1994)

Cuadro 1. Parámetros evaluados en laboratorio.

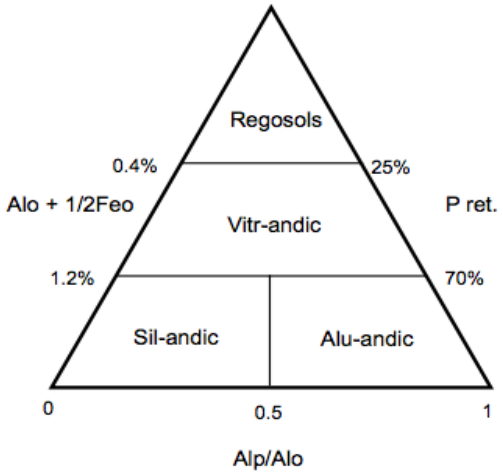


Figura 1. Relación generalizada entre Regosoles y tres subtipos de Andosoles en la WRB, de acuerdo con Shoji et al., 1996.

Resultados y Discusión

En un análisis altitudinal descendente, se observaron primero perfiles de suelo jóvenes con poco a medio desarrollo y otros más evolucionados en zonas medias dadas las condiciones climáticas prevalecientes en la región. Estos resultados coinciden en cuanto al efecto macroclimático con lo reportado por Miehlich (1991) en la Sierra Nevada, Campos (2001) en el Volcán Cofre de Perote en Veracruz y Broquen (2013) en Nequén, Argentina. Se obtuvieron datos que permitieron elaborar una clasificación de suelos, en el cual se muestran las diferencias en el desarrollo de suelos a lo largo del gradiente altitudinal e igualmente permite apreciar que el efecto de ladera marca diferencias en la formación de los suelos. La fracción coloidal dominante en suelos de ladera umbría es de complejos orgánicos, mientras que los minerales de rango corto dominan en ladera solana. Se han hecho muchos estudios acerca del desarrollo de suelos de ceniza volcánica en

diferentes condiciones climáticas, sin embargo, no se ha reportado la diferencia que puede marcar la exposición de ladera en la génesis de suelos volcánicos. López-López (2014) en un piso altitudinal, a los 3, 000 m snm en el mismo valle encontró diferencias en las propiedades del suelo de una ladera a otra, principalmente en el lomo de ladera en donde menciona que en exposición sur (solana) debido a una mayor radiación la temperatura es mayor y el porcentaje de humedad es menor, mayor frecuencia en los ciclos de humedecimiento y secado, contrario a la exposición norte (umbría) Esto coincide con Parfitt & Kimble (1989) y Peña-Ramírez (2013) acerca de que el alófano, principal representación de los minerales de bajo orden estructural, su síntesis es mayor en sitios donde hay periodos marcados de humectación y secado del suelo, al contrario de los complejos orgánicos que se acumulan en mayor cantidad en sitios con alta humedad y clima frío.

Conclusiones

El desarrollo y las propiedades del suelo cambian en función del clima, especialmente por el antagonismo que existe entre la síntesis de minerales de bajo orden estructural y complejos organometálicos. Las laderas muestran dos historias evolutivas diferentes, que han provocado variaciones en las características del suelo. Las diferencias en el desarrollo de los suelos volcánicos son evidentes a lo largo del gradiente altitudinal, sin embargo, las condiciones microclimáticas que produce la exposición de ladera influye en la génesis del suelo.

Agradecimientos

Al Proyecto PAPIME PE215016 por el financiamiento del proyecto. A la maestra Kumiko Shimada del Laboratorio de Edafología Experimental del Instituto de Geología de la UNAM por su apoyo en la cuantificación de los elementos por espectroscopia de absorción atómica.

Referencias

Broquen, P., Suárez, A., Girardin, J.L., Percaz, J.C. (2013). Procesos pedogenéticos en una secuencia de suelos desarrollados en cenizas volcánicas en el Noroeste de Nequén, Argentina. Ciencia del suelo, 31(2), 213-222.

Blakemore, L. C., Searle, P. L. & Daly, B. K. (1987). Soil Bureau Laboratory Methods: A. Methods for chemical analysis of soils. N. Z. Soil Bureau Scientific Report, pp. 223-230.

Campos, A., Oleschko, K., Cruz, L., Etchevers, J.D., Hidalgo, C. (2001). Estimación de alofano y su relación con otros parámetros químicos en Andisoles de montaña del vlcán Cofre de Perote. TERRA, 19(2), 105-114.

Childs, C. W., N. Matsue y N. Yoshinaga. (1994). Ferrihydrite in volcanic ash soil of Japan. Soil Sci. Plant Nutr. 37, 299-311.

Dahlgren, R. A., Saigusa, M., Ugolini, F.C. (2004). The Nature, Properties and Management Of Volcanic Soils. Advances in Agronomy, 82, 113-182.

IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2006. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelo No. 103. FAO. Roma, pp. 5.

Leamy, M. L., B. Clayden, R. L. Parfitt, D. I. Kinloch, C. W. Childs. (1988). Final proposal of the International Committee on the Classification of Andisols (ICOMAND). New Zealand Soil Bureau, DSIR, Lower Hutt.

López-López, A. (2014). Influencia del relieve sobre las propiedades del suelo en una catena en laderas de montaña del Parque Nacional Izta-Popo. Tesis de Maestría, Instituto de Geología, UNAM.

Mehra, O.P. & Jackson, M.L. (1960). Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clay and clay Min. 7th Conf, 317-325.

Miehlich, G. (1991). Chronosequences of volcanic ash soils. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten. Germany, pp. 12-27.

Nanzyo, M., Dahlgren, R., Shoji, S. (1993): Mineralogical characteristics of volcanic ash soils, cap. 6, 101-144. En: Volcanic ash soils. Genesis, properties and utilization. Shoji, S., Nanzyo, M., y Dahlgren R.A. (eds.) 1993. Developments in soil science: 21. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, The Netherlands.

Nanzyo, M. (2002). Unique Properties of Volcanic Ash Soils. Global Environmental Research. 6, 99-112.

Parfitt, R. L., and Kimble, J. M. (1989). Conditions for formation of allophane in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 53, 971–977.

Peña-Ramírez, V. M. (2013). Dinámica de la calidad de sitio a través de una cronosecuencia volcánica y sus implicaciones para la productividad forestal. Tesis doctoral. Instituto de Geología, UNAM.

Shoji, S., Dahlgren, R., Nanzyo, M. (1993). Classification of volcanic soil. In: Volcanic Ash Soils – Genesis, Properties. and Utilization. Elsevier. Amsterdam – London – New York– Tokyo, pp. 73-100.

Shoji, S., Nanzyo, M., Dahlgren, R. A., Quantin, P. (1996). Evaluation and proposed revisions of criteria for Andosols in the World Reference Base for Soil Resources. Soil Science, 161, 604-615.

van Reeuvijk, L. P. (1992). Procedures for Soil analysis. International Soil Reference and Information Centre, Wageningen, pp. 7-12.

Wada, K. (1989). Allophane and imogolite. En Dixon. J. B. y Weed, S. B. (eds.) Minerals in Soils Environments. Soil Science Society of America, Madison, pp. 1051-1081

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

PREDICCIÓN DE LA PRESENCIA DE E*uphorbia antisyphilitica* Zucc UTILIZANDO PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO

Moreno-Reséndez, A.[1,5]*; Hernández-Herrera, J.A.[2]; Valenzuela-Núñez, L.M.[3,5]; Martínez-Salvador, M.[4]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – Unidad Laguna, Torreón, Coahuila, México.
[2] Estudiante de Doctorado del Programa de Posgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – Unidad Laguna, Torreón, Coahuila, México.
[3]Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez del Estado de Durango. Gómez Palacio, Durango, México.
[4]Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, México
[5]Integrante de la Red Académica de Innovación en Alimentos y Agricultura Sustentable (RAIAAS) – Auspiciada por el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (COECYT) y La Comunidad de Instituciones de Educación Superior de la Laguna (CIESLAG).
*Autor responsable: alejamorsa@yahoo.com.mx y alejamorsa@hotmail.com; Periférico Raúl López Sánchez S/N. Colonia Valle Verde, Torreón, Coahuila, México, C.P. 27054; Tel. +52 (871)-729-76777

Resumen

México es el único productor y exportador a nivel mundial de la cera de candelilla, En el mercado internacional se establecieron restricciones internacionales con la finalidad de disminuir la presión sobre el recurso natural por su sobreexplotación, actualmente la especie se encuentra incluida en la lista CITES. El objetivo fue identificar las propiedades del suelo que favorecen la distribución de la candelilla, mediante el método de máxima entropía, buscando promover su manejo y aprovechamiento sustentable. El área de estudio fueron dos localidades de los municipios de Cuatro Ciénegas y Viesca, Coahuila. Se obtuvieron 102 y 72 sitios de muestreo en los que se registraron coordenadas, datos biométricos de los ejemplares, condiciones del hábitat, del relieve y del tipo de suelo. Se seleccionaron nueve propiedades edáficas, se descargaron los archivos de la base de datos Soilgrid y la modelación se realizó en el programa Maxent. Como resultados el área bajo la curva en cada localidad registró valores de 0.927 y 0.973, se considera como un modelo adecuado para determinar la distribución actual de la especie. Entre los factores físicos químicos del suelo que determinan la presencia de la candelilla, destacan: profundidad, densidad aparente y pedregosidad, así como la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de carbono orgánico.

Palabras clave: Candelilla; cerote; distribución; entropía; modelos de predicción; zonas áridas.

Introducción

Para el manejo forestal es indispensable conocer la distribución de las especies y la modelación es una herramienta adecuada para llevar a cabo esta actividad, para ello existen diversos metodologías, entre éstas destaca el concepto de nicho ecológico: método correlativo, sencillo, que requiere de información sobre cada especie, la cual es integrada a los parámetros del clima o del suelo que favorecen la presencia de la especie de interés (Owens *et al*., 2013). Esto permite entender la combinación de los factores ambientales que favorecen la especie estudiada en una región geográfica y los efectos en los factores ambientales (Peterson *et al*., 2011). Se utiliza el algoritmo basado en la teoría de máxima entropía que combina pruebas estadísticas y de probabilidad, cuyo propósito es estimar las distribuciones de probabilidad, las cuales están subordinados a restricciones por la información ambiental (Elith *et al*., 2011). En este sentido, uno de los grandes problemas en la actualidad es la dificultad para identificar la extensión de diferentes tipos de vegetación y es un obstáculo para determinar la superficie que ocupan las especies de zonas áridas, por lo tanto con la obtención de la distribución permitirá realizar un adecuado manejo de los recursos naturales y la planificación en el uso del suelo ante condiciones ambientales cambiantes (Rehfeldt *et al*., 2012).

Por lo anterior, se pretende identificar las propiedades físicas y químicas del suelo que permiten la sobrevivencia y la permanencia de *E. antisyphilitica* en dos áreas de Coahuila, aplicando modelación con el método de Máxima Entropía, usando archivos ráster con resolución espacial de 250 m, para determinar la distribución actual y la superficie de las poblaciones naturales de candelilla como alternativa para integrar el inventario nacional de esta especie.

Materiales y Métodos

El estudio incluyó dos áreas (Figura 1), la primera designada localidad Cuatro Ciénegas (LCC), con coordenadas 26° 58' 27.13" y 26° 44' 53.56" LN y 102° 28' 40.70" y 102° 15' 45.07" LO. La altitud mínima y máxima es de 790 y 2,100 m situada en la depresión del Valle de Cuatro Ciénegas y la Sierra la Fragua, respectivamente (INEGI, 2006). La segunda Localidad Viesca (LV) con coordenadas 25° 07' 21.10" y 25° 14' 52.15" LN y 102° 32' 50.75" y 102° 39' 8.13" LW. La altitud mínima y máxima es de 1,140 y 1,880 m localizada en los Llanos de Lokhar y la Sierra Carolinas, respectivamente (INEGI, 1996). En la LCC predomina el suelo leptosol calcárico, característico de las áreas cerriles, de lomerío, donde la textura predominante es franco arcilloso. El material geológico es la roca sedimentaria denominada caliza, donde los horizontes son someros con profundidad máxima de 20 cm, teniendo como limitante el material parental (INEGI, 2015). Existen dos tipos de clima en el área; muy seco semicálido BWhw, y el seco semicálido BSohw. Las temperaturas registradas son; mínima, máxima y media anual de -6, 47 y 21.4 °C, respectivamente, finalmente la precipitación anual es de 245.1 mm, con presencia de lluvia en verano (CONAGUA, 2017). Por su parte en la LV, el suelo es leptosol calcáreo en las áreas cerriles, regosol y calcisol en la bajada de la Sierra Carolinas. La textura que domina es arcillosa, el material geológico es roca caliza, suelos someros con profundidad máxima de 50 cm (INEGI, 2015). Se presenta el clima muy seco semicálido BWhw, con temperatura mínima, máxima y media anual son de -4.4 , 38.3 y 18.7 °C, respectivamente, y la precipitación anual es de 226.3 mm con régimen de lluvias en verano (CONAGUA, 2017). El tipo de vegetación en ambas localidades es el matorral desértico rosetófilo, con dominancia de *Agave lechuguilla* Torr, *E. antisyphilitica*, *Fouquieria splendens* Engelm y *Jatropha dioica* Sessé ex Carv (Encina-Domínguez *et al*., 2013). La presencia de candelilla está ampliamente distribuida en las áreas cerriles de Cuatro Ciénegas y Viesca y dominante en el matorral xerófilo (Villarreal-Quintanilla, 2001).

Se ejecutó un muestreo sistemático en gradiente, en 102 y 71 sitios de las LCC y LV, usando un cuadrado de 20 x 20 m (CONAFOR, 2011). En cada sitio se registraron las coordenadas geográficas y las variables evaluadas *in situ* fueron: altura, diámetros mayor y menor de los ejemplares de candelilla. Además, se obtuvieron las características del hábitat, del relieve y del suelo (PMC, 2011). Con las evaluaciones *in situ* y la revisión de literatura de las condiciones del hábitat y los requerimientos de suelo de la especie, se identificaron las condiciones edáficas que permiten su presencia y se seleccionaron nueve propiedades del suelo, las cuales tienen mayor incidencia en el desarrollo de la candelilla (Zamora-Martínez *et al*., 2013).

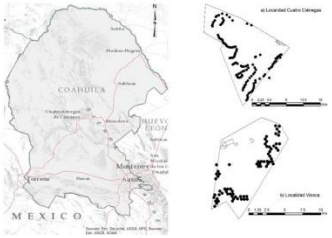


Figura 1. Áreas de estudio y los sitios de muestreo en las localidades de Cuatro Ciénegas y Viesca Coahuila, México.

Se obtuvieron los archivos de tipo ráster (.tif) de la base de datos *Soilgrid* con resolución espacial de 250 m. Estos archivos se transformaron a formato ascii (.asc) con el programa Diva Gis (Guarino *et al*., 2002) y se procesaron con el método Distribución de Máxima Entropía, usando el programa Maxent 3.4.1. Para la predicción se utilizó el 75 % de los sitios de muestreo n = 91 en LCC y n = 54 en LV y el 25 % restante se utilizó para validar el modelo; n = 30 en LCC y n = 17 en LV. En cada pronóstico y validación se realizaron análisis estadísticos de las propiedades evaluadas mediante la prueba del área bajo la curva (AUC), la prueba de regularización de Jackknife y la salida geográfica o mapas de la probable distribución de la especie en archivos ráster (Phillips *et al*., 2017). Se empleó la prueba estadística de Kappa, para evaluar el rendimiento de los modelos de presencia-ausencia de especies en cada área (Allouche *et al*., 2006). Finalmente, los archivos en formato ráster se procesaron en el programa DIVA GIS para obtener la cartografía de la probabilidad de distribución de la especie. En el presente estudio se usaron sólo nueve propiedades, siendo seis físicas y tres químicas, en función de la literatura consultada (cuadro 1).

Resultados y Discusión

En ambas localidades el AUC de predicción fue cercano a 1, ligeramente superior en la LV con 0.973, respecto a 0.927 de la LCC, resultando adecuados para explicar la distribución de la candelilla, esto fue considerado como un rendimiento excelente (Swets, 1998). Las curvas de predicción y de validación se muestran en la Figura 2, el color rojo es la predicción y exhibe el ajuste del modelo a los datos del muestreo, mientras que la curva azul de validación, indica el grado de ajuste del modelo a los datos de prueba, se considera que es la prueba real del poder predictivo del modelo de Máxima Entropía. El valor de concordancia del índice de Kappa fue en Viesca de 0.953 y en Cuatro Ciénegas de 0.885, debido a que la evaluación de la precisión de las predicciones de presencia-ausencia de la especie fue >74.3 %. Aunque los valores del índice de Kappa fueron ligeramente menores a el AUC, se consideran con una precisión adecuada para determinar la clasificación y la presencia de la candelilla (Li y Guo, 2013). En la determinación de la importancia en la probabilidad de distribución, paralelamente con el porcentaje y el nivel de influencia que contribuyen al modelo; en la LCC, las propiedades más importantes fueron; profundidad del suelo, densidad aparente (Da), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y contenido de carbono orgánico (COS), sumando el 89.3 % de la influencia en el modelo, el resto se distribuye en las otras cinco características. En la LV, las propiedades más influyentes fueron profundidad, Da y pedregosidad sumando estos aspectos físicos el 81.8 % de su contribución al modelo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Las variables físicas y químicas del suelo utilizadas en la modelación y su contribución al modelo.

Variables	Unidad	Valores promedio[1]	Valores promedio[2]	Contribución al modelo[1] (%)	Contribución al modelo[2] (%)
Profundidad absoluta hasta el lecho de roca	cm	32.2	12.4	41.7	31.4
Densidad aparente	kg•m^{-3}	1,449.5	1,473.8	20.8	28.1
Contenido de arcilla (0-2 µm)	Fracción de masa (%)	39.9	42.11	6	2.1
Contenido de limo (2-50 µm)	Fracción de masa (%)	27.7	26.2	1.7	5.6

Contenido de arena (50-200 μm)	Fracción de masa (%)	32.4	31.6	2.4	0.1
Fragmentos gruesos volumétricos (piedras)	%	39.9	41.7	0.4	22.3
CIC	$cmol \cdot kg^{-1}$	22.1	23.8	14.7	0.6
Contenido de carbono orgánico	$g \cdot kg^{-1}$	10.2	6.98	12.1	8.0
pH		6.86	7.02	0.2	1.6

1 = Localidad Cuatro Ciénegas; 2 = Localidad Viesca; CIC = Capacidad de intercambio catiónico

La profundidad afectó la distribución de la candelilla en ambas localidades, teniendo como limitante la presencia del afloramiento rocoso (WRB, 2014). La candelilla se desarrolla en laderas de zonas cerriles, en suelos pocos profundos, ricos en carbonatos de calcio en cuanto al comportamiento de la curva de respuesta (Figura 3a), registró mayor probabilidad en capas del suelo <50 cm, esto debido al material geológico de origen calcáreo, tiene ventajas para las especies adaptadas a escasa precipitación, se considera como un reservorio de humedad, el agua se mueve de manera ascendente en respuesta al gradiente y el suelo tiene una capa poco profunda que evita su perdida por evaporación, por lo que estas condiciones son el hábitat idóneo para la especie (Martínez-Salvador *et al*., 2014).

La Da fue el segundo parámetro de importancia en las dos localidades, ésta tiene relación con propiedades y procesos del suelo, como son las propiedades hidráulicas, la compactación del suelo, el contenido de materia orgánica y la erosión (Beutler *et al*., 2017). Existe una mayor probabilidad de que la especie sea localizada en el rango de 1.42 a 1.48 $kg \cdot m^{-3}$ (Figura 3b) al acercarse a valor critico 1.69 $kg \cdot m^{-3}$ representa una restricción para su establecimiento y sobrevivencia, ya que la Da afecta la infiltración del agua, las restricciones de enraizamiento, la capacidad de agua disponible, la porosidad del suelo, la disponibilidad de elementos nutritivos y favorece la actividad biótica del suelo, que impacta en procesos como meteorización y productividad de las plantas (Padilla *et al*., 2017).

La pedregosidad fue la tercer propiedad de relevancia en LV, lo cual cobra relevancia debido a que Zamora-Martínez *et al*. (2013), mencionan que esta especie se establece en suelos con presencia de piedras, con buen drenaje y ricos en carbonato de calcio, los valores registrados se clasifican como fuertemente pedregoso en el rango de 31-60 % (INEGI, 2014a). En la curva de respuesta hasta con 40 % de rocas existe una alta probabilidad de la presencia de *E. antisyphilitica*, pero con contenidos >51 % de rocas, disminuye considerablemente la probabilidad (Figura 3c). Se considera que la presencia de fragmentos gruesos >6 cm de diámetro, son condiciones desfavorables para otras especies vegetales. La pedregosidad favorece mayor acumulación agua en el suelo y en la roca, por lo tanto ofrece humedad disponible para el desarrollo de las plantas que sobreviven en los ambientes áridos (Marcos *et al*., 2017).

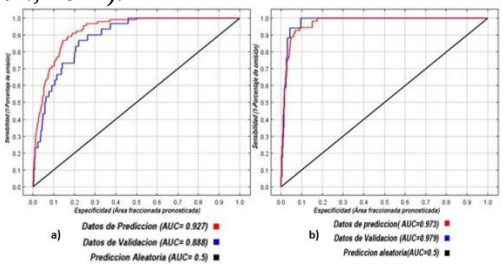


Figura 2. Curva operacional para dos grupos de datos: de predicción en color rojo y de validación en color azul, así como el AUC: a) localidad Cuatro Ciénegas y b) localidad Viesca

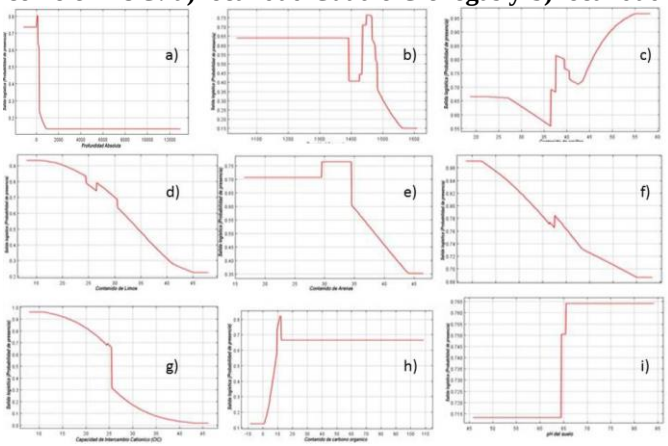


Figura 3. Curvas de respuesta generada para las variables del suelo en la LCC; a) profundidad, b) DA, c) contenido de arcillas, d) contenido de limo, e) contenido de arenas, f) fragmentos gruesos, g) CIC, h) COS y i) pH.

La CIC fue la tercera propiedad en importancia para la LCC, con 22.1 cmol•kg^{-1}, contribuyendo al modelo en un 14.7 %, y en Viesca, con 23.8 cmol•kg^{-1}, solo aportó el 0.6 % a la predicción. Con apoyo de la curva de respuesta para CIC (Figura 3d) se determinó que existe mayor probabilidad de presencia de candelilla de 10 a 24 cmol•kg^{-1}, disminuyendo drásticamente a valores >25 cmol•kg$^{-1,}$ estos resultados son contrarios al planteamiento que con el incremento en la CIC hay una mejora en la disponibilidad de humedad en el suelo y la retención de nutrientes, esto por la influencia de la disminución de la DA y con aumento en el contenido de materia orgánica (Olmo *et al*., 2016).

El COS fue la cuarta propiedad que determinó la distribución de la candelilla en ambas localidades. De acuerdo con la curva de respuesta es más probable encontrarla entre 1.0 y 14 g•kg^{-1} de COS, lo que concuerda con las cantidades reportadas en especies deserticas y de matorral en China con valores 3.4 a 16.8 g•kg^{-1} (Wang *et al*., 2015), donde los suelos presentan características semejantes al presente estudio.

Respecto a la textura del suelo, la mayor probabilidad encontrar la especie se encuentra del 17 a 35 % de contenido de arenas, el contenido de limo la probabilidad más alta correspondió del 13 a 25 %, finalmente la probabilidad de presencia de la candelilla es mayor con contenidos de arcilla del 35 al 57 %, preferentemente en textura franca a arcillosa (Figura 3e), ya que los minerales de arcilla contribuyen a la formación de los agregados (Karup *et al.*, 2016) y la textura favorece la permeabilidad, la retención del agua, de los nutrientes originado por la biodisponibilidad de materia orgánica del suelo, donde influye el tamaño de las partículas o agregados (Bimüller *et al*., 2016). El algoritmo de Maxent generó la distribución de probabilidad en el rango de 0.0 (ausencia) a 1.0 (presencia) de la especie, sobre los pixeles de cada archivo ráster (Elith *et al*., 2011). Con la salida del mapa representa el modelo de predicción de las áreas geográficas de la distribución de la especie evaluada, que son las condiciones ecológicamente realistas para la especie, en este caso condicionadas por factores del suelo como se observa en la Figura 4.

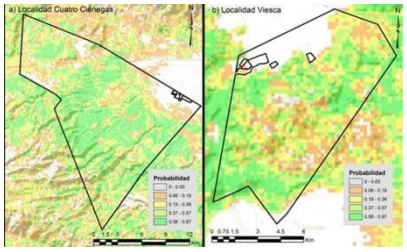


Figura 4. Los mapas de distribución de la candelilla generados por Maxent, se observa que en las áreas de planicie no existen poblaciones, mientras que su presencia está condicionada a la zona cerril en las dos localidades.

Conclusión

Los factores físicos del suelo determinan en gran medida la presencia y por ende la distribución de las poblaciones de la candelilla en ambas localidades son: profundidad, Da y el porcentaje de fragmentos gruesos volumétricos y en cuanto a los factores químicos destacan la CIC y el COS del suelo.

Referencias

Allouche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: Prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). Journal of Applied Ecology, 43(6), 1223–1232.

Beutler, S.J., Pereira, M.G., Tassinari, W.D.S., De Menezes, M.D., Valladares, G.S., & Dos Anjos, L. H. C. 2017. Bulk density prediction for histosols and soil horizons with high organic matter content. Revista Brasileira de Ciencia do Solo, 41.

Bimüller, C., Kreyling, O., Kölbl, A., von Lützow, M., & Kögel-Knabner, I. 2016. Carbon and nitrogen mineralization in hierarchically structured aggregates of different size. Soil and Tillage Research, 160, 23–33.

CONAFOR. 2011. Manual y procedimientos para el muestreo de campo Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Zapopan, Jalisco, México. Disponible en: http://www.cnf.gob.mx:8090/snif/portal/component/phocadownload/category/153-2012?download=781:manual-del-remuestreo-infys-2012

CONAGUA., S.M.N. 2017. Normales Climatológicas por Estación. Ciudad de México, México. Recuperado a partir de http://smn.cna.gob.mx/es/

Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E., & Yates, C.J. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. Diversity and Distributions, 17(1), 43–57.

Encina-Domínguez J. A., J.A. Meave., A.Z.L. 2013. Structure and woody species diversity of the Dasylirion cedrosanum (Nolinaceae) rosette scrub of central and outhern Coahuila State, México. Botanical Sciences, 91(3), 335–347.

Guarino, L., Jarvis, A., Hijmans, R.J., & Maxted, N. 2002. 36 Geographic Information Systems (GIS) and the Conservation and Use of Plant Genetic Resources. Managing plant genetic diversity.

INEGI. 1996. Conjunto de datos vectoriales de la carta Topográfica Bajío de Ahuichila G13D48. Escala 1:50 000. Aguascalientes, Ags. México. Disponible en: http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapas

INEGI. 2006. Conjunto de datos vectoriales de la carta Topográfica Rosario Viejo G13B58. Escala 1:50 000. Aguascalientes, Ags. México. Disponible en: http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapas

INEGI. 2014a. Datos vectoriales Uso de suelo y vegetación serie V escala 1:250 000. Aguascalientes, Ags. México. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/usosuelo/

INEGI. 2014b. Diccionario de Datos Edafológicos escala 1: 250, 000. Aguascalientes, Ags. México. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/edafologia/doc/dd_edafologicos_v3_250k.pdf

INEGI. 2015. Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, escala 1: 250 000, Serie II Continuo Nacional. Aguascalientes, Ags. México. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/edafologia/vectorial_serieii.aspx

Karup, D., Moldrup, P., Paradelo, M., Katuwal, S., Norgaard, T., Greve, M.H., & de Jonge, L.W. 2016. Water and solute transport in agricultural soils predicted by volumetric clay and silt contents. Journal of Contaminant Hydrology, 192, 194–202.

Li, W., & Guo, Q. 2013. How to assess the prediction accuracy of species presence-absence models without absence data? Ecography, 36(7), 788–799.

Marcos, S.P., Fernández Negrín, E., Quintana Vega, G., & Arco Aguilar, M.J. (2017). Efecto de la inclinación y pedregosidad sobre el reparto del agua de lluvia, su cuantificación y aplicación al estudio de la vegetación en zonas áridas. Investigaciones geográficas.

Martínez-Salvador, M., D.E. Hermosillo-Rojas., A.S. Mojica-Guerrero., J.A.P.A. 2015. Potencial productivo y zonificación para el uso y manejo de especies forestales de zonas áridas.

Martínez-Salvador, M., David E. Hermosillo Rojas., A.S.M.G. 2014. Guía para la zonificación forestal de zonas áridas de México.

Olmo, M., Villar, R., Salazar, P., & Alburquerque, J.A. 2016. Changes in soil nutrient availability explain biochar's impact on wheat root development. Plant and Soil, 399(1–2), 333–343.

Owens, H. L., Campbell, L. P., Dornak, L. L., Saupe, E. E., Barve, N., Soberón, J., … Peterson, A. T. 2013. Constraints on interpretation of ecological niche models by limited environmental ranges on calibration areas. Ecological Modelling, 263, 10–18.

Padilla, F.M., Peña-Fleitas, M.T., Fernández, M.D., del Moral, F., Thompson, R.B., & Gallardo, M. 2017. Responses of soil properties, crop yield and root growth to improved irrigation and N fertilization, soil tillage and compost addition in a pepper crop. Scientia Horticulturae, 225, 422–430.

Peterson, A.T., Soberón, J., Pearson, R.G., Anderson, R.P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., & Bastos Araujo, M. 2011. Ecological niches and geographic distributions. Princeton University Press (Vol. 49).

Phillips, S. 2008. A Brief Tutorial on Maxent. AT&T Research. AT&T Research.

Phillips, S.J., Anderson, R.P., Dudík, M., Schapire, R.E., & Blair, M.E. 2017. Opening the black box: an open-source release of Maxent. Ecography, 40(7), 887–893.

PMC. 2011. Manual de Referencia para el Muestreo Semicuantitativo del Inventario Forestal Estatal Cuantitativo: Matorrales. Texcoco, Estado de México. México. Disponible en: http://pmcarbono.org/pmc/descargas/manuales/Manual_Inventario_Forestal_Estatal_Semicuantitativo_2_Matorrales.pdf

Rehfeldt, G.E., Crookston, N. L., Sáenz-Romero, C., & Campbell, E.M. 2012. North American vegetation model for land-use planning in a changing climate: A solution to large classification problems. Ecological Applications, 22(1), 119–141.

Villarreal-Quintanilla, J. Á. 2001. Flora de Coahuila. Listados Florísticos de México (Vol. XXIII).

Wang, X., Wang, J., Xu, M., Zhang, W., Fan, T., & Zhang, J. 2015. Carbon accumulation in arid croplands of northwest China: Pedogenic carbonate exceeding organic carbon. Scient. Reports, 5.

WRB. 2014. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106.

Zamora-Martínez M. C., Méndez-Espinoza, C., Pérez-Miranda R., Cortés-Barrera, E. N. 2013. Euphorbia antisyphilitica Zucc.: Recurso forestal no maderable de alto valor económico. Folleto Técnico 12, 64.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

DETERMINACIÓN DE MICRO-RELIEVE EN LA EVALUACIÓN DE IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS

Demuner-Molina, G.[1*]

[1]**Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.**

[*]Autor responsable: genaro.demuner@uaaan.edu.mx; Calle Calzada Antonio Narro Núm. 1923, Col. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. CP 25315; Tel. +52(844)-229-8945

Resumen

Las labores agrícolas con implementos tienen un impacto considerable en el manejo del recurso suelo, desde la preparación de la cama de siembra hasta el rendimiento obtenido al final de la cosecha. Debido a esto es necesario conocer la calidad de labor que las herramientas nos brindan; por lo cual en este trabajo se determinó el micro-relieve antes y después de la preparación utilizando un arado de 3 discos Kimball ARHK 3 y una rastra integral Massey Ferguson MFR2024, así mismo como el grado de mullición medido a partir del porcentaje de agregados. Los mapas del micro-relieve se generan a partir de datos obtenidos mediante el método del perfilómetro de varillas y trabajados en el software GS+ versión 5.1.1, mismos que muestran la franja de terreno labrado. Para el porcentaje de agregados después de la labor se obtiene que no existe diferencia significativa con respecto al implemento utilizado mediante la prueba DMS (arado de discos: 29.42, rastra: 30.37). El grado de mullición encontrado fue de 2.33 mm en base a porcentaje. El contenido de humedad volumétrico del suelo al momento de realizar la prueba fue de 25.62% misma que fue determinada por una sonda TDR FIELDSCOUT 300 en un estrato de 0 a 30 cm.

Palabras clave: Calidad de labor, micro-relieve, grado de mullición, perfilómetro de varillas

Introducción

Para el territorio mexicano acorde a su extensión (196, 437,500 km2), según la estadística de producción agrícola al 2017 la superficie sembrada fue de 21, 590,574.4 Ha ocupado así el 11% de territorio del nacional (SIAP, 2017). Los cultivos de mayor manejo a nivel nacional fueron el maíz con 6, 947,000 Ha, el sorgo con 2, 175,099 Ha y el frijol con 1, 912,609 Ha representado el 51.1% de la superficie sembrada (INEGI, 2017). Para poder realizar el manejo del suelo para los cultivos Larney y Bullock (1994), mencionan que es necesario realizar labores de labranza (rotura, inversión y mullición) la cual sirve para controlar la distribución de los agregados en un perfil y el resultado del tamaño de éstos depende del contenido de humedad al momento de realizar la labor y el tipo de implemento utilizado para dicha actividad; para lo cual debido a esto se requiere de la evaluación de nuevas tecnologías de implementos de labranza. Los sistemas de labranza son un elemento principal dentro de los sistemas agrícolas de producción, donde muchas actividades posteriores afectan de forma directa a los cultivos establecidos los cuales dependen en una mayor medida del sistema de labranza aplicado en la preparación del lote (Martínez, 1999). Johnson (1985) define ‘prueba’ como la referencia al análisis de comportamiento de una

máquina en base a normas definidas y/o bajo condiciones ideales controladas, en cambio Crossley y Kilgour (1983), mencionan que la evaluación involucra medir el comportamiento de la máquina o herramienta bajo condiciones de trabajo agrícolas reales. El contenido de humedad en el suelo al momento de realizar cualquier manejo integral del suelo es un factor que determinará la disgregación del mismo (FAO, 2005). En México existen una gran diversidad de maquinaria y equipo agrícola ya sea de manufactura nacional o importada mismos que son evaluados y aprobados por el Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola (CENEMA) y el Organismo Certificador de Implementos y Maquinaria Agrícola (OCIMA); organismos que verifican el grado de calidad, desempeño, funcionalidad y durabilidad de la máquina o herramienta. Es por esto que en este trabajo se plantea determinar el micro-relieve y grado de mullición al utilizar un arado de discos y una rastra durante una preparación de cama de siembra.

Materiales y Métodos

Para esta evaluación se utilizó un tractor New Holland 6810, un arado de discos Kimball ARHK 3 y una rastra integral Massey Ferguson MFR2024 (figura 1).



Figura 1. Equipos utilizados en la evaluación

Tomando en cuenta que cualquier terreno agrícola no presenta homogeneidad, se escogió al azar 3 franjas para realizar el paso de los implementos, midiendo las condiciones del relieve inicial y el contenido de humedad del suelo con una sonda TDR FIELDSCOUT 300 (figura 2).



Figura 2. Marcado de franjas y sonda TDR

Para la colecta de información del micro-relieve se utilizó un perfilómetro de varillas, el cual cubre un ancho de trabajo de 2 metros, mismo que se debe de nivelar en varios puntos de la franja marcada. Este procedimiento se debe realizar antes y después del paso del arado de discos y de la rastra (figura 3). Las lecturas de las varillas (*variable*) se ingresan en una tabla de Excel para formar un cuadrante (*x*, *y*) y así ingresar los datos al software GS+ versión 5.1.1 para generar los modelos (mapas) tridimensionales.



Figura 3. Nivelación y toma de datos con el perfilómetro

Tanto para el paso de arado de discos y de rastra se obtuvieron muestras de agregados (figura 4) empleando tamices de diferentes tamaños (44.45, 25.4, 15.87, 12.70 y 7.93 mm) y utilizando la metodología descrita por Padilla (2003) y mencionada por Santiago (2013).



Figura 4. Muestreo de agregados

El grado de mullición del suelo se obtiene con el tamaño promedio de agregados antes y después del paso de la rastra mediante la siguiente ecuación:

$$G_m = \left[\frac{T_{pta} - T_{ptd}}{T_{pta}}\right] * 100$$

Donde:

Gm: Grado de mullición (%)
T_{pta}: Tamaño promedio de agregados antes del paso de la rastra (mm)
T_{ptd}: Tamaño promedio de agregados después del paso de rastra (mm)

Resultados y Discusión

Los resultados para micro-relieve se muestran a continuación en los mapas generados (figura 5) a través del software para cada condición: inicial (A), arado de discos (B), rastra (C).

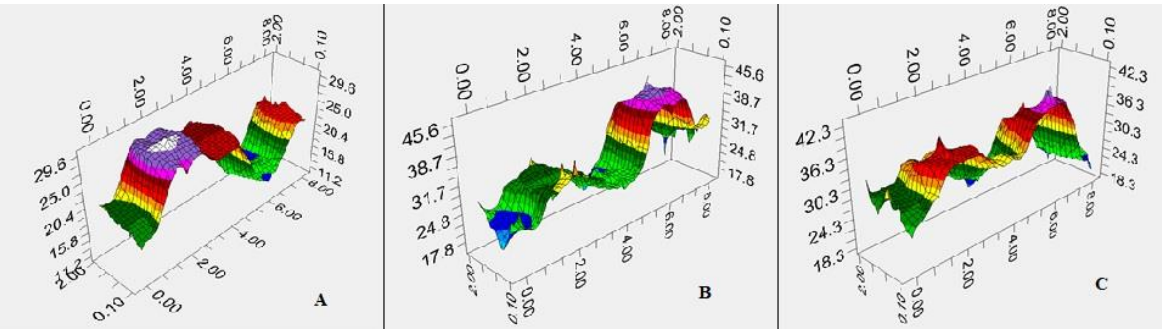


Figura 5. Mapas de micro-relieve inicial (A), arado de discos (B) y rastra (C)

La humedad del suelo es una condición importante para la estabilidad de agregados misma que beneficia o perjudica dicha estabilidad (Navarro *et al*., 2000). El contenido de humedad se determinó al momento con el uso de la sonda TDR dando un valor de 25.62% de contenido de humedad volumétrico, siendo un valor aceptable para mantener una estabilidad en los agregados

generados por el paso de los implementos.

Con respecto al porcentaje de agregados se encuentra que no existe diferencia significativa al momento de pasar el arado de discos y la rastra de discos.

Implemento	DMS	Grupo
Arado de disco	29.42	a
Rastra	30.37	a

CV: 0.55

En una evaluación de implementos de labranza para medir el consumo de energía y la calidad de trabajo (Cadena *et al*., 2004), encontraron que no existe diferencia significativa al evaluar el tamaño de agregados entre un arado de discos (19.97 b) y una rastra (16.33 b).

El grado de mullición del suelo obtenido al final del paso de la rastra fue de 2.33 mm; este valor indica que los agregados generados presentan un bajo nivel de evaporación lo que impacta en una mayor retención de humedad, buena aeración tanto interna y externa, menor erosión al agua y al viento y bajo nivel de compactación (Braunack y Dexter, 1989).

Conclusiones

La evaluación de equipos es indispensable para conocer y determinar las características que obtendremos al final de la labor en un suelo agrícola al utilizar una herramienta en específico, misma que nos dará a conocer su desempeño para una adecuada preparación de la cama de siembra.

Los mapas de micro-relieve nos dan una idea de cómo se comporta el suelo al paso de los implementos que estemos utilizando ya sea en una labranza tradicional o de conservación.

El factor humedad es muy importante al momento de la preparación de la cama de siembra ya que ayuda a mantener una estabilidad óptima de los agregados generados por el paso de los implementos, mismos que beneficiarán al desarrollo de la semilla.

Referencias

Braunack, M. V., and A. R. Dexter. 1989. Soil Aggregation in the seedbead: A Review II. Effect of aggregate sizes on plant growth. Soil and Tillage Research. 14: 281-298.

Cadena-Zapata, M., T. Gaytán-Muñiz y A. Zermeño-González. 2004. Desempeño de Implementos de Labranza en Términos de Consumo de Energía y Calidad de Trabajo. Revista Agraria Nueva Época. 1(3): 12-17.

Crossley, P., and J. Kilgour. 1983. Small farm mechanization for developing countries. Wiley, Chichester. 253 pp.

FAO. 2005. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas de la FAO. 8: pp. 168.

INEGI. (2017). INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. México. Recuperado de http://www.beta.inegi.org.mx/temas/agricultura/default.html

Johnson, I. M. 1985. Testing of farm machinery for agricultural development. Silsoe, UK. National Institute of Agricultural Engineering.

Larney, F. J., and M. S. Bullock. 1994. Influence of soil wetness at time of tillage and tillage implement on soil properties affecting wind erosion. Soil and Tillage Research. 29(1): 83-95.

Martínez, J. A. 1999. Evaluación agrotécnica y tecnológico-explotativa de un multiarado modelo M-250. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.

Navarro Bravo, A., B. Figueroa Sandoval, V. M. Ordaz Chaparro y F. V. González Cossio. 2000. Efecto de la labranza

sobre la estructura del suelo, la germinación y el desarrollo del maíz y fríjol. Terra Latinoamericana. 18(1): 61-69.

Padilla Alfaro, A. C. 2003. Validación de la norma PROY-0-182-SCFI-2002 para rastras de discos de levante. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Santiago-Martínez, M. A. 2013. Evaluación del desempeño de un multicultivador para labranza de conservación. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

SIAP. (2017). SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA, DATOS ABIERTOS, ESTADÍSTICA DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA. México. Recuperado de http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

PÉRDIDA DE MATERIAL PARENTAL Y SUELO EN LA SIERRA DE LAS NOAS, COAHUILA

Hernández-Herrera, J.A[1*]; Moreno-Resendez, A[1]; García-Carrillo, M[1]; Moncayo-Lujan, R[2]; Ramírez Aragón, M.G[2]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila, México
[2]Universidad Politécnica de Gómez Palacio. Gómez Palacio, Durango, México.

*Autor responsable: heheja@gmail.com; Periférico y Carretera a Santa Fe S/N, Torreón, Coahuila. México CP 27054. Tel. +52(871) 258-7139

Resumen

Las afectaciones en la vegetación, el suelo y el material rocoso por la industria de la construcción, representa un peligro para la continuidad edáfica en la Sierra de las Noas, que es una formación geológica, con importancia religiosa y ecológica, donde la extracción de materiales causa afectaciones físicas y en el paisaje. El objetivo fue cuantificar la perdida de material parental y suelo del 2006 al 2018. El área de estudio presenta suelos leptosoles, con escasa profundidad menor de 50 cm, con clima muy seco semicalido con presencia de matorral desértico rosetófilo. Para identificar las áreas afectadas se determinaron con recorridos, aunado a una investigación de las solicitudes de cambios de usos de suelo en SEMARNAT y con el uso imágenes de Google Earth Pro. Posteriormente se descargaron las imágenes de satélite LANDSAT del mes de febrero de 2006, 2011 y 2018, se unieron las bandas de las imágenes y se realizó la clasificación supervisada con el programa ERDAS. El área afectada hasta el presente año es de 2,936,793.93 m^2 y en volumen es de 180,576,382.91 m^3 de material pétreo, además de 2,955,780.60 m^3 de suelo. La industria de la construcción ha causado afectaciones progresivas por la extracción del material para comercializar subproductos como el cemento, la cal y material de construcción, que representa un riesgo constante para las colonias cercanas por el peligro de derrumbes, con la eliminación del suelo, de la vegetación y del material pétreo, son factores que ponen en peligro la continuidad de los procesos edáficos.

Palabras clave

Tasa de perdida; indústria cementera; pedrera,

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

ESTIMACIÓN DE LA EROSIVIDAD DE UN FAOSEM (PH) DEL CENTRO DE MÉXICO

López-Santos, A.[1*]; Navarrete-Molina C.[1]; Torres-González J. A.

2Universidad Autónoma Chapingo, Programa de Posgrado en Recursos Bióticos y Medio Ambiente de Zonas Áridas de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Durango, México

Centro de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad # 940, Ciudad Universitaria, C. P. 20131, Aguascalientes, Ags. México. Tel. +52 (449) 910-74003

*Autor responsable: alopez@chapingo.uruza.edu.mx; **Dom. km. 40, carretera Gómez Palacio-Cd. Juárez Chihuahua, Cd. Bermejillo, Durango. México. CP 35230. AP # 8. Tels +52(872)776-0160, 901**

Resumen

Las tierras áridas ocupan gran parte del territorio de México, donde la degradación de los suelos se ha agravado en los últimos años. El monitoreo de la degradación ocasionada por la erosión hídrica a través de la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS), permite calcular tasas de pérdida de suelo basándose en determinados factores, siendo la erosionabilidad edáfica (factor K) uno de ellos. El objetivo fue generar, evaluar y analizar el factor K en una unidad de suelo bajo diferentes condiciones de manejo: suelo desnudo (T1), barbecho (T2) y barbecho con esquilmo (T3), con tres repeticiones cada uno, ubicadas en un predio de pastoreo del centro de México. A las muestras de suelo se les determinó porcentaje de materia orgánica, clase textural y factor K, dicho factor se calculó con un método de referencia y con EUPS. Los resultados muestran un valor promedio de K de 0.039 t ha h/MJ mm con tablas de referencia y de 0.020 t ha h/MJ mm con la EUPS, obteniendo un 1.73% de discrepancia con respecto al uso de tablas de referencia. Los valores de pérdida de suelo indican que los tres tratamientos fueron significativamente distintos ($P < 0.05$). Los valores más altos de perdida de suelo fueron T1 con 0.338 t ha^{-1} y más bajos T3 con 0.054 t ha^{-1}. palabras.

Palabras clave: *Perdida de suelo, EUPS, esquilmo, degradación edáfica*

Introducción

La susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica (EH) es determinada primordialmente por el potencial erosivo de la lluvia, la inclinación del terreno o grado de pendiente, la superficie y posición de captación o (área) de impacto de la lluvia, así como las cubiertas en su superficie. La erodabilidad se refiere a la susceptibilidad del suelo a la erosión por el agua, y este se identifica como un controlador secundario en la intensidad de la EH (Kirkby, 1980), (FAO and ITPS, 2015), (Darvishan, Homayounfar and Sadeghi, 2016). La EH es la forma de degradación territorial más ampliamente distribuida a nivel global (Tilahun, M., Singh, A., Kumar, P., Apindi, E., Schauer, M., Libera, J., 2018). Se estima en aproximadamente 1094 millones de hectáreas (FAO and ITPS, 2015), (Tilahun, M., Singh, A., Kumar, P., Apindi, E., Schauer, M., Libera, J., 2018), y se considera como la principal amenaza para la estabilidad de los sistemas naturales y antrópicos (FAO and ITPS, 2015), (Bolaños Gonzalez et al., 2016) (Cherlet, M., Hutchinson, C., Reynolds, J., Hill, J., Sommer, S., von Maltitz, 2018).

En México, debido a sus características ecológico-geográficas, donde se combinan ambientes de montaña y planicie la EH ocupa el primer lugar en ésta problemática con 49.4 millones de hectáreas que representan aproximadamente el 25.4% del territorio nacional (Bolaños Gonzalez *et al*., 2016), (López-Santos, 2016).
Las causas inmediatas de la degradación del suelo incluyen factores biofísicos y prácticas de manejo inadecuadas, siendo el suelo susceptible a la pérdida parcial o total del suelo (Nkonya *et al*., 2016) y su consecuente transporte a través de los cuerpos de agua (Phomcha *et al.*, 2012). La pérdida de sedimentos, su magnitud se ve afectada por varios factores, entre ellos: tipo de vegetación, intensidad de la lluvia, el estado de crecimiento de la cubierta vegetal, la estación del año y la velocidad del viento (Cisneros *et al*., 2012). Se han realizado numerosas investigaciones para cuantificar la tasa de erosión bajo diferentes usos de suelo y la efectividad de diferentes coberturas vegetales en el control de la erosión en terrenos agrícolas (Flores-López *et al*., 2003; Castro-Mendoza, 2013; Santacrúz de León, 2011; Montes-León et al., 2011), pero faltan estudios con fines de planeación y diseño de prácticas de conservación de suelos y de diagnóstico de la situación del recurso natural suelo a nivel regional en México. El objetivo de esta investigación fue evaluar la erodabilidad y arrastre de sedimentos bajo tres diferentes condiciones de uso de suelo, evaluadas con parcelas de escurrimiento en una zona de agricultura de temporal centro de México.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el predio del Centro de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA), localizado en localidad La Posta, del municipio de Jesús María, Aguascalientes en las coordenadas 21º 57' 40" N y 102º 20' 36" O (Figura 1a), a una altitud de 1,880 msnm (INAFED, 2010). El tipo de suelo fue clasificado como Phaeozem álbico-epiléptico (PHablep/2) con textura media (WRB, 2014). El área de estudio presenta el clima BSkw, con temperaturas medias anuales de 18°C y una precipitación media anual de 540 mm (INEGI, 2013). La vegetación predominante fue de tipo herbácea, con presencia de las familias: poaceas, asteráceas, fabáceas (CONABIO, 2008).
Se establecieron 3 parcelas al azar con 3 repeticiones, se designaron como parcela 1 (P1), parcela 2 (P2) y parcela 3 (P3). Posteriormente se establecieron los tratamientos: suelo desnudo con remoción de vegetación (T1), con barbecho (T2) y con barbecho con esquilmo de residuos de pastizal introducido (T3), se realizó con azadón a una profundidad de 20 cm.
El establecimiento del experimento inició en marzo de 2016, donde se realizó la implementación de los módulos de sedimentación, que consistió en la construcción del cercado, para colocar el marco de las parcelas, se formó una zanja de 10 cm de profundidad y fue anclada con estacas de maderas con dimensiones de 2.5 x 5 m. Para los captadores de sedimentos se realizó un pozo de 1 m3, se colocaron recipientes de 50 litros adaptados al colector de sedimentos con tubos de PVC con una pendiente de 2%.
Se realizó la caracterización física de las condiciones idóneas para su máximo potencial de erosión antes de la aplicación de los tratamientos, para determinar los parámetros de erodabilidad del suelo (K), se estimó en base a la metodología de Wischmeier & Smith (1978), para lo cual se colectaron tres muestras de suelo a profundidad de 0 a 30 cm, se procesaron en el laboratorio de suelos de la UAA, se determinó la textura y el tamaño de partícula por el método del hidrómetro (Bouyoucos,1962), al mismo tiempo la determinación de porcentaje del contenido de materia

orgánica del suelo (MOS), mediante la técnica de oxidación de carbono orgánico de Walkley & Black (1934), donde los valores de MOS se clasificaron conforme a lo estipulado en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

Resultados y Discusión

La textura fue franco-arenoso en todas las parcelas experimentales (Cuadro 1), esta propiedad del suelo es considerada como una de las importantes ya que otras propiedades y procesos físicos, químicos e hidrológicos están en función del contenido de partículas de arena, arcilla y limo (Poggio *et al*.,2018).

Cuadro 1. Características físicas del suelo determinadas en la localidad La Posta

Sitio	Textura (Kg)			**Textura**	Da	Porosidad (%)	MOS (%)	MOS
	1	2	3	Clase	(g cm^3)	%		Clase
P1	50.8	29.2	19.9	Ca	1.03	61	4.07	Alto
P2	51.8	29.8	18.3	Ca	1.23	53	3.94	Alto
P3	53.8	28.2	17.9	Ca	1.13	57	3.94	Alto

1= Arena; 2=Limo; 3=Arcilla; Ca = franco arenosa; Clase textural; MOS = Materia orgánica del suelo

Conclusiones

Referencias

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

COMPARACIÓN DE COEFICIENTES DE REFUERZOS DE RAÍCES DE ESPECIES NATIVAS PARA USO POTENCIAL EN LA BIOINGENIERÍA DE SUELOS

Zavala-González, R.[1*]; Cantú-Silvia, I.[1]; Sánchez-Castillo, L.[1]; González-Rodríguez, H.[1] Kubota, T. [2]

[1]Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León, México.
[2]Laboratory of Forest Conservation and Erosion Control, Department of Agro–environmental Sciences, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka.

*rebecagzg@gmail.com; Calle Carretera Nacional Km.145 Núm. Linares, Nuevo León. México. CP 67700; Tel. +52(821)-117-5892

Resumen

En los últimos años, el efecto de la vegetación en la estabilidad de laderas ha jugado un papel muy importante en la bioingeniería de suelos. Sin embargo, debido a diferentes causas, como el registro de terremotos de pequeña escala o el aumento de ocurrencias de eventos extremos de lluvia, muchas pendientes se encuentran en una condición potencialmente inestable, por lo que los movimientos de suelo se pueden iniciar fácilmente. Se evaluaron las propiedades RAR y Coeficiente de Refuerzo entre especies de dos ecosistemas distintos: Matorral Espinoso Tamaulipeco (sitio 1) y Bosque de Pino-Encino (sitio 2). Las especies consideradas fueron seleccionadas con base en sus características nativas y su presencia en laderas. Para el sitio 1: *Acacia berlandieri*, *Cordia boissieri*, *Acacia rigidula*, *Havardia pallens*, *Acacia farnesiana*; Sitio 2: *Quercus rysophylla*, *Pinus pseudostrobus*, *Quercus canbyi*, *Quercus polymorpha* y *Arbutus xalapensis*. Las pruebas mecánicas fueron realizadas con la Máquina Universal Shimadzu tipo SLFL-100KN. El orden de importancia de las especies estudiadas, para su aplicación en las prácticas de bioingeniería del suelo, tomando en cuenta el refuerzo analizado en orden ascendente, fue el siguiente: *C. boissieri* <*H. pallens* < *P. pseudostrobus* < *A. xalapensis* < *Q. canbyi* < *A. farnesiana* < *A. berlandieri* < *Q. polymorpha* < *Q. rysophylla* < *A. rigidula*.

Palabras clave: Raíz, RAR, Coeficiente de Refuerzo.

Introducción

La Sierra Madre Oriental es un cinturón plegado y cabalgado que ha estado bajo una gran presión a lo largo del tiempo, incluidos terremotos de pequeña escala (Montalvo-Arrieta *et al*., 2010). Además, el reciente aumento de los episodios de lluvia han desencadenado áreas de inestabilidad en las laderas y, como resultado, la erosión y deslizamientos de suelo (Sánchez-Castillo *et al*. 2017). Esto juega un papel importante en las laderas de este cinturón orogénico, lo que hace que áreas como las consideradas en este estudio sean propensas a desastres por deslizamientos de suelo.

La estabilización biotécnica utiliza elementos mecánicos (o estructuras) en combinación con elementos biológicos (o plantas) para detener y prevenir fallas en las pendientes y la erosión (Gray y Sotir, 1996). Las plantas proporcionan la mayor parte de la cobertura del ecosistema y son un elemento activo de los ciclos de nutrientes (Begon *et al.*, 1990; Friedel *et al*., 2000). Así mismo la vegetación aumenta la protección y disminuye la erosión en las áreas forestales urbanizadas. La aplicación de medidas de control con especies nativas para restaurar los sitios afectados podría ser significativa ya que son ecológicamente amigables, de bajo costo y fáciles de usar (Sánchez-Castillo, 2015).

Materiales y Métodos

Área de estudio.

El área de estudio se encuentra en dos sitios en el estado de Nuevo León, México. El sitio 1 está ubicado en la estación forestal experimental "Bosque Escuela" en un bosque de pino-encino en Iturbide, Nuevo León (24 ° 43 'N y 99 ° 52' O). De acuerdo con la clasificación de Köppen (1931), el clima predominante en la zona es el tipo A. En el sitio 1, la precipitación anual promedio es de 620 mm y las temperaturas alcanzan un mínimo de -10 ° C. La temperatura promedio anual es de 18 ° C (Marmolejo 2000, Cantú y González, 2002). El tipo de suelo que predomina en el área de estudio corresponde a la clase de calcio kastañozem, con altos contenidos de nutrientes minerales de K, Fe, Mn, Cu y bajos contenidos de Zn y P. El pH predominante en el área es moderadamente alcalino (7.5 - 8.5), con bajo contenido de materia orgánica y nitrógeno (Cantú y González, 2002).

El sitio 2 se encuentra en Linares, Nuevo León, (25 ° 09 'N y 99 ° 54') en el campus de la Facultad de Ciencias Forestales. El sitio donde se realizó el estudio es un fragmento de la vegetación que pertenece a la región del Matorral Espinoso de Tamaulipeco. El MET se distribuye en el noreste de México y el sur de Texas, con un área de más de 200,000 km^2 (Alanís *et al.*, 2008). De acuerdo con la clasificación de Köppen (1938) modificada por García (1981), el tipo de clima en el área de estudio es un clima subtropical y semiárido con temperaturas de hasta 45 ° C durante el verano y una temperatura promedio de 14.7 ° C a 22.3 ° C, con una precipitación anual promedio de 805 mm (Yáñez *et al*., 2014).

Selección de especies

La selección de especies se hizo considerando sus características nativas y presencia en laderas. Se seleccionaron de cinco a diez individuos por especie. En cada uno de los dos sitios, se encontraron diferentes condiciones tales como el origen del deslizamiento de tierra, la profundidad del suelo y la litología. El orden de las especies se muestra según su comunidad.

Método de muestreo.

Se extrajeron cincuenta muestras de raíces de cada especie con sistema de raíz expuesto, esto para explicar el porcentaje eventualmente descartado debido al daño, quiebre o prueba fallida.

Preparación de muestras de raíz para análisis.

Las raíces se extrajeron de los sistemas de raíces expuestas para causar la menor perturbación en el área. Las muestras fueron cortadas, cuidadosamente empacadas y almacenadas en bolsas de papel. Con el fin de preservar su contenido de humedad, se almacenaron en un recipiente desde el momento

de la extracción y se transportaron al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Forestales para posteriores pruebas. En el laboratorio, las raíces dañadas fueron descartadas. Las consideradas se cortaron a 10 cm de longitud y se etiquetaron individualmente para sus posteriores pruebas. Las muestras se almacenaron en un refrigerador a 4 °C hasta minutos antes de la prueba mecánica.

Prueba mecánica de raíz (resistencia a la tracción y módulo de elasticidad).
La prueba se llevó a cabo utilizando la máquina de prueba Universal SHIMADZU tipo SLFL-100Kn. Los datos se visualizaron utilizando el software de operación Trapezium. La fuerza requerida para romper la raíz se tomó en cuenta para calcular la fuerza de tensión (T_s).

$T_s = F_{max} / \pi (D/2)^2$

Estimación del Refuerzo suelo-raíz
En campo, se tomaron fotos para calcular la relación de área de raíz-suelo (RAR) que se define como la fracción del suelo ocupada por raíces por unidad de área (Gray y Leiser, 1982). El método de conteo de raíces por análisis de imagen fue descrito por Vogt y Persson (1991) y se usó para calcular la relación área de suelo-raíz (RAR), que consiste en el mapeo y conteo de las raíces expuestas en un perfil de suelo (A_R) con el fin de calcular el área de suelo (A) y recrear el sistema radicular, este método está basado en el método de pared de perfil tradicional propuesto por Bohm (1979).

Resultados y Discusión

El refuerzo adicional del suelo proporcionado por las raíces (ΔS) para las diez especies fluctuaron desde rangos de 0.02 a 0.21 kN/m^2 (*Cordia boissieri*), de 0.05 a 0.35 kN/m^2 (*Havardia pallens*), de 0.11 a 0.34 kN/m^2 (*Pinus pseudostrobus*), de 0.17 a 0.38 kN / m^2 (*Arbutus xalapensis*), de 0.24 a 0.56 kN/m^2 (*Quercus canbyi*), de 0.16 a 0.67 kN/m^2 (*Acacia farnesiana*), de 0.10 a 0.61 kN/m^2 (*Acacia berlandieri*), de 0.25 a 0.68 kN/m^2 (*Quercus polymorpha*), de 0.26 a 0.77 kN/m^2 (*Quercus rysophylla*), y de 0.05 a 0.81 kN/m^2 (*Acacia rigidula*).

Los resultados promedios ΔS de las 10 especies en orden ascendente es el siguiente: *C. boissieri* (0.12 kN/m^2) <*H. pallens* (0.21 kN/m^2) < *P. pseudostrobus* (0.23 kN/m^2) < *A. xalapensis* (0.27 kN/m^2) < *Q. canbyi* (0.39 kN/ m^2) < *A. farnesiana* (0.44 kN/m^2) < *A. berlandieri* (0.45 kN/m^2) < *Q. polymorpha* (0.49 kN/m^2) < *Q. rysophylla* (0.53 kN/m^2) < *A. rigidula* (0.54 kN/m^2)

El Coeficiente de Refuerzo del suelo proporcionado por las raíces depende del RAR, que es expresado como la relación de área de raíz en el plano de corte del suelo (Sánchez-Castillo et al., 2016). La comparación con resultados de otros estudios es difícil, ya que en ellos se presentó una gran variabilidad especial, por lo cual reportan valores de refuerzo mayores (Burroughs y Thomas, 1977; O'Loughlin y Watson, 1979; Ziemer, 1981; Coppin y Richards, 1990; Abernethy y Rutherfurd, 2001).

La relación de área de raíz-suelo (RAR) disminuye con la profundidad. Así mismo, debido a las limitaciones de la máquina de prueba, las muestras de raíz analizadas en este estudio correspondieron a diámetros pequeños (lejos de la superficie), lo cual influyó en la obtención de valores bajos comparado con otros estudios (Morgan y Rickson, 1995; Abernethy y Rutherfurd, 2001; Tosi, 2007).

Además de la relación del área de la raíz y refuerzo de raíz, los valores de refuerzo (ΔS) están influenciados por el tipo de especie, características del suelo y la pendiente (Bischetti *et al*., 2005; Stokes *et al*., 2002).

Conclusiones

Los resultados del refuerzo adicional del suelo proporcionado por raíces (ΔS) para las diez especies analizadas, variaron de 0.02 kN/m^2 en *C. boissieri* a 0.81kN/m^2 en *A. rigidula*, ambas especies del Matorral Espinoso Tamaulipeco. La especie que contribuyó con un mayor refuerzo al suelo fue *A. rigidula* con un promedio de 0.54 kN/m^2.

La relación área de raíz-suelo (RAR) se observó como el factor que más influye en el coeficiente de cohesión adicional proporcionado por las raíces en la ladera. Los resultados de refuerzos para las especies del MET son más altos debido a la gran cantidad de raíces de diámetros pequeños de las especies comparado con lase species del Bosque de Pino-Encino. Esta información es importante para entender la contribución potencial a la estabilización de laderas de la Sierra Madre Oriental en el noreste de México

Referencias

Abernethy, B., and I.D Rutherfurd. 2001. The distribution and strength of riparian tree roots in relation to riverbank reinforcement. Hydrological processes, 15(1): 63–79.

Alanís E., Jiménez J., Aguirre O., Treviño E., Jurado E. and González M. 2008. Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco. Ciencia UANL XI: 56-62.

Begon, M., J. L. Harper and C. R. Townsend. 1990. Ecology Individuals, Populations and Communities. Blackwell Scientific Publications. Malden MA. USA. 94.

Bischetti, G. B., E.A Chiaradia, T, Simonato, B Speziali, B Vitali, P Vullo, P and A Zocco. 2005. Root strength and root area ratio of forest species in Lombardy (Northern Italy). Plant and soil, 278(1–2): 11–22.

Bohm, W. 1979. Methods of Studying Root Systems. Springer–Verlag, Berlin Heidelberg, New York.

Burroughs, E. R. Jr., and B. R. Thomas. 1977. Declining root strength in Douglas–fir after felling as a factor in slope stability,USDA Forest Service Research Paper INT–190. 27.

Cantú, I., and González, H. 2002. Propiedades hidrológicas del dosel de los bosques de pino-encino en el noreste de México. : Ciencia UANL 5(1): 72-78.

Coppin, N. J and I.G. Richards. 1990. Use of vegetation in civil engineering. London: Construction Industry Research and Information Association.

García, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana. Offset Larios. México. 246

Gray, D. H. and A. T. Leiser. 1982. Biotechnical Slope Protection and Erosion Control. Van Nostrand Reinhold Company: New York.

Gray DH. Sotir RB (1996) Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control. 35-37. New York: John Wiley & Sons.

Marmolejo J., 2000. Diversidad fúngica en dos ecosistemas forestales del estado de Nuevo León, México. Reporte Científico No. 36. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. 43.

Morgan, R. P. C. and R. J. Rickson. 1995. Water Erosion Control. In slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach, Morgan, R. P. C. and R. J Rickson. (eds), E & FN Spon, London, 133–190.

Montalvo J., Chávez G., Velasco F., Navarro I., 2010 .Causes and effects of landslides in the Monterrey Metropolitan area, NE Mexico. Nova Science Publishers, Inc. In: Landslides: Causes, Types and Effects 17-18.

O'loughlin, C. L. 1974. The effect of timber removal on the stability of forest soils. Journal of Hydrology, 13(2): 121–134

O'loughlin, C. L., and A. L. E. X. Watson. 1979. Root–Wood strength deterioration in radiata pine after clearfelling. NZJ For. Sci, 9(3): 284–293.

Sánchez Castillo, L. 2015. An integrated study of sediment related disaster prevent and erosion control for urbanized forest

slopes in Nuevo León, México, 1-7, 36-39.
Sánchez-Castillo L., Kubota T., Cantu-Silva I., Yañez-Diaz I., Hasnawir, Pequeño-Ledezma M. 2017. Comparisons of the Root Mechanical Properties of three Native Mexican Tree Species for Soil Bioengieneering Practices. Botanical Sciences 95(2):259-269.
Sánchez-Castillo L., Kubota T., Cantu-Silva I., Hasnawir. 2017. Influence of Root Reinforcement of Forest Species on the Slope Stability of Sierra Madre Oriental, Mexico. Journal Faculty of Agriculture Kyushu University 62 (1), 177–181.
Stokes, A., T. Fourcaud, J. Hruska, J. Cermak, N. Nadyezdhina, V. Nadyezhdin, and L. Praus. 2002. An evaluation of different methods to investigate root system architecture of urban tres in situ: I. Ground–penetrating radar. Journal o Arboriculture, 28(1): 2–10.
Tosi, M. 2007. Root tensile strength relationships and their slope stability implications of three shrub species in the northern Apennines (Italy). Geomorphology 87: 268–283.
Vogt, K. A. and H. Persson. 1991, Measuring growth and development of roots. Techniques and approaches in forest tree ecophysiology, 477–501
Waldron, L. J. 1977 The shear resistance of root–permeated homogeneous and stratified soil. Soil Science Society of America Journal, 41(5): 843–849.
Wu, T. H. 1976. Investigation of landslides on Prince of Wales Island, Alaska. Ohio State University Department of Civil Engineering, Geotechnical Engineering Report 5: 93.
Yáñez M. I., Cantú I., González H., Uvalle J. I., 2014. Redistribución de la precipitación en tres especies arbustivas nativas y una plantación de Eucalypto del Noreste de México. Tecnología y Ciencias del Agua, vol. V, núm. 2, marzo-abril de 2014, 71-84.
Ziemer, R. R. 1981. The role of vegetation in the stability of forested slopes. Proceedings of the International Union of Forestry Research Organizations, XVII World Congress, 6–17 September 1981, Kyoto, Japan. 1: 297–308.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

INFLUENCIA DE LA POROSIDAD TOTAL EN LA CURVA DE INFILTRACIÓN IN SITU DEL HORIZONTE Ap EN SISTEMA DE LABRANZA INTENSIVA MECANIZADA Y DE CONSERVACIÓN

Guillen-Moreno, J.[1]; Gutiérrez-Castorena, E.V.[1*]; Ramírez-Gómez, G. A[1].; Gutiérrez-Castorena, Ma. del C.[2]; Vázquez-Alvarado, R.E.[1]; Encinia-Uribe, V.V.[1], Carranza de la Rosa, R[1].

[1]Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Gral. Escobedo, Nuevo León, México.
[2]Colegio de Postgraduados, Montecillos, Estado de México, México.

*Autor responsable: edgar.gutierrezcs@uanl.edu.mx; Francisco I. Madero S/N, Hacienda el Canadá, Sin Nombre de Col 17, 66050 Cd Gral. Escobedo, N.L; Tel. +52(81) 83294000 extensión 3515

Resumen

La micromorfología del horizonte Ap y cambios en el flujo de agua tanto en labranza de conservación (LC) como en mecanizada (LM) son útiles para comprender procesos físicos y químicos de los suelos, estos han sido estudiado a nivel mundial y nacional, no obstante, en el noreste de México y específicamente en Nuevo León por ser culturalmente productor pecuario existe poca o nula información de estudios pedogéneticos de suelos destinados a la producción intensiva agrícolas. La presente investigación tiene como objetivo evaluar los cambios micromorfologico (macro y microagregación y su porosidad) relacionada con la tasa de infiltración in situ (carga hidráulica) del horizonte a partir de microfotomosaicos de núcleos inalterados. Se establecieron cinco parcelas experimentales (PE), donde el factor tiempo y manejo fueron variables formativas de la micro y macro agregación y porosidad a caracterizar y cuantificar. Estas se instauraron a partir de la última alteración por labranza en tiempos de 6, 2, ½ años (PE-4, PE-2 y PE-1 respectivamente) sin alteración con manejo de conservación, otra con labranza mecanizada intensiva (LM) y uno en suelo natural (N). Los núcleos inalterados obtenidos de la capa arable en las diversas PE fueron utilizadas para la elaboración de secciones delgada (SD) que posteriormente generaron los microfotomosaicos con un área de (2475 mm^2). Los resultados indican que la Porosidad total (Pt) a profundidad de (0-10 cm) fue mayor en la PE de LM con 26.76%; y menor en las PE´s de LC en PE-4 y N ambas con 14% por una parte y PE-1 y PE-2 con el 13.78% y el 9.54%. Continuando la misma tendencia a profundidad entre 10 y 20 cm con Pt de 23.42% para LM y en LC con 21% tanto en PE-4 como en N y del 1 con 15.07% y 9.30% en PE-2 y PE-1 respectivamente. Por otra parte, la tasa o índice de infiltración en las PE fueron: una con clase moderada en PE-4 con 8.5 cm/hr y N con 6.7 cm/hr; seguida con la clase moderadamente lenta para LM con 3.5 cm/hr y clase baja en LC para PE-2 y PE-1 con 2 cm/hr y 1.75 cm/hr respectivamente. Esta tasa coincidió con otras investigaciones en donde se reportan que la infiltración es mayor en PE con LC plenamente establecidas (> 6 años) debido a la estabilidad de macro y microagregados en comparación a PE con LM donde no tiene una agregación estable, pero mayor a las PE (< 3 años) con menor tiempo en manejo de conservación. Los microfotomosaicos cuantificaron y caracterizaron a escala macro y micro la porosidad y agregación tanto en labranza mecanizada y de conservación concluyendo que fueron más estables el sistema de labranza mecanizada en comparación al de conservación en parcelas menor a 2 años de manejo.

Palabras clave: Micromorfométria, Carga hidráulica, Micro-fotomosaicos de sección delgada.

Introducción

El manejo de la labranza de conservación se ha incrementado en las últimas décadas, esto debido a beneficios económicos y ambientales encaminados a la mitigación de contaminantes por elementos nutrimentales, a la mejora y almacenamiento del carbono orgánico del suelo (COS) y a la reducción de la erosión hídrica producida por escorrentía (Soane *et al*., 2012).

El movimiento del flujo de agua y oxígeno a través de la estructura del suelo está directamente relacionado con la agregación de las partículas y el espacio poroso que según Cameron y Buchan (2006) se clasifican de acuerdo al tamaño, tipo e inter o entre conexión entre ellos, definiéndose como: cryptoporos (0.0074-0.1 µm), ultramicroporos (0.1-5 µm), microporos (5-30 µm), mesoporos (30-75 µm) y macroporos (75-100 µm). Los métodos utilizados para obtener la distribución y tamaño de poro han sido medidos mediante la curva de retención de agua del suelo (Ogunwole *et al*., 2015), porosimetría de mercurio y adsorción de nitrógeno (Hajnos *et al*., 2006), técnicas de análisis de imágenes en 2D (Pires *et al*., 2013; Gutiérrez-Castorena *et al*., 2017) o micro-TC (N. Dal Ferro *et al*., 2014).

Los suelos bajo labranza cero tiene mayor infiltración por su relación y formación de macroporos, los cuales fueron elaborados por la mesofauna del suelo o por raíces de cultivos precedentes (Tebrügge y Düring, 1999). Mientras que suelos bajo labranza mecanizada reportan la mayor porosidad dentro de la capa arable, lo cual da como resultado una mayor infiltración e incremento de la infiltración hasta un 62% (Lipiec *et al*., 2006). Por lo tanto, la labranza mecanizada puede ser un mecanismo para aumentar la infiltración de agua al alterar las capas compactadas en relación al manejo de labranza de conservación. Sin embargo, la práctica de labranza convencional puede reducir la infiltración por la inestabilidad de los agregados y el piso de arado, e incrementa la formación de costras en la superficie, endureciendo al suelo por la ausencia de residuos (Unger, 1992; Blanco *et al*, 2017) o de forma natural por la génesis en zonas áridas y semiáridas.

La diferencia en la infiltración y porosidad del suelo entre los sistemas de labranza pueden diferir inmediatamente al realizar la labranza y decrecer con el tiempo a medida que las partículas del suelo se agregan por la presión de sobrecarga e impactos de gotas (Strudley *et al*., 2008). El objetivo del presente estudio es evaluar los cambios micromorfológicos, hidráulicos y físicos en sistemas bajo 8 años de labranza de conservación y labranza mecanizada intensiva en suelos semiáridos del noreste del estado de Nuevo León.

Materiales y Métodos

El experimento fue llevado a cabo en un suelo con horizontes de diagnóstico cambico (FAO), en el noreste del Estado de Nuevo León (25°52´49´´N, 100°05´12´´O): con precipitaciones medias de 548 mm/anuales, temperatura media anual de 22.1°C, y una evapotranspiración total de 1998 mm/anuales en tierras irrigadas y producción intensiva de nopal verdura y maíz.

Se establecieran parcelas experimentales (PE) con producción intensiva orgánica de 2000 m², con riego por cintilla y fertilización orgánica con gallinaza procesada (Meyfer ®) en cantidades de 2 ton/ha durante los últimos 11 años sin interrupción. El sistema de labranza de conservación se instauró para cuatro tratamientos: PE-1, PE-2, PE-3 y PE-4 en diversos periodos (tiempo) de labranza de

conservación sin mecanización (20/04/2015, 15/11/2013, 5/2/2010, 15/03/2009), estos como punto de partida de cero labranza y producción intensiva del cultivo de nopal verdura; otra parcela con labranza mecanizada (LM) para la producción intensiva del maíz y un testigo del suelo natural sin labranza ni deforestación de la vegetación nativa de la región (N).

Obtención de muestras micromorfológicas, pruebas hidráulicas y físicas.
El muestreo se realizó a diferente profundidad de 0-10 y 10-20 cm con núcleos inalterados de suelo del horizonte Ap para el análisis micromorfológico mediante microfotomosaicos de imágenes secuenciales de realizadas el 20 de febrero del 2015, las cuales fueron colectadas en cajas de acero inoxidable (Kubiëna,- 1923; Fitzparck 1984). La preparación de los núcleos inalterados y posterior obtención de secciones delgadas para el análisis micromorfológico inició con el secado y extracción de la humedad lentamente a temperatura ambiente (4-7 días), posteriormente colocadas en una estufa por 48 h a 50°C (hasta peso constante), con remplazo de la humedad por acetona antes de su impregnación (Kubiëna,-1923; Fitzparck 1984) y obtención de la sección delgada.
Los datos de infiltración fueron determinados por el método de doble anillo (20 cm y 40 cm respectivamente) (Bouwer, 1961). Las pruebas se efectuaron a intervalos de 45 días entre ellas, durante todo un año, dando inicio en el mes de Noviembre y continuando en Enero, Marzo, Mayo. Los anillos se insertaron a una profundidad de 15 cm de profundidad a partir de la superficie del suelo. En cada análisis y toma de infiltración se añadió agua a ambos anillos manteniendo una columna de agua constante durante la medición. Los datos en *in situ* de la tasa de infiltración fueron obtenidos durante un periodo de tres horas registrando la altura del nivel del agua a intervalos de tiempo específico.

Micro-fotomosaicos de secciones delgadas en imágenes de 2D.
El análisis de las imágenes secuenciales de las secciones delgadas fue captado con una cámara fotográfica CANON montada sobre un microscopio petrográfico con diferentes compensador de luz; polarizada plana (PPL), polarizada oscura (XPL) y polarizada compensada (CPL). La metodología de captura y análisis de los microfotomosaicos fue con base a Gutiérrez-Castorena *et al*., (2017).

Resultados y Discusión

Los resultados de macro y microporosidad (Figura 1) a profundidad de 0-10 cm con LM fue: Pt del 26.76% seguido por LC en las parcelas PE-4 y N con 14.47%, 14.37% respectivamente, y en menor porcentaje en PE-1 y PE-2 (13.78% y 9.54% respectivamente). Mientras que a profundidad de 10 a 20 cm la Pt en la LM reportó un 23.42% y en LC en las parcelas PE-4 y N ambas alcanzaron el 21%, seguidos de PE-2, PE-1 (15.07% y 9.30% respectivamente). Por otra parte, tanto la macroporosidad del perfil (MAC-P) como en la microporosidad (MIC-P) en la labranza mecanizada (LM) fue mayor en las dos profundidades en comparación a las parcelas de conservación al paso del tiempo. El índice de filtración (Cuadro 1) en las PE fueron: una con clase de infiltración moderada para PE-4 con 8.5 cm/hr y N con 6.7 cm/hr; seguido de una clase moderadamente lenta para LM con 3.5 cm/hr y por ultimo de clase baja en LC para PE-2 y PE-1 con 2 cm/hr y 1.75 cm/hr respectivamente. Lipiec *et al*. (2006) reportaron que bajo el sistema de labranza mecanizada se observa una mayor porosidad total e infiltración dentro de la capa arable, no obstante, si bien la Pt en LM fue semejante a lo reportado la tasa de infiltración fue menor a las parcelas de LC con seis años en sistema de conservación no así en aquellas menor a dos años de prácticas de conservación, debido a la contribución de los macroporos elaborados por la mesofauna y raíces de los cultivos establecidos.

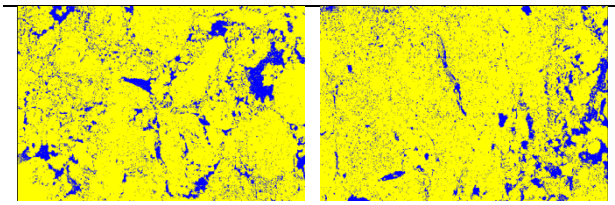
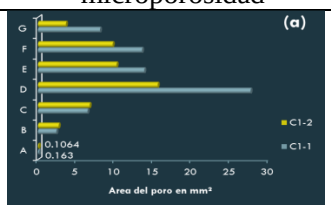
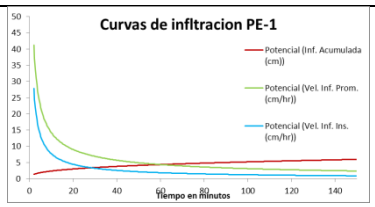
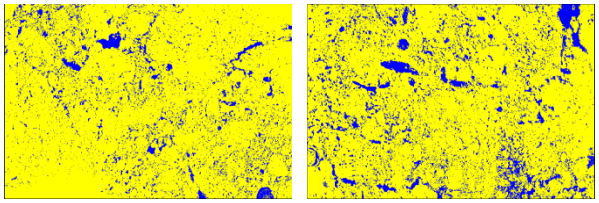
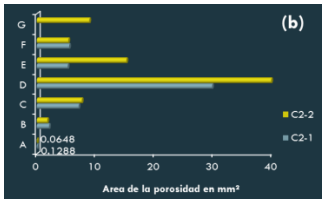
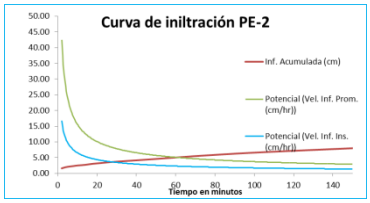
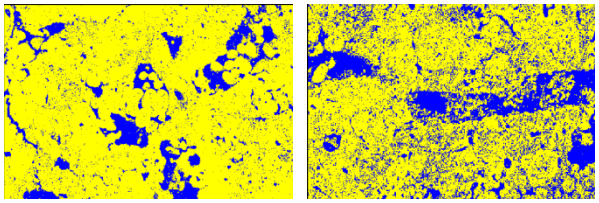
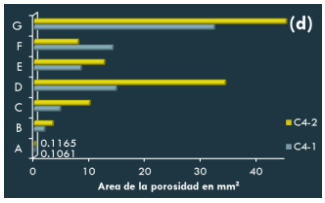
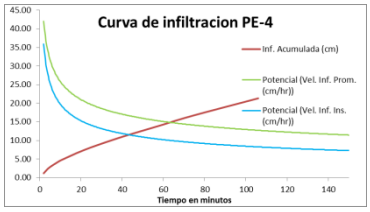
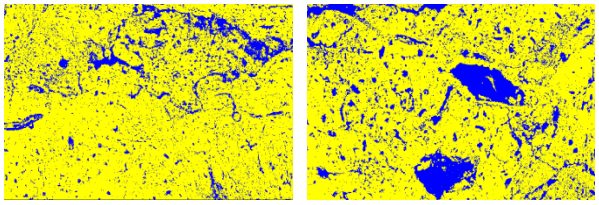
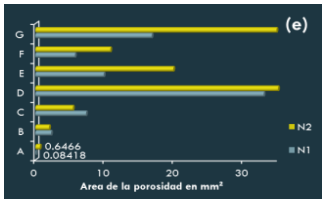
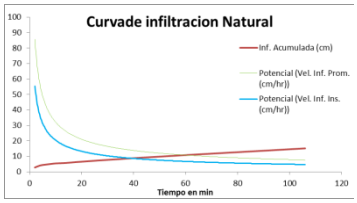
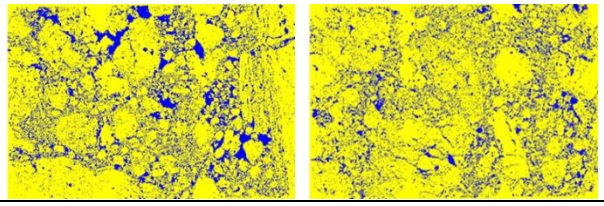
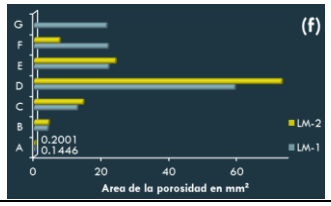
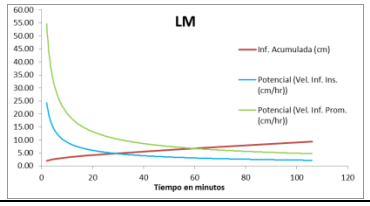
	Micro-fotomosaicos de secciones delgadas		Área de macro y microporosidad	Curvas de infiltración
PE-1				
PE-2				
o PE-4				
N				
LM				

Figura 1. Resultados de microfotomosaicos (macro y microporosidad) y curvas de infiltración. Los microfotomosaicos de los núcleos inalterados y la clasificación supervisadas en un área de 521 mm². Graficas de porosidad: A= ultramicrosporo, B=microporos, C= mesoporo, D= Poros de trasmisión, E= fisuras o bioporos, F=finos, G=Medianos, H=grandes

Cuadro1. Resultados de las muestras de infiltración (Ecuaciones de Kostiakov)

Parcela	*Velocidad de infiltración instantánea*	*Velocidad de infiltración promedio*
Parcela experimental 1	$48.404\ X^{-0.795}$	$65.187\ X^{-0.66}$
R^2 PE-1	0.95	0.99
Parcela experimental 2	$24.923\ X^{-0.582}$	$65.524\ X^{-0.624}$
R^2 PE-2	0.78	0.99
Parcela experimental 4	$46.409X^{-0.369}$	$51.822X^{-0.301}$
R^2 PE-4	0.94	0.97
Labranza mecanizada	$37.131\ X^{-0.609}$	$83.65\ X^{-0.617}$
R^2 PE-LM	0.80	0.99
Parcela Natural	$85.383\ X^{-0.622}$	$130.95\ X^{-0.611}$
R^2 PE-N	0.91	0.99

Conclusiones

El análisis micromorfologico sobre microfotomosaicos de secciones delgadas proporciona información detallada de la cuantificación y caracterización a niveles de escala macro y micro tanto de la agregación como de la porosidad, la cual brinda una idea del flujo del agua en el suelo que se presenta en ella. De manera que el análisis de infiltración *in situ* correlaciona la porosidad total (macro y micro) y agregación con la tasa de infiltración. Prácticas de LC en el estado de Nuevo León durante los primeros 2 años de conservación reduce significativamente la Pt e infiltración, lo cual puede ocasionar un bajo desarrollo radical y problemas hídricos. No obstante, a 6 años de conservación, el horizonte Ap tiende a reportar tasas de infiltración semejante a las características micromorfológicas (macroporosidad, microporosidad y porosidad total) presentes en el suelo natural inalterado.

Referencias

Soane, B.D., Ball, B.C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, f., Roger-estrada, J., 2012. No-till in norte, wester and south-western Europe: a reviw of problems and opportunities for crop producction and the enviroment. Soil Till. Res. 118, 66-87).

Cameron, K.C., Buchan, G.D., 2006. Porosity and pore size distribution. In: Lal, R. (Ed.), Encyclopedia of Soil Science. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 1350–1353.

Ogunwole, J.O., Pires, L.F., Shehu, B.M., 2015. Changes in the structure of a nigerian soil under different land management practices. Rev. Bras. Ciência do Solo 39, 830–840.

Hajnos, M., Lipiec, J., Swieboda, R., Sokołowska, Z., Witkowska-Walczak, B., 2006. Complete characterization of pore size distribution of tilled and orchard soil using water retention curve, mercury porosimetry, nitrogen adsorption, and water desorption methods. Geoderma 135, 307–314.

Lipiec, J., Walczak, R., Witkowska-Walczak, B., Nosalewicz, A., Słowi _nska- Jurkiewicz, A., Sławi _nski, C., 2007. The effect of aggregate size on water retention and pore structure of two silt loam soils of different genesis. Soil Tillage Res. 97, 239–246.

Pires, L.F., Borges, F.S., Passoni, S., Pereira, A.B., 2013. Soil pore characterization using free software and a portable optical microscope. Pedosphere 23, 503–510.

N. Dal Ferro, L. Sartori, G. Simonetti, A. Berti, F. Morari., 2014. Soil macro- and microstructure as affected by different tillage systems and their effects on maize root growth. Soil & Tillage Research 140 55-60.

J, Lipiec., J, Kús., A, Slowińska-Jurkiewicz., A, Nosalewicz., 2006. Soil Porosity and wáter infiltration as influenced by tillage methods. Soil & Tillage Research 89, 210–220.

Unger, 1992. Infiltración de lluvia simulada: sistema de labranza y efectos de residuos de cultivo Sci. Del suelo Soc. A.m. J. , 56 (1992) , pp. 283 – 289.

Humberto Blanco-Canquia, Brian J. Wienholdb, Virginia L. Jinb, Marty R. Schmerb, Leonard C. Kibetc., 2017. Long-term tillage impact on soil hydraulic properties. Soil & Tillage 170, 38-42.

Kubië, W.L.W 1938 Micropedolofy. Collegiate Press, inc. Ames, lowa. 243p.

FitzPatrick, E.A. 1984. Micromorphology of soil. Chapman &Hall, New York

Ma. del C. Gutiérrez-Castorena, E. V. Gutiérrez-Castorena. 2017. Thematic micro-maps of soil components using high-resolution spatially referenced mosaics from whole soil thin sections and image analysis. European Journal of Soil Science.

Bouwer, H. 1961. A doublé tuve method for measuring hydraulic conductivity soil in situ above a water table. Soil Sci. Proc.: 334-339.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

MANEJO AGROECOLÓGICO EN HUERTOS URBANOS DE QUERÉTARO

Villavicencio-Valdez G.V. [1*]; García-Calderón, N.[2]; Fuentes-Romero, E.[2]; Suzán-Azpiri, H.[3]

[1]Universidad Autónoma de Querétaro. Santiago de Querétaro, Querétaro. México.
[2]Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias, Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación-Juriquilla. Santiago de Querétaro, Querétaro. México.
[3]Universidad Autónoma de Querétaro. Santiago de Querétaro, Querétaro. México

*Autor responsable: valvillavi@gmail.com; Calle Circuito San Ignacio Núm. 4-4, Fracc. Santiago, Querétaro, Qro. México. CP 68000; Tel. +52(442)-363-2125

Resumen
La agrodiversidad en un ecosistema perturbado como el urbano puede ser modificada por el manejo. Durante dos años y medio entrevistamos e identificamos a un grupo de 28 productores urbanos en la Ciudad de Querétaro para conocer las condiciones que facilitaban su permanencia en el tiempo. Para ello, caracterizamos su producción hortícola y analizamos las propiedades y morfología edáfica de sus cultivares. Lo anterior nos permite sugerir una asociación potencial del nivel manejo agroecológico y la diversidad de las especies cultivadas. Dentro de una escala de huerto de traspatio, los huertos identificados por su manejo agroecológico comparten un componente diversificador en la dieta de los *urbicultores*. El manejo sostenible de la agrodiversidad ocurre cuando ellos tienen algún conocimiento técnico o intuitivo de la salud del suelo.

Palabras clave: Manejo agroecológico; agrodiversidad; estructura del suelo; propiedades físicas.

Introducción
Debido a la dificultad de entrar al espacio privado de los urbanitas, hasta el momento no existe una caracterización exhaustiva de los huertos urbanos observar similitudes con los huertos de de traspatio periurbanos de Querétaro y comprender que la alta agrodiversidad de los primeros se asocia a su manejo agroecológico. La agrodiversidad presente en las zonas urbanas coincide con investigaciones que contrastan la producción convencional de monocultivos de zonas agrícolas periurbanas versus la alta diversidad en la ciudad asociada al componente cultural detrás del manejo. Se ha demostrado que la asociación intencional de árboles, arbustos y herbáceas dentro de los límites urbanos generan una mayor agrodiversidad que las zonas rurales o periubanas asociadas a dicho núcleo urbano (Nabhan, 2018). Esta capacidad de diversificar la dieta a partir de los gustos culturales de los urbicultores tiene una relación directa con la comprensión de la salud del suelo y con el manejo agroecológico del huerto urbano.
En este sentido, el conocimiento de las propiedades del suelo que influyen profundamente la forma en que los suelos funcionan en un ecosistema y la forma en que pueden ser manejados. Es por ello que la caracterización de los suelos urbanos está generando un renovando interés tanto para científicos que buscan mitigar el impacto de las islas de calor urbanas, como para planeadores que ante la creciente urbanización buscan la posibilidad de diseñar el drenaje pluvial tomando en cuenta las funciones de regulación del suelo.

Materiales y Métodos

La zona de estudio corresponde a la Zona Metropolitana de Querétaro. Localizada al suroeste del estado de Querétaro ((20º 35' 34.8'' N, 100º 23' 31.6'' W) cubre un área de 759.9 km^2 con una población de 1,091,025 personas (INEGI, 2014; National Census, 2010). . Su clima predominante es semiárido con lluvias en verano, una precipitación anual de 549 mm y una temperatura anual promedio de 18 ºC (Soto, 1970). Aproximadamente 90% de las calles en el centro de la ciudad están pavimentadas con cemento y el resto con asfalto (Colunga, 2015). Los terrenos industriales se localizan al norte, este, sureste y suroeste de la ciudad; contribuyendo junto a desarrollistas inmobiliarios a una reciente y gran transformación en los cambios de uso de suelo y crecimiento urbano. La Zona Metropolitana de Querétaro se sitúa en donde convergen los escurrimientos de la cuenca.

Estructura y función de los huertos

La clasificación de la riqueza de especies se evaluó con el Índice de Valor de Importancia (Factor IVI) se determinó por la cobertura de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas. La suma de la cobertura por especie (CE=cobertura relativa (CR) por la densidad relativa (DR) y la frecuencia relativa por especie (FR).

$$IVI = CR+RD+RF*100$$

Características edáficas de los huertos

Se realizó el estudio morfológico de los suelos conforme Siebe et al., (1975) y se identificaron sus propiedades: profundidad, color, textura, pedregosidad, compactación y algunas reacciones químicas para identificar Contenido de Carbonatos, Contenido de Carbono y pH como rasgos diagnósticos de los grupos de suelos.

Productividad de los huertos

Se realizó un inventario de la productividad por metro cuadrado por variedad hortícola en cada uno de los huertos y la base de datos nos permitió clasificar recurrencias hasta formar un global de la productividad promedio por especie.

Resultados y Discusión

La productividad fue considerable entre para el rango de 40 a 70 especies por sitio con un promedio de 5 kg/m^2 (Fig.1), un dato relevante para una zona urbana, semidesértica y con precipitaciones erráticas. La alta agrodiversidad hortícola de hasta 80 variedades por sitio dentro de condiciones de isla de calor urbana y en condiciones xéricas demostraron estar significativamente asociadas al manejo.

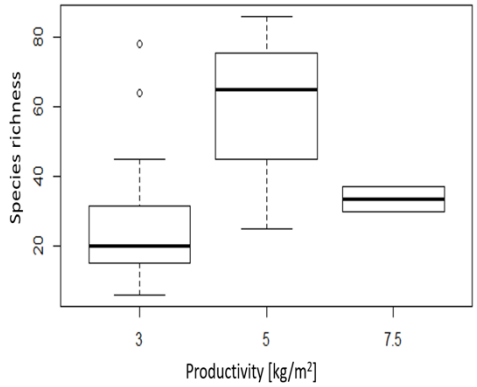
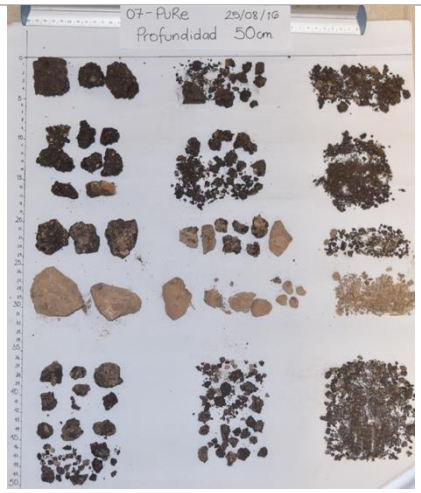
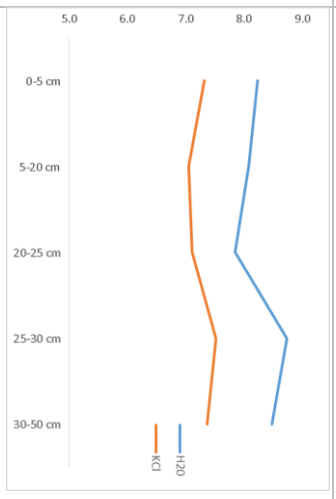


Figura 1. *Descripción de la productividad del suelo de los 28 sitios.*

Cuadro 1. Morfología del perfil del Sitio07, Puerta Real, Corregidora, Qro. Anthrosol Vertic Salic Transportic Urbic (WRB, 2009).

	HorizonteGenético	**Descripción del horizonte en pedones**
	Ap 0-20 cm	Color 5YR 2.5/1 en seco ; Reacción a H_2O_2: 3 Media; CR franco arcillosa; Consistencia: FI firme; Plasticidad: PL plástica; Grado de cementación: C Cementada; Clase de humedad: pF 2; Densidad aparente: 1.11 gr/cm^3. Penetrabilidad 0.50 kg/cm; Porosidad: 4 Alta 15-40%Bioporos: Media 5-15% Pedregosidad: 5 Muy alta >40%; Raíces: Abundancia común y mediana 2-5 mm. Límite C Claro 2-5 cm o con topografía de límite W Ondulado; Contenido de carbonatos K3 Medio.
	B 20-30Bt1	7.5YR-4/4 en seco Reacción a H_2O_2: 4 Media alta; CRA; Consistencia: FI firme; Plasticidad: PL plástica y ligeramente pegajosa; Grado de cementación: C Cementada; Clase de humedad: pF 2; Densidad aparente: 1.11 gr/cm^3; Penetrabilidad 1.00 kg/cm; Porosidad: 4 Alta 15-40%; Bioporos: Alta 15-40%; Pedregosidad: Común 5-15%; Raíces: Abundancia fina 0.5-2 mm. Límite A Abrupto 2-5 cm o con topografía de límite W Ondulado; Contenido de carbonatos k3 (Medio)
	B	7.5YR-8/6 en seco; Reacción a H_2O_2: 4 Media alta; AL arenoso; Consistencia: VFR muy friable; Clase de humedad: pF 1 saturado; Porosidad: 4 Alta 15-40%; Bioporos: Alta 15-40%; Pedregosidad: 5 Muy alta >40%; Raíces: Abundancia fina 0.5-2 mm; Límite A Abrupto 2-5 cm o con topografía de límite W Ondulado; Contenido de carbonatos k4 (Alto)
	B	7.5YR-2.5/1 en seco; Reacción a H_2O_2:4 Media alta; RA arcillo arenoso; Granular; Consistencia: FI firme; Plasticidad: PL plástica y ligeramente pegajosa; Grado de cementación: C Cementada; Clase de humedad: pF 2. Penetrabilidad 2.00 kg/cm. Porosidad: 4 Alta 15-40%; Bioporos: Alta 15-40%; Pedregosidad: C Común 5-15%; Raíces: Abundancia fina 0.5-2 mm; Límite A Abrupto 2-5 cm o con topografía de límite W Ondulado; Contenido de carbonatos CO_3^{2-}= k2 (bajo).

Cuadro 2. Propiedades físicas del sitio 07, Puerta Real, Corregidora, Querétaro.Anthrosol vertic salic transportic urbic (WRB, 2015)

Sitio 07-PuRe	pH 1:2.5 Contraste entre KCl y H20	Estructura	Clase
		Migajón Granular Granular Granular Granular	Fina 5-10 mm Fina 5-10 mm Mediana 10-20 mm Mediana 10-20 mm; Fina 5-10 mm

Las condiciones argílicas volcánicas ricas en carbono (C) permiten que exista una actividad físico-química con alto potencial hortícola, limitado por los regímenes de humedad y dependiente del manejo del agua. La textura del suelo y la mineralogía de arcillas expansivas 2:1 tienen un profundo efecto en el contenido de materia orgánica al promover su estabilización en el largo plazo (Scott et. al, 2002). Refutando el argumento de que las ciudades no son lugares aptos para el cultivo y que resulta mucho más costo-efectiva la importación de alimentos; los 28 urbicultores identificados en Querétaro están dando cuenta del resurgimiento de una práctica ancestral que toma fuerza debido a un cambio en el imaginario colectivo de la relación hombre-naturaleza. El nivel de apropiación de las prácticas de manejo mejora tanto las actividades de diseño y planeación como del manejo cotidiano.

La agrodiversidad varía considerablemente de acuerdo al conocimiento agroecológico y recomendamos el diseño de políticas públicas específicas que permitan readaptar el sistema de *campesino a campesino* que permita dar soporte técnico y científico a las prácticas culturales que están emergiendo en la ciudadEl manejo agroecológico a escala del huerto doméstico mejora las condiciones de fertilidad para el establecimiento de vegetación primaria y con ello favorece tanto la reducción en temperatura de la isla de calor urbana como la restauración paulatina de la conversión de uso de suelo más persistente: el uso urbano.

Conclusiones

La memoria edáfica del matorral crasicaule demuestra que, a pesar de los gustos culturales, a nivel relación vegetación-suelo, los cultivos tienen un mejor desarrollo si se plantan especies pioneras nativas que permiten la infiltración y la retención de suelos. En todos los huertos urbanos, la familia hortícola pionera favorecida es la *Solanacea*, misma que requiere condiciones alcalinas para su

correcto desarrollo radicular. Los Antrosoles estudiados demostraron tener características alcalinas suficientes para el adecuado desarrollo radicular y tener un promedio de productividad de 5kg/m^2 y un rango promedio de 40 a 70 especies por sitio.

Los anthrosoles con características vérticas y con pH alcalino se benefician de la incorporación de C en biocomposta, propios del manejo agroecológico y así mejoran los retos de compactación y el drenaje. La descripción de los suelos identificados y sus características morfológicas nos ayudan a una mejor comprensión de los suelos urbanos en expansión con un incremento pronosticado a 75% de la población total mundial concentrada en ciudades.

Agradecimientos

Agradecemos a los 28 urbicultores que nos permitieron entrar a la privacidad de sus hogares y participaron en la noche de *Urbicultor a Urbicultor* para conversar sobre sus necesidades y retos en el contexto urbano.

Referencias

Alcudia-Aguilar, A., van der Wal, H., Suárez-Sánchez, J. et al. Agroforest Syst (2018) 92: 1329.

Colunga, M. L., Cambrón-Sandoval, H., & Suzán-Azpiri, H. 2015. The role of urban vegetation in temperature and heat island effects in Querétaro city. The role of urban vegetation in temperature and heat island effects in Querétaro city, Mexico. Atmósfera, 28(283), 205–218.

Krasilnikov, P., García-Calderón N, Pogosyan L. (2016) Polygenetic soils of montane cloud forest in Sierra Gorda, Mexico. Geoderma Regional 7:366-375.

Nabhan, G.P., Mabry, J., Johnson, D. and Ferrales C. 2017. Pioneering Affordable Access to Food Biodiversity in Tucson, Arizona, a UNESCO City of Gastronomy. University of Arizona College of Social and Behavioral Sciences, Tucson Arizona.

Scott, N., Tate, K., Giltrap, D., Tattersall Smith, C., Wilde, H., Newsome, P. and Davis, M. (2002). Monitoring land-use change effects on soil carbon in New Zealand: quantifying baseline soil carbon stocks. *Environmental Pollution*, 116, pp.S167-S186.

Soto, M.C., Jauregui, O.E., 1970. Frecuencia y distribución de algunos elementos del clima del Estado de Querétaro. Bol. Inst. Geogr. 3, 103–129 (UNAM).

Torres Guerrero, C. A., M. C. Gutiérrez Castorena, C. A. Ortiz Solorio y E. V. Gutiérrez Castorena. 2016. Manejo agronómico de los Vertisoles en México: una revisión. Terra Latinoamericana 34: 457-466

IUSS Working Group WRB, 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS EN MEDIOS POROSOS NATURALES POR MEDIO DE *PORTABLE DRIP INTROMETER (PDI)*

Puente-Castillo, W.L. [1*], Sarocchi, D., Casabella-González, M.J., Ortiz-Rodríguez, A.J., Borselli, L.,

[1*]Instituto de Geología de la U.A.S.L.P., S.L.P

Resumen

Los parámetros hidráulicos son de importancia fundamental en el modelado hidrológico ya que al obtener información y cuantificación de éstos pueden ser utilizados en la evaluación de áreas de escorrentía e inundación, conectividad, diseño de sistemas de riego, etc. En la actualidad algunas de las metodologías convencionales portátiles perturban las condiciones naturales del suelo dando resultados menos precisos, así como también consumen el tiempo de desarrollo de las pruebas de campo e incluso la cantidad de material utilizado en campo, hacen complicados los ensayos en el lugar. La metodología PDI es una técnica no invasiva de fuente puntual que propone disminuir el tiempo que toma a las pruebas convencionales obtener éstos resultados, los ensayos se llevan a cabo en *in situ*, no perturba las condiciones naturales del suelo, propone estimar la conductividad hidráulica saturada (K_s), *net capillary drive* (G) con valores precisos y en menor tiempo, se basa en la estimación de éstos datos a superficies encharcadas circulares infinitas cuando alcanzan el estado estable con un flujo de agua con descarga constante.

Palabras clave: Parámetros hidráulicos, tiempo, estimación.

Introducción

En la actualidad, los ensayos para poder calcular parámetros hidráulicos que se realizan en campo, son técnicas en las cuales se prolonga el tiempo para llegar a éstos valores, así como también algunas pertuban las condiciones naturales del suelo generando que no se puedan repetir las pruebas en el mismo lugar dando como resultado valores que pierden esa precisión. La metodología de *Portable Drip Infiltrometer (PDI)* (Borselli et *al*., 2013), es una técnica no invasiva de fuente puntual que propone disminuir el tiempo que toma a las pruebas convencionales obtener éstos resultados, los ensayos se llevan a cabo en *in situ*, no interrumpe las condiciones naturales del suelo, propone estimar la conductividad hidráulica saturada (K_s), *net capillary drive* (G) basándose en la estimación de éstos datos a superficies encharcadas circulares infinitas cuando alcanzan el estado estable con un flujo de agua con descarga constante. Este procedimiento proviene de la infiltración por goteo: Point Source Method (Shani y Or, 1995; Al-Jabri, *et al.*, 2002; Asher, *et al.*, 2003; Al-Jabri, *et al*., 2005) y Trickle Irrigation Method (Ekhmaj and Abdulaziz, 2008) (Revol, *et al.*, 1995), las cuales se basan en la teoría de Wooding (1968), para la infiltración en charcos circulares. Estas técnicas proponen una descarga

constante de agua hasta formar un charco que llega a un estado estable y a partir de ese momento pueden determinarse los parámetros hidráulicos con base en el cálculo del radio de la superficie del charco y la densidad de flujo.

Materiales y Métodos

La metodología PDI es una metodología de tipo fuente puntual basada en la ecuación de *Wooding* (1986) (Ecuación 1) que es para infiltración en charcos circulares, donde se estiman parámetros hidráulicos que corresponden a la conductividad hidráulica saturada (K_s), impulso capilar neto (G) y sortividad (S).

Ecuación 1. Ecuación de Wooding:

$$q= Q/\pi r^2=K_s+4*K_s/\pi*\alpha/r_s$$

Donde:

- Q: Velocidad de descarga de la fuente.
- K_s: Conductividad hidráulica saturada.
- r_s: Radio del encharcamiento en estado estable.
- α: Constante relacionada a las propiedades de absorción del suelo y la velocidad de reducción descrita en la matriz de conductividad.

Consiste en liberar un flujo constante de agua en la superficie del suelo, el cual formará un área encharcada y se aplicará este flujo hasta que el charco alcance su estado estable. En este punto los parámetros hidráulicos serán estimados basando el cálculo a áreas infinitas (Ecuación 2 y 3).

Ecuación 2. Densidad de flujo PDI, en la cual se toma en cuenta el déficit del contenido de humedad (ϴ) estimado con el *TDR* (Topp, G.C. *et al.*, 1984, Al-Jabri *et al.*, 2005)

$$q= Q/\pi r^2=K_s+4*K_s/\pi*\Delta\theta/r_s$$

Donde:

- K_s: Conductividad hidráulica saturada.
- G: Impulso capilar neto.
- ϴ: Déficit del contenido de humedad
- r_s: Radio de saturación del charco en el estado estable.

Ecuación 3. Cálculo del déficit de contenido volumétrico del agua θ:

$$\Delta\theta = \theta_{(final)} - \theta_{(inicial)}$$

Donde:

- θ_{final}: Humedad final al término de la prueba.
- $\theta_{initial}$: Humedad al inicio de la prueba.

- **Trabajo de campo:**

Los materiales usados para las pruebas de campo son los siguientes:

- Bombas peristálticas con las descargas siguientes:
  - Bomba 1: 1.56 L/h.
  - Bomba 2 2: 2.71 L/h.
  - Bomba 3: 7.76 L/h
  - Bomba1+bomba 2 + bomba 3:12.05 L/h.
- TDR (Reflector de Dominio de Tiempo)
- Generador de luz
- Escalas numéricas
- Cámara fotográfica
- Pizarrón
- Cronómetro
- GPS
- 1 contenedor plástico de 5 L, el cual proporciona agua a la descarga constante
- 1 contenedor plástico de 10 L, que será usado como suministro de agua del contenedor de descarga constante.

En esta fase desde el inicio de la prueba se toman fotografías a cada dos minutos hasta el fin de ésta. En campo se inicia con la descarga de 1.56 L/h hasta que se observa que la superficie encharcada matiene el mismo tamaño, se considera que se ha alcanzado el estado estable y entonces de aumenta la descarga a una mayor y así consecutivamente hasta que se junten las descargas de las bombas 1, 2 y 3, siendo una descarga de 12.05 L/h.

También en campo es importante determinar el contenido volumétrico inicial del agua en el área elegida a realizar la prueba en sus condiciones naturales el cual se mide con el TDR (Al-jabri *et al*., 2005) por lo tanto también se tomará en el contenido volumétrico final del agua en el área encharcada al terminar la prueba.

- **Trabajo de gabinete**

Los materiales usados en esta etapa son:

- Fotografías tomadas a cada 2 minutos desde inicio a fin de la prueba.
- Computadora para procesamiento de datos.

Fase 1.- Cálculo de áreas de encharcamiento

Cálculo de áreas de encharcamiento de las fotografías tomadas a cada 2 minutos a través de *software LWPC*, con el objetivo de observar el crecimiento del charco a través del tiempo hasta que éste alcance el estado estable.

Fase 2.- Optimización de la evolución de las áreas encharcamiento hasta alcanzar el estado estable

Se hace con el objetivo de estimar a través de algoritmos tipo evolucionario el estado estable teórico a través de las áreas de encharcamiento calculadas con *LWPC.* Esta fase corresponde del ajuste de las áreas de encharcamiento obtenidas a cada dos minutos a una función asintótica (Ecuación 4) al valor máximo teórico que llega el charco al alcanzar el estado estable, por medio de algoritmos de tipo evolucionario (Figura 3).

Ecuación 4. Fórmula de la función asintótitca:

Donde:

- A: Área bajo la curva.
- B: A-B B es la diferencia del área observada inicial - la final
- C: Curvatura de las asíntota.
- t: Tiempo de cada fotografía.

Fase 3.- Optimización para obtención de valores de K_s y G

En esta fase a través de optimización por medio de algoritmos evolucionarios se aplica con el objetivo de ajustar los valores del modelo obtenido con el modelo teórico.

Resultados y Discusión

Tabla 1. Resultados obtenidos de las pruebas de campo

RESULTADOS								
PRUEBA	DELTA Θ	Ks (mm/h)	G (mm)	ESQUELETO = % DE GRAVAS	ARENAS (%)	LIMOS (%)	ARCILLAS (%)	DESCRIPCIÓN
PPR1	0.22	2.1	946.5	16.4	56.2	35.6	8.2	SUELO
PPR2	0.22	3.6	1016.3	20	56.2	35.6	8.2	SUELO
PPR3	0.23	4.6	387.3	16.6	56.2	35.6	8.2	SUELO
PPR4	-	0.17	-	-	-	-	-	ROCAS
PPR4'	-	0.6	-	-	-	-	-	ROCAS
PPR5	-	0.47	-	-	-	-	-	ROCAS
PPR6	0.20	5.3	650.8	13.8	53.8	40.3	5.6	SUELO
PPR7	0.20	3.8	1075.4	16.6	32.1	61.8	6	SUELO
PPR8	0.21	2.6	2000	5.8	68.5	26.9	4.5	SUELO
PPR9	0.23	12.7	78.3	30.7	74	22.8	3.1	SUELO
PPR10	0.18	5.7	1193	44	65.4	31.3	3.1	SUELO
PPR11	0.24	10.8	1019.2	49.6	60.6	33.3	6	SUELO
PPR12	0.27	6.5	2000	3.4	62.5	34.6	2.8	SUELO
PPR13	0.23	3.3	917.3	26.6	60.9	35.1	3.9	SUELO

Conclusiones

Los resultados del refuerzo adicional del suelo proporcionado por raíces (ΔS) para las diez especies analizadas, variaron de 0.02 kN/m^2 en *C. boissieri* a 0.81kN/m^2 en *A. rigidula*, ambas especies del Matorral Espinoso Tamaulipeco. La especie que contribuyó con un mayor refuerzo al suelo fue *A. rigidula* con un promedio de 0.54 kN/m^2.

La relación área de raíz-suelo (RAR) se observó como el factor que más influye en el coeficiente de cohesión adicional proporcionado por las raíces en la ladera. Los resultados de refuerzos para las especies del MET son más altos debido a la gran cantidad de raíces de diámetros pequeños de las especies comparado con lase species del Bosque de Pino-Encino. Esta información es importante para entender la contribución potencial a la estabilización de laderas de la Sierra Madre Oriental en el noreste de México

Referencias

Al-Jabri, S.A., Lee, J., Gaur, A., Horton, R. and Jaynes, D.B., 2005. A dripper-TDR method for in situ determination of hydraulic conductivity and chemical transport properties of surface soils. Advances in water resources, 29: 239-249.

Al-Jabri, S.A., Horton R. y Janes, D.B., 2002, A point source method for rapid simultaneous estimation of soil hydraulic and chemical transport properties: Soil Sci. Soc. Am. J. 66, p. 12-18.

Borselli, L., Puente-Castillo, W.L., Ortiz-Rodríguez, A.J., (2013). Metodología Portable Drip Infiltrometer (PDI) por la medición (no destructiva) en sitio de parámetros hidráulicos del suelo: Saturated conductivity (Ks) y net capillary drive (G): GEOS, Vol. 33, No.1, pag. 291.

Borselli, L., Torri, D., Poesen, J. and Iaquinta, P., 2012. A robust algorithm for estimating soil erodibility in different climates. Catena, 97: 85-94.

Ekhmaj, A.I. and Abdulaziz, A.M., 2008. Trickle irrigation as a simple tool to estimate saturated hydraulic conductivity, Twelfth International Water Technology Conference,, Alexandria, Egypt, pp. 665-673.

Or., D., 1995, In situ method for estimating subsurface unsaturated hydraulic conductivity: Water Resources Research, Vol. 31, No. 8., pages 1863-1870.

Revol, P., Clothier, B.E., Kosuth, P., Vachaud, G., 1995, The free-water pond under a trickle source: a field test of existing theories: Irrig. Sci, 16: pages 169-173. Springer-Verlag

Shani, U., Or., D., 1995, In situ method for estimating subsurface unsaturated hydraulic conductivity: Water Resources Research, Vol. 31, No. 8., pages 1863-1870.

Smith, R.E., Parlange J.Y., A parameter-efficient Hydrologic infiltration model: Water Resources Research, Vol. 14, No. 3, pages 533-538.

Topp, G.C., Davis, J.L., Bailey, W.G. and Zebchuk, W.D., 1984. The measurement of soil water content using a portable TDR hand probe. Can. J. Soil Sci, 64: 313 - 321.

Vieux, B.E., 2004, Distributed hydrologic modeling using GIS: Kluwer Academic Publishers, book, second edition, volume 48, pag. 105-106.

Wooding, R.A., 1986. Steady Infiltration from a Shallow Circular Pond. Water Resources Research, 4(6).

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

USO DE MODELO EPIC PARA ESTIMAR LA PÉRDIDA DE NITROGENO Y FÓSFORO DEL MAÍZ DE TEMPORAL EN LA CIÉNEGA DE JALISCO, MÉXICO

Flores-López, H.E.[1]; De La Mora-Orozco, C.*[1]; López-Hernández, S.O.[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Tepatitlán de Morelos, Jalisco. México.
[2]Instituto tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez. Campus Arandas, Arandas, Jalisco. México.

*Autor responsable: delamora.celia@inifap.gob.mx; Av. Biodiversidad # 2470, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. CP 47600; Tel. +52(01800)-088-2222 ext. 84513

Resumen

El maíz de temporal en México es el cultivo con mayor superficie de siembra y rendimiento promedio 2.26 t ha^{-1}. Jalisco resulta el estado con mayor superficie sembrada con maíz del orden de 565,486 ha y un rendimiento promedio de 5.37 t ha^{-1} (SIAP-SAGARPA, 2018). En Jalisco destaca la región Ciénega con una superficie de siembra cercana a 25% y el rendimiento de grano de 7.33 t ha^{-1}. Estos rendimientos implican utilizar grandes cantidades de fertilizantes, del orden de 228 unidades nitrógeno amoniacal, 23 unidades de nitrógeno nítrico y 23 unidades de fosforo, productos que se aplican con mínimo control produciendo baja eficiencia de uso con las prácticas de manejo actuales, tornándose importante fuente de contaminación difusa que provocan deterioro del suelo y del agua superficial. La necesidad de una valoración del impacto al ambiente hizo necesario evaluar si el manejo actual de los fertilizantes en el maíz de la zona es inadecuado, por lo que el objetivo del estudio fue estimar las pérdidas de este insumo hacia las aguas subterráneas y aguas superficiales, generadas con la aplicación de fertilizantes químicos en el maíz, mediante el modelo de simulación Erosion-Productivity Calculator Impact (EPIC). Los resultados muestran que la mayor proporción de pérdida de nitrógeno ocurrió como lixiviación profunda (PRKN) con 54 kg N/ha, seguido de nitrógeno orgánico adsorbido al sedimento (YON) con 48 kg N/ha y en el escurrimiento superficial como nitratos (YNO_3) 7 kg NO_3/ha. En el flujo subsuperficial (SSFN) la pérdida de nitrógeno fue de 0.018 kg N/ha. Con respecto a la pérdida de fósforo, la mayor cantidad fue adsorbida al sedimento (YP) con 12 kg P/ha y como fósforo disuelto en el escurrimiento superficial (YAP) 0.037 kg P/ha. Con lixiviación profunda (PRKP) 0.14 kg P/ha.

Palabras clave: Modelo de Simulación (MS), Erosion-Productivity Calculator Impact (EPIC), Horizonte superficial Ap, Materia Orgánica (MO), Sistema de Producción de Maíz.

Introducción

El modelo EPIC se ha convertido en un instrumento para describir con elevado grado de exactitud el rendimiento de cultivos con rotaciones complejas, manejo de los efectos de fertilización, el incremento de CO_2 y temperatura en la atmósfera, con sus variaciones en el uso de agua de lluvia o riego, el crecimiento de plantas, el ciclo de nutrimentos N y P en forma química e inducida con fertilizantes, la función de residuos de cosecha, y los cambios de densidad del suelo, labranza, erosión y lixiviación, es por esto que resalta la importancia de su aplicación para la evaluación del impacto ambiental de la agricultura convencional y así poder dar erradicar estos efectos negativos. La preocupación hacia esta problemática reside principalmente en que existe un enfoque hacia el incremento de la producción agrícola, anulando cualquier relación de la misma hacia el medio ambiente; por consecuencia la

agricultura se dirige hacia una visión insostenible. En este contexto, la agricultura es una actividad constituida por cuatro componentes a escala de sitio: el clima, el suelo, el cultivo y el manejo tecnológico del agricultor sobre estos tres componentes (California, 2013). Es de particular importancia la dependencia que tiene la agricultura del clima, por su alta sensibilidad al cambio climático global y variabilidad climática, razón que hace esencial entender las interacciones entre el cambio climático y la producción agrícola para el desarrollo estable de la sociedad (Hui *et al*., 2013). Sin embargo, esta misma actividad junto con la industria y urbanización, emiten gases con efecto invernadero contribuyendo de manera significativa al calentamiento global y cambio climático, con incremento de la temperatura mundial de 0.74 °C de 1906 hasta 2005 (IPCC, 2007).

El cambio climático tiene una influencia ambivalente en la agricultura, de manera que mientras aumenta las temperaturas medias y contenido de CO_2 atmosférico, el resultado supone un aumento de los rendimientos (Farina *et al*., 2011), pero también menor cantidad de precipitación durante el verano y la creciente variabilidad de la precipitación y patrones de lluvias, así como mayor evapotranspiración y cantidades de vapor de agua en la atmósfera con serias implicaciones en el ciclo hidrológico global.

El recurso hídrico se ve afectado por el fenómeno de eutrofización, el que se relaciona directamente con las concentraciones de nitrógeno (N) y fósforo (P) en el agua contribuyentes al deterioro de la calidad del recurso hídrico. El N y el P producen afectaciones más significativas a este recurso durante los períodos de elevadas precipitaciones. En este período de mayor escorrentía superficial, estos elementos incorporados a la carga sedimentaria, producto de la erosión de los suelos, y aportados por los fertilizantes y plaguicidas utilizados en la agricultura, se transportan a los cuerpos de agua. (Espósito *et al*., 2016).

Los MS funcionan básicamente con parámetros que desarrollan procesos individuales de simulación estudiados experimentalmente en campo o con pruebas de laboratorio. El proceso de estimación y recolección de esos parámetros es conocido como parametrización; estos parámetros intervienen en múltiples procesos los cuales no pueden ser estudiados independientemente en experimentos aislados; a este proceso se le conoce como calibración del modelo Una vez que se ha realizado la calibración y el análisis de sensibilidad del MS, es preciso recurrir al proceso de validación, para identificar y corregir distintos aspectos del modelo que puedan distorsionar y apartar de la realidad las predicciones efectuadas, logrando la simulación adecuada del crecimiento, el desarrollo o el rendimiento, definiendo un ajuste a lo que acontece en el campo. El objetivo del presente estudio fue estimar la pérdida de nitrógeno y fósforo del maíz de temporal de la Ciénega de Jalisco, México, a través del modelo EPIC.

Materiales y Métodos

Clima y suelo del área de estudio. El área de estudio se localizó en la Barca, Jalisco. La temperatura máxima y mínima promedio anual de la Barca, Jalisco, es de 28.6 y 11.7°C, respectivamente, con una lluvia promedio de 744 mm anuales. El pH promedio de las tierras en estudio fue de 5.1, con materia orgánica de 2.1%. La unidad de suelo FAO de los sitios en estudio fue Vertisol pélico.

El manejo del sistema de cultivo de maíz. Se obtuvo la información de manejo de cada uno de los 22 predios cultivados con maíz de temporal durante el ciclo 2010 en la Barca, Jalisco. La característica sobresaliente del sistema de cultivo se destaca que la superficie promedio sembrada por productores de maíz es de 4.7 ha, el 98% de los mismos utilizan híbridos, 1% variedades y el resto semilla criolla. El 59% de las parcelas de maíz son de temporal y 41% de riego. El 10.5% de los productores de maíz utilizan labranza de conservación que consiste en la mínima realización de actividades de preparación del suelo, el 26.5% emplean labranza mínima que incluye subsoleo, nivelación y surcado, y el 63%

de los agricultores continua con la labranza de conservación. El 59% de los productores incorporan residuos de cosecha bajo un esquema de mínima labranza. En la aplicación de nitrógeno, del total de agricultores, el 60% aplica menos de 100 unidades de N, 31% de 100 a 200 unidades y el resto más de 200 unidades. Únicamente el 2% aplica algún tipo de fertilizante orgánico. La cosecha del maíz se realiza desde el 10 de noviembre al 13 de diciembre, con trilladora mecánica y destino a comercialización. El rendimiento de grano en riego varió de 9 a 12 t/ha y para temporal de 3 a 6 t/ha.
Bases de datos de clima para el modelo EPIC. SE utilizó la serie histórica de clima de la estación La Barca, para el periodo 1961 a 2009. Con estos datos se obtuvieron parámetros del generador climático del modelo EPIC. Se requirió los registros diarios de temperatura y precipitación de la misma estación para el año 2010, en que se realizó el estudio.
Bases de datos de suelo para el modelo EPIC. La información del suelo procedió de dos fuentes, una correspondió a dos perfiles de suelo que tiene disponible INEGI de la zona y otra los análisis físicos y químicos del suelo de los 30 cm superficiales, realizados en el 2010 en los 22 predios en con maíz donde se realizaron encuestas. Para cada predio, se utilizó el perfil de suelo disponibles más cercano y en el cual se sustituyó el horizonte superficial (Ap) por los resultados de análisis de suelo de ese predio
Utilización del modelo EPIC. Se utilizó la versión 5125 del modelo EPIC. Se hizo uso de la calibración y validación del modelo realizada por Flores *et al*. (2009).
Análisis de información. Con los resultados de la simulación de 22 sistema de cultivo de maíz, el análisis de esta información se llevó a cabo mediante estadística descriptiva, ya que el desarrollo de inferencias fue facilitado mediante la recolección y análisis de datos que esta técnica posee.

Resultados y Discusión

El manejo del maíz para el ciclo 2010 en los 22 predios estudiados, implicó la aplicación promedio de fertilizante del orden de 228 unidades nitrógeno amoniacal, 23 unidades de nitrógeno nítrico y 23 unidades de fosforo,
Con base en la información obtenida, se identifican 2 dos zonas contrastantes con valores de nitrógeno y fosforo aplicados; una es la zona de San José Casas Caídas en la que el fertilizante utilizado fue solo urea, y la forma del nitrógeno aplicado es amonio con un promedio de aplicación de 228 unidades. Por su parte en Condiro, Portezuelos y Los Ángeles, donde se utiliza fertilizante con nutrientes basados en amonio, nitratos y fosforo, con 36 unidades en forma de nitrato, 196 unidades de amonio y 36 unidades de fosforo lábil. El resultado de esta práctica de manejo también mostró resultados relevantes en el rendimiento en grano, puesto que en la zona de San José Casas Caídas el rendimiento promedio es de 11,208 kg/ha, mientras que en la zona de Condiro, Portezuelos y Los Ángeles, el rendimiento fue de 9,303 kg/ha.
Los resultados de la simulación del sistema de maíz para la pérdida de N y P se muestran en el Cuadro 1. En este cuadro se muestra la pérdida de nitrógeno orgánico estimada en el sedimento y en forma de nitratos, además de fósforo, por procesos de percolación, adsorción al sedimento, en el flujo subsuperficial y en el escurrimiento superficial. Los resultados mostraron que la mayor proporción de pérdida de nitrógeno ocurrió como percolación profunda (PRKN) con 54 kg N/ha, seguido de nitrógeno orgánico, adsorbido al sedimento (YON) con 48 kg N/ha y en el escurrimiento superficial como nitratos (YNO_3) 7 kg NO_3/ha. En el flujo subsuperficial (SSFN) la pérdida de nitrógeno fue muy baja del orden de 0.018 kg N/ha. Con respecto a la pérdida de fósforo, la mayor cantidad fue adsorbida al sedimento (YP) con 12 kg P/ha y cantidades muy bajas como fósforo disuelto en el escurrimiento superficial (YAP) con 0.037 kg P/ha y como percolación profunda (PRKP) 0.14 kg P/ha. El contenido promedio de N en el grano de maíz (YNL) fue de 127 kg N/ha, con 4 días de estrés

por falta de N y ningún día de estrés por los factores incontrolables involucrados el proceso de salida del N del suelo.

Cuadro 1. Estimación de la pérdida de nitrógeno y fósforo disueltos en el escurrimiento superficial, en el flujo subsuperficial y lixiviados fuera del área de raíces y/o adsorbidos a los sedimentos, y los días con estrés por falta de nitrógeno, con el modelo de simulación EPIC para el cultivo de maíz en predios de La Barca, Jalisco, durante el ciclo de lluvias del 2010.

ID	LOCALIDAD	YON* kg/ha	PRKN* kg/ha	YNO_3* kg/ha	SSFN* kg/ha	YP* kg/ha	PRKP* kg/ha	YAP* kg/ha	YLN* kg/ha	Estrés No. días
1	Condiro	23	17	7	0.01	9	0.12	0.06	131	17
2	Sn José Casas Caídas	30	49	10	0.02	8	0.18	0.04	136	12
3	Sn José Casas Caídas	31	16	3	0.01	11	0.04	0.03	127	0
4	Sn José Casas Caídas	31	11	3	0.01	11	0.02	0.03	135	0
5	Sn José Casas Caídas	20	42	6	0.01	8	0.18	0.07	131	34
6	Sn José Casas Caídas	19	37	8	0.02	8	0.15	0.07	143	0
7	Sn José Casas Caídas	35	44	8	0.02	11	0.13	0.04	131	0
8	Sn José Casas Caídas	27	15	9	0.02	7	0.04	0.04	169	0
9	Sn José Casas Caídas	24	35	19	0.02	9	0.16	0.06	127	0
10	Portezuelos	47	37	3	0.01	12	0.21	0.03	76	9
11	Portezuelos	52	20	2	0.01	14	0.05	0.03	157	0
12	Los Ángeles	65	83	3	0.02	14	0.12	0.03	139	0
13	Los Ángeles	57	66	9	0.02	12	0.13	0.03	133	0
14	Portezuelos	83	110	4	0.02	17	0.21	0.03	121	1
15	Los Ángeles	59	57	5	0.02	14	0.16	0.03	124	6
16	Portezuelos	63	122	14	0.03	15	0.19	0.03	124	0
17	Portezuelos	56	69	15	0.02	14	0.22	0.02	111	0
18	Portezuelos	73	50	4	0.02	14	0.15	0.03	113	0
19	Portezuelos	65	49	4	0.01	14	0.19	0.03	104	0
20	Portezuelos	67	65	4	0.02	15	0.22	0.03	106	0
21	Portezuelos	56	61	4	0.02	13	0.14	0.04	124	7
22	Condiro	69	123	4	0.03	15	0.17	0.03	127	0
	PROMEDIO	**48**	**54**	**7**	**0.02**	**12**	**0.14**	**0.04**	**127**	**4**

YON=Pérdida de nitrógeno orgánico con sedimento (kg N/ha), PRKN=Percolación de N (kg N/ha), YNO_3=Pérdida de nitratos con el escurrimiento superficial (kg NO_3/ha), SSFN=Pérdidas de nitrógeno mineral en el flujo subsuperficial (kg N/ha), YP=Pérdida de fósforo con el sedimento (kg P/ha), PRKP=Percolación de P (kg P/ha), YAP=Pérdida de fósforo soluble con escurrimiento superficial (kg P/ha), YLN=Nitrógeno en el grano producido (kg N/ha).

Conclusiones

Se estima una pérdida de nitrógeno de 109.018 kg N/ha de un total aplicado de 251 kg N/ha lo que representa un 43% de pérdida y de fósforo la pérdida es de 12.177 kg P/ha de un total

aplicado de 23 kg P/ha, que representa un 52.94%. Estos resultados identifican problemas de eficiencia en el uso de fertilizantes con origen en el uso de prácticas agrícolas intensivas basada en el uso de altos insumos para lograr altos rendimientos. La consecuencia que conllevan a la degradación de los recursos naturales, por la búsqueda de altos rendimientos en maíz, que aunque este manejo conduce a un crecimiento económico en el sector primario. Sin embargo, los medios para lograrlo dañan el equilibrio existente del medio ambiente. Parte de la solución radica en la dosificación correcta de N y P, con el producto adecuado para evitar la lixiviación y disueltos en el escurrimiento superficial, además de la aplicación en el momento y lugar adecuado. El análisis de impacto ambiental generado por la aplicación de los fertilizantes, permitió identificar que el lavado de nitrógeno fuera de la zona radical de la planta con destino a las aguas subterráneas es el principal problema que se encuentran en los Sistemas de Producción de Maíz (SPM) de la Barca, Jalisco.

Referencias

California, B.U. 2013. La Agricultura Moderna: Impactos Ecológicos y la Posibilidad de una Verdadera Agricultura sustentable.

Espósito, M. E., Blanco, M., Sequeira, M. E., Paoloni, J. D., Fernández, S. N., Amiotti, N. M., & Díaz, S. L. (2016). Contaminación natural (As, F) y eutrofización (N, P) en la cuenca del arroyo El Divisorio, Argentina. Phyton (Buenos Aires), 85(1), 51-62.

Farina, R., G. Seddaiu, R. Orsini, E. Steglich, P.P. Roggero and R. Francaviglia. 2011. Soil carbon dynamics and crop productivity as influenced by climate change in a rainfed cereal system under contrasting tillage using EPIC. Soil Tillage Res. 112:36-46.

Figueroa, S. B., O.A. Amante, T.H.G. Cortés, L.J. Pimentel, C.E.S. Osuna, O.J.M. Rodríguez y F.F.J. Morales. 1992. Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. SARH-Colegio de Posgraduados. Salinas, S. L. P., México. 150 p.

Flores, L.H.E., M.J. Ireta, D.J.F. Pérez, C.J.A. Ruíz y M.P. Díaz. 2009. Identificación de Buenas Prácticas Agrícolas para reducir la degradación del suelo e incrementar la calidad del agua: Metodología aplicada en la cuenca hidrográfica El Jihuite. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. Libro científico Núm.1. 155 p.

Flores, L.H.E., M.R. Paredes, G.J.M. Ruvalcaba, O.C. De La Mora, D.J.F. Pérez y M.J. Ireta. 2011. Metodología para la evaluación del valor agregado del programa de maíz de alto rendimiento (PROEMAR) 2010 en Jalisco y Guanajuato. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco. México. Libro técnico Núm. 2. 162 p.

Hui, J., L. Er-da, T. Wheeler, A. Challinor and J. Shuai. 2013. Climate change modelling and its roles to chinese crops yield. J. Int. Agric. 12(5):892-902.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Climate change 2007: mitigation of climate change. Contribution of working group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Metz, B.; Davidson, O.; Bosch, P.; Dave, R. and Meyer, L. (Eds.). Cambridge University Press, UK and USA. 851 p.

Izaurralde, R.C. J.R. Williams, W.B. McGill, N.J. Rosenberg and J.M.C. Quiroga. 2006. Simulating soil C dynamics with EPIC: Model description and testing against long-term data. Ecol. Modelling. 192:362-384.

SIAP-SAGARPA. 2018. ANUARIOS AGROPECUARIO. [en línea] enero de 2018 . Disponible para World Wide Web: https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DEL SUELO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA EL JIHUITE, DE TEPATITLAN, JALISCO

Flores-López, H.E.[1]; Hidalgo-Moreno, C.[2]; De La Mora-Orozco, C.[*1]; Yee-Madeira, H.[3]; Villaseñor-Alfaro, L.[4]

[1]**Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, agrícolas y Pecuarias, Tepatitlán de Morelos, Jalisco. México.**
[2] **Colegio de Posgraduados. Campus Montecillo, Texcoco, México.**
[3]**Laboratorio de Espectroscopía Mössbauer y Técnicas Complementarias. Departamento de Física de la Escuela Superior de Física y Matemáticas. Instituto Politécnico Nacional. México, D.F.**
[4]**Instituto tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez. Campus Arandas, Arandas, Jalisco. México.**

*Autor responsable: delamora.celia@inifap.gob.mx; Av. Biodiversidad # 2470, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. CP 47600; Tel. +52(01800)-088-2222 ext. 84513

Resumen

En México un gran número de cuerpos de agua presentan problemas de eutrofización. Este es el caso de la presa El Jihuite, en Tepatitlán, Jalisco, reservorio que suministra agua a un tercio de esta población. La mayoría de los contaminantes proceden de los terrenos agrícolas circundantes, ya que en la temporada de lluvia los contaminantes son transportados y eventualmente depositados en los cuerpos de agua. En esta zona predominan los Alfisoles con abundancia de óxidos de Fe, sin embargo, existe poca información detallada de ellos y otros minerales presentes. El objetivo del presente estudio fue identificar los minerales presentes en el alfisol en la cuenca hidrográfica El Jihuite en Tepatitlán de Morelos, Jalisco. La identificación de los minerales se realizó en muestras de suelo obtenidas en terrenos donde se realizan actividades agrícolas. La caracterización mineralógica se llevó a cabo mediante tratamientos químicos de disolución selectiva, difracción de rayos X, espectroscopia Mössbauer y espectroscopia infrarroja. Los resultados del análisis mineralógico demostraron la presencia de ferrihidrita, magnetita, hematita, maghemita, goethita y la arcilla silicatada caolinita, y otros óxidos de Fe.

Palabras clave: Óxidos de Fe; disolución selectiva; difracción de rayos X; espectroscopia Mössbauer; espectroscopia infrarroja.

Introducción

La concentración de nitrógeno y fósforo en el agua son parámetros importantes para el proceso de eutrofización, donde el P es el nutriente limitante. De acuerdo con Ramírez *et al*. (1996), la presa El Jihuite, localizada en Tepatitlán de Morelos, Jalisco presenta esta condición. El P que es acarreado de las zonas agrícolas y pecuarias en la temporada de lluvias a través de la erosión hídrica, aporta importantes cantidades de P al cuerpo de agua (Flores-López *et al*., 2009). Además de la cantidad de P, el tipo de minerales presentes en el suelo juegan un papel importante para el transporte de las partículas de P por la erosión hídrica, ya que la afinidad de los minerales, con las partículas de P determina los mecanismos de absorción (Haygarth y Jarvis, 1999).

En la cuenca hidrográfica El Jihuite, los Luvisoles férricos representan más del 60% de las unidades cartografiadas, las que están correlacionadas con los Alfisoles (Porta *et al.*, 1999). Los alfisoles contienen abundancia de óxidos de Fe (Liu *et al*., 2002) y análisis preliminares mencionan la presencia de hematita y goethita, además de caolinita (INEGI, 1994), pero con poco detalle de los minerales presentes y su asociación con el P, sin embargo, esta información es primordial para explicar los procesos fisicoquímicos de absorción de P. En la cuenca hidrográfica El Jihuite, los Luvisoles férricos representan más del 60% de las unidades cartografiadas (CETENAL, 1974), las que están correlacionadas con los Alfisoles (Porta *et al.*, 1999). Los alfisoles contienen abundancia de óxidos de Fe (Liu *et al*., 2002) y análisis preliminares mencionan la presencia de hematita y goethita, además de caolinita (INEGI, 1994). La identificación de los óxidos de Fe puede realizarse mediante tratamientos químicos de disolución selectiva, utilizando Ditionito-Citrato-Bicarbonato (Fe_{DCB}) para extraer Fe amorfo, orgánico, inorgánico y cristalino, y mediante oxalato ácido de amonio (Fe_{OX}) para extraer Fe amorfo, orgánico e inorgánico (Kämpf *et al*., 2000).

Kämpf *et al*. (2000) mencionaron que la proporción Fe_{OX}/Fe_{DCB} permite cuantificar la proporción de las fracciones más y menos activas, pero una alta proporción de Fe_{OX}/Fe_{DCB} y la pérdida de color rojizo después del tratamiento con oxalato es un indicador de la presencia de ferrihidrita en la muestra; también señalaron que esta proporción es un indicador del grado de sorción de P al mineral y la disminución de la proporción Fe_{OX}/Fe_{DCB} representa un incremento en la cristalinidad por minerales como goethita y hematita (Torrent *et al*., 1980). Parfitt y Childs (1988) mencionaron que la estimación del porcentaje de ferrihidrita se puede hacer con el coeficiente 1.7 multiplicado por el Fe_{OX}. La diferencia entre (Fe_{DCB} - Fe_{OX}) expresa el grado de cristalinidad de los óxidos de Fe (Childs *et al*., 1991).

Otras técnicas para caracterizar los óxidos de Fe y minerales arcillosos es la difracción de rayos X (DRX), la cual da una idea de la cristalinidad del mineral (Wilson, 1987) y la espectroscopia Mössbauer, técnica que además permite identificar y caracterizar óxidos de Fe. Otro método es la espectroscopia infrarroja, el cual es un procedimiento rápido y versátil que permite suministrar información sobre la estructura y composición de las características de minerales arcillosos.

La identificación y cuantificación de los minerales presentes en el suelo en el campo experimental centro altos de Jalisco localizado en la cuenca hidrográfica El Jihuite es el primer paso para entender el comportamiento de sus componentes e interacciones para así, diseñar Buenas Prácticas de Manejo junto con otras características de los sistemas agrícolas, que permitan reducir la eutrofización de los cuerpos de agua superficiales. El objetivo de este estudio fue la caracterización mineralógica de los suelos en el campo experimental centro altos de Jalisco, cultivados con agave tequilana Weber, pastos y maíz, a través de difracción de rayos X (DRX), espectroscopia Mössbauer y espectroscopia infrarroja.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el Campo Experimental Centro Altos de Jalisco del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, en Tepatitlán, Jalisco. El clima es templado subhúmedo, con 869 mm de lluvia anual y 16.7 °C de temperatura promedio anual. El suelo se clasifica como mezcla fina isotérmica, Udic rhodustalf (INEGI, 1994). Las muestras del suelo se obtuvieron de un suelo sin cobertura vegetal. Las muestras se recolectaron de los 10 cm superficiales. Se realizó la separación de las fracciones del material en el suelo para obtener arena (aprox. > 50 µm), limo (2-50 µm) y arcilla (< 2 µm). Se utilizaron 20 g de muestra con agua destilada y se le dio tratamiento con ultrasonido para posteriormente pasar a tamíz malla 270 para obtener el material

grueso (mayor a los 53.3 µm).
La caracterización mineralógica del suelo se realizó mediante tratamientos químicos de disolución selectiva, difracción de rayos X (DRX), espectroscopia Mössbauer y espectroscopia infrarroja.

Tratamientos químicos de disolución selectiva. El tratamiento químico para evaluar los óxidos de Fe poco cristalinos o amorfos con oxalato ácido de amonio (FeOX) fue mediante el método de Blakemore *et al.* (1987) y descrito por van Reewijk (1999); para evaluar las formas de Fe "libres" y compuestos de Fe cristalinos se utilizó Ditionito-Citrato-Bicarbonato (FeDCB), con el método de Mehra y Jackson (1960) y descrito por van Reewijk (1999). El contenido de Fe se cuantificó con espectroscopía de absorción atómica.

Difracción de rayos X (DRX). Para caracterizar los minerales primarios y minerales de hierro presentes en suelo, se obtuvieron difractogramas en un equipo *Brucker Advance D-8*. Se utilizó un tubo de rayos X con ánodo de cobre, radiación blanca incidente en la línea de K_α, longitud de onda de 1.5406Å y una penetración de barrido de 26µ, equipado con un monocromador secundario de grafito.

Espectroscopia Mössbauer. En la espectroscopia Mössbauer se utilizó una muestra de suelo en polvo. Se utilizó un espectrómetro de efecto Mössbauer WISSEL y GMBH en las medidas por el método de transmisión. La fuente empleada fue cobalto 57 (aproximadamente 10 mCi) difundido dentro de una chapa de rodio (matriz) (Amersham). El espectrómetro Mössbauer WISSEL fue operado en un modo de aceleración constante.

Espectroscopia infrarroja. Se utilizó suelo molido finamente sin materia orgánica, y mezclado con KBr en una proporción KBr:sedimento de 1:5. Los espectros se obtuvieron en un espectrofotómetro IR marca Nicolet con transformada de Fourier y empleando la técnica de reflectancia difusa. El corrimiento del espectro se realizó en la región del infrarrojo medio (MIR) de 4000 a 400 cm^{-1}.

Resultados y Discusión

Tratamiento químico de disolución selectiva. Después de extracciones selectivas de hierro con Ditionito (Fe_{DCB}) y Oxalato (Fe_{OX}), los resultados mostraron que el Fe_{DCB}, es estadísticamente diferente en todas las fracciones, con 9.91 % Fe en la arcilla, 5.90 % Fe en el limo y 3.70 % Fe en la arena. Sin embargo, con Fe_{OX}, el porcentaje obtenido para la fracción arcilla es similar a la fracción arena, con 6.32 % Fe y 6.46 % Fe, respectivamente.
Se observó que la fracción de limo tiene el mayor contenido de Fh (22.83 %), respecto a las fracciones arena (10.98 %) y arcilla (10.74 %). Respecto a la proporción $Fe_{OX}/Fe_{DCB,}$ Schwertmann (1988) mencionó un factor muy importante que inhibe la cristalización de los óxidos de Fe es la interacción con el carbón orgánico del suelo (C_{org}), donde altos contenidos de C_{org} (más de 2%) generan una proporción de Fe_{OX}/Fe_{DCB} mayor de 0.5 y presencia de Fh, pero cuando el C_{org} disminuyó, la proporción de Fe_{OX}/Fe_{DCB} también lo hizo y uno de los óxidos de Fe presentes fue la goethita. El Fe_{OX}/Fe_{DCB} presentó valores mayores de 0.5 y por consiguiente, el grado de cristalinidad en las fracciones arcilla, limo y arena del suelo es baja, por lo que existe predominio de minerales amorfos como la Fh.
Difracción de rayos X. Las reflexiones del suelo obtenidas en la Difracción de rayos X (DRX) para

minerales primarios mostraron minerales primarios y al cuarzo como el mineral primario de mayor abundancia; se observó que las reflexiones están asociadas con feldespatos del tipo de la albita y la anortoclasa, así como a los distintos polimorfos de sílice como cristobalita y tridimita en menor grado. También se observó la presencia de caolinita, dikita, nacrita y halloysita, así como de rutilo que es un óxido de titanio presente en el suelo. Por otro lado, las reflexiones del suelo obtenidas, indicaron la presencia de magnetita, bernalita, hematita y maghemita, además de la goethita, la titanomaghemita y óxidos de titanio y hierro en menor medida. De los óxidos de Fe identificados, la bernalita se considera un óxido de Fe raro en la naturaleza (Murad y Cashion, 2004), por lo general asociado a la goethita (Mineralogical Society of America, 2010), y en México, la bernalita se ha reportado como parte de los componentes minerales secundarios de seis depósitos de Jales y una explotación de depósitos epitermales en Taxco, Guerrero (Talavera *et al.*, 2005). El resto de los óxidos de Fe identificados en el presente estudio, son minerales comunes que se desarrollan de rocas ígneas (Porta *et al*., 1999).

Espectroscopia Mössbauer. En los resultados de la caracterización mineralógica por espectroscopia Mössbauer (EM), se identificó a los óxidos de Fe magnetita (Fe_3O_4), hematita (α-Fe_2O_3) y goethita (α-FeOOH). La magnetita (Fe_3O_4) es uno de los principales minerales de las rocas ígneas, de muchos suelos y es un material que tiene simultáneamente Fe divalente (Fe^{2+}) y trivalente (Fe^{3+}) (Murad y Cashion, 2004). En el presente estudio, dos componentes magnéticos de la magnetita correspondientes al Fe^{3+} y Fe^{2+} están presentes en el mineral. Murad (1988) mencionó que un prerrequisito necesario para la formación pedogénica de la magnetita es la presencia de Fe^{2+}, lo que implica condiciones temporales de reducción en el suelo o sedimento. Flores *et al.* (1996) mencionaron que, en la zona de estudio, la cantidad de lluvia probable (90 % de no excedencia) de junio a octubre es de 925 mm en 92 días de lluvia apreciable, con humedad excesiva en algunos lapsos de tiempo, lo que representa el ambiente favorable para generar condiciones de reducción.

Espectroscopia infrarroja. En la caracterización mineralógica por espectroscopia infrarroja (IR), el espectro infrarrojo presentó una serie de bandas bien definidas asociadas a las vibraciones de los enlaces Al-OH a 3,696 cm^{-1} y 3,622 cm^{-1}, así como a las vibraciones de los enlaces: Si-O (1,096 cm^{-1}), Si-O-Si a 1,038 cm^{-1}, Al-O-H a 914 cm^{-1}, Si-O-Al a 749 cm^{-1} y a 692 cm^{-1} y para Si-O a 471 cm^{-1}. Todas estas bandas indican la presencia de arcillas silicatadas cristalinas 1:1 del tipo de las caolinitas, presentes en la muestra de suelo (Schroeder, 2002).

Conclusiones

De acuerdo con los métodos utilizados para identificar los óxidos de Fe presentes en el suelo del alfisol en estudio, los principales minerales son los siguientes: ferrihidrita, magnetita, hematita, maghemita, goethita y la arcilla silicatada caolinita. Se recomienda realizar muestreos y análisis de suelos con diferente uso en agricultura.

Referencias

CETENAL. 1974. Carta edafológica f13D58, Tepatitlán de Morelos, escala 1:50,000.

Childs, C.W., N. Matsue y N. Yoshinaga. 1991. Ferrihydrite in volcanic ash soils of Japan. Soil Sci. Plant Nutr. 2(37):299-311.

Flores, L.H.E., J.A. Martínez, V.H. Ramírez, M.V. Alemán, P.M. Díaz, y C.J.A. Ruíz. 1996. Diagnóstico agroclimático y edafológico de la Cuenca hidrográfica "El Jihuite", México. *In*: Resúmenes del III Congreso Interamericano sobre el medio ambiente: Avances y aplicación a la solución de problemas ambientales. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Flores-López, H.E., R. Carrillo-González, N. Francisco-Nicolás, C. Hidalgo-Moreno, J.A. Ruíz-Corral, A.A. Castañeda-Villanueva y R. Velazco-Nuño. 2009. Aportes de nitrógeno y fósforo de tres sistemas agrícolas de la cuenca hidrográfica "El Jihuite", en Jalisco, México. Agrociencia, 7(43):659-669.

Haygarth, P.M. y S.C. Jarvis. 1999. Transfer of phosphorus from agricultural soils. Adv. in Agronomy, 66:195-249.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1994. Tour description. Tramo Guadalajara, Jalisco – Zamora, Michoacán. *In*: Guide for technical tours "1" and "10": Guadalajara – Mexico city. 15º Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. 10 – 16 de Julio. Acapulco, México. Pp: 47-72.

Kämpf, N., A.C. Scheinost and D.G. Schulze. 2000. Oxide minerals. *In*: Handbook of soil science (Sumner, M.E. Editor). CRC Press LLC. Boca Raton, Florida, USA. Pp: F125-F168.

Liu, F., C. Colombo, P. Adamo, J.Z. He y A. Violante. 2002. Trace elements in manganese-iron nodules from a chinese alfisol. Soil Sci. Soc. Am. J. 2(66):661-670.

McBride, M.B. 2000. Chemisorption and precipitation reactions. *In*: Handbook of Soil Science. Sumner, M.E. (ed). CRC Press LLC. Boca Raton, Florida, USA. Pp: B265-B302.

Mineralogical Society of America. 2001. Handbook of mineralogy. Tomado de: http://www.handbookofmineralogy.org/search.html?p=all Fecha de acceso: 17 de mayo de 2010.

Murad, E. 1988. Properties and behavior of iron oxides as determined by Mössbauer spectroscopy. *In*: Iron in soils and clay minerals (Stucki, J.W., B.A. Goodman y U. Schwertmann editores). D. Reidek Publishimg Company. Dordrecht, Holanda. Pp: 309-350.

Murad, E. and J. Cashion. 2004. Mössbauer spectroscopy of environmental materials and their industrial. Kluwer Academic Publishers. Norwell, Massachusetts, USA. 419 pág.

Parfitt, R.L. y C.W. Childs. 1988. Estimation of forms of Fe and Al: a review and analysis of contrasting soils by dissolution and Mössbauer methods. Aust. J. Soil Res. 26:121-144.

Porta, J., M. López – Acevedo y C. Roquero. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2a edición. Ediciones Mundi-Prensa. Bilbao, España. 849 pág.

Ramírez, V., H., J.A. Martínez S., H.E. Flores L., P. Díaz M., V. Alemán M. y J. M. Guzmán A. 1996. Estudio de la calidad del agua de la presa El Jihuite. *In*: Manejo Integral de la Cuenca Agropecuaria y Forestal El Jihuite (J.A. Martínez S. *et al*., editores) Publicación especial núm. 1. INIFAP. CIRPAC. Campo Experimental Altos de Jalisco. Pp: 15-17.

Schroeder, P.A. 2002. Infrared Spectroscopy in clay science. *In*: CMS Workshop Lectures, Vol. 11, *Teaching Clay Science*, A. Rule and S. Guggenheim, eds., The Clay Mineral Society, Aurora, CO, Pp: 181-206.

Schwertmann, U. 1988. Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironments. *In*: Iron in soils and clay minerals (Stucki, J.W., B.A. Goodman y U. Schwertmann editores). D. Reidek Publishimg Company. Dordrecht, Holanda. Pp: 267-308.

Sei, J., J.C. Jumas, J. Oliver–Fourcade, H. Quiquampoix, and S. Stauton. 2002. Role of iron oxides in the phosphate adsorption properties of kaolinites from the ivory coast. Clay and Clay Minerals 2(50):217–222.

Talavera, M., O., M. Yta, R. Moreno T., A. Dótor A., N. Flores M., and C. Duarte G. 2005. Mineralogy and geochemistry of sulfide-bearing tailings from silver mines in the Taxco, Mexico area to evaluate their potential environmental impact. Geofísica Internacional, 1(44):49-64.

Torrent, J., U. Schwertmann and D.G. Schulze. 1980. Iron oxide mineralogy of some soils of two river terrace sequences in spain. Geoderma, 2(23):191-208.

van Reewijk, L.P. 1999. Procedimientos para análisis de suelos: clasificación y correlación. Traducido por: Ma. Del Carmen Gutiérrez Castorena, Carlos Arturo Tavares Espinoza y Carlos Alberto Ortiz Solorio. Colegio de Posgraduados. Instituto de Recursos Naturales. Especialidad de edafología. Texcoco, México. 145 pág.

Wilson, M.J. 1987. Determinative methods: a brief overview. *In*: A handbook of determinative methods in clay mineralogy (Wilson, M.J. editor). Blackie & Son Ltd. Glasgow, N.Z. Pp 295-300.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

CONTENIDO DE MACRONUTRIENTES DE UN CALSISOL BAJO TRES SISTEMAS DE USO DE SUELO EN EL NORESTE DE MÉXICO

Hernández-González, J.[1*]; Yañez-Díaz, MI.[1]; Cantú-Silva, I.[1]; González-Rodríguez, H[1;] Díaz-García, K.[1]

[1]Facultad de Ciencias Forestales. Linares, Nuevo León. México.

*Autor responsable: juliahernandez.25@hotmail.com; Calle retama Núm. 1412, Col. Fovissste, Linares, Nuevo León. México. CP 67755; Tel. +528211174518

Resumen

Los nutrientes que se encuentran fijados en el suelo son de gran importancia ya que estos determinan el potencial para el desarrollo de las plantas. Los macronutrientes son los minerales que se necesitan en mayores cantidades en los procesos metabólicos de las plantas (N, P, K, Ca, Mg y Na). A nivel mundial, regional y local existen diversos factores que influyen en el cambio del uso de suelo, como los ambientales, demográficos, económicos y culturales, que en su conjunto llegan a provocar alteraciones en la composición física y química del suelo (Bocco, 2001). El propósito de esta investigación es conocer la diferencia y contenido de macronutrientes: Potasio(K), Magnesio (Mg), Calcio (Ca) y Sodio (Na) en tres sistemas de uso de suelo: área de matorral (MAT), área agrícola (AGR) y área sometida a pastoreo (PST) tomando en cuenta dos distintas profundidades (0-5 y 5-30 cm) para un mismo tipo de suelo (Calcisol). Se colectaron 4 muestras compuestas de suelo y se determinó la cantidad de macronutrientes siguiendo el método de AS-12 con acetato de amonio (NH_4Ac) pH 7 de la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). Mediante la prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis se encontraron diferencias ($p \leq 0.05$) entre los sistemas de uso de suelo para K, Mg en ambas profundidades, mientras Ca solo para la profundidad 0-5cm, Na no presentó diferencias entre los sistemas estudiados. En general los contenidos de macronutrientes siguieron el orden de PST>MAT>AGR para ambas profundidades excepto Ca en la profundidad 5-30 cm que mostró un mayor contenido en MAT.

Palabras clave

Macronutrientes; Calcisoles; cambio uso de suelo,

Introducción

El contenido en nutrientes de los suelos depende tanto del material de partida, como de los aportes de fertilizantes, sin olvidar la posible acción de la contaminación atmosférica, el uso de suelo, que puede motivar incrementos o disminución significativas de la concentración de determinados elementos (Alloway, 1995; Dixon & Weed, 1989).

EL cambio de uso de suelo puede alterar radicalmente la cubierta vegetal aun en lapsos de tiempo breves, provocando alteraciones en las propiedades químicas. (Huang *et al.*, 2006; Jia Shao, wei, Horton & Li, 2011)

El diagnóstico del efecto de los cambios de uso de suelo más utilizado es el análisis químico del suelo, pues posibilita el conocimiento de la disponibilidad de nutrientes. Además, el análisis del suelo es

una herramienta bastante eficaz que permite efectuar pronósticos sobre las necesidades del lugar de estudio (Abreu Et Al. 1996; Navarro Blaya & Navarro García, 2000)

Materiales y Métodos

Localización del área

El área de estudio se ubica en tres predios colindantes pertenecientes al Ejido de Gatos Güeros en el Municipio de Linares, Nuevo León, sobre las coordenadas 25°07´55.2´´N; 99°18´59.1´´O, con una altitud de 225 m.s.n.m.

Los predios seleccionados se sitúan en la Subprovincia de Llanuras y Lomeríos, se caracterizan por la presencia de llanos interrumpidos por lomeríos dispersos, bajos de pendientes suaves y constituidos por conglomerados. Esta Subprovincia forma parte de la Provincia de la Llanura Costera del Golfo y abarca 23,138.39 km^2 de la superficie de Nuevo León (INEGI, 1986). El suelo del área de estudio es de tipo Calcisol lúvico según la clasificación de World Reference Base for Soil Resources (IUSS Working Group WRB, 2015).

Metodología

Se seleccionaron tres parcelas continuas, cada una representa un uso de suelo diferente: área de matorral (MAT), área agrícola (AGR) y área sometida a pastoreo (PST). Las parcelas cuentan con el mismo tipo de suelo y las mismas características climáticas.

Se colectaron 4 muestras compuestas de suelo en cada uno de los sistemas de uso a diferentes profundidades.

Método AS-12 con acetato de amonio (NH_4Ac)

Para la extracción de los macronutrientes (Potasio, Magnesio, Calcio y Sodio) se usó el método de adición de Acetato de Amonio 1N (CH_3COONH_4) pH 7 NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

Procedimiento

Se pesó 5g de suelo fino seco al aire en un tubo de centrifuga de 50 ml. agregando porciones de 33 ml de solución de acetato de amonio agitando en cada una durante 10 minutos, centrifugando y decantando el líquido en un matraz de 100 ml se aforo y se prepare para leer el contenido de nutrientes en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (EAA) SpectrAA-200, Varian.

Análisis estadísticos

Las variables del contenido de Potasio, Calcio, Magnesio y Sodio no cumplieron con los supuestos de normalidad de datos, motivo por el que se sometieron a un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis utilizando el Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (por sus siglas en inglés, SPSS) versión estándar 17.0 para Windows (SPSS, 2009).

Resultados y Discusión

Los resultados de los macronutrientes analizados para el suelo calcisol sometido a tres sistemas de uso de suelo presentaron para Potasio (K) valores de 0.48 $cmol^{(+)}\ Kg^{-1}$ (AGR), 1.16 $cmol^{(+)}\ Kg^{-1}$ (MAT) y 1.65 $cmol^{(+)}\ Kg^{-1}$ (PST) en la profundidad 0.5 cm, mientras que para la profundidad 5-30 cm los valores fueron menores siguiendo el mismo comportamiento entre los sistemas (Figura 1).

Estos resultados concuerdan con Yáñez (2017) quien menciona que los contenidos de K son mayores en Pastizal a diferencia del matorral.

Calcio (Ca) presento valores de 22.48 cmol $^{(+)}$ Kg^{-1} (MAT, 0-5 cm) a 43.35 cmol$^{(+)}$ Kg^{-1} (PST, 5-30 cm), para la profundidad 0-5 cm el comportamiento fue AGR>PST>MAT mientras que en la 5-30 cm los mayores contenidos se presentaron de PST>AGR>MAT (Figura 2). Los altos valores presentes de calcio se deben a los altos contenidos de $CaCO_3$ típicos en suelos calcisoles (IUSS Working Group WRB, 2015).

El Mg (Magnesio) presentó valores de 0.81 cmol $^{(+)}$ Kg^{-1} (AGR) hasta 4.21 cmol $^{(+)}$ Kg^{-1} (PST) para la profundidad 0-5 cm, llegando hasta valores de 6.82 cmol$^{(+)}$ Kg^{-1} (PST) en la profundidad 5-30 cm (Figura 3).

Sodio (Na) presentó en promedio 0.17 cmol $^{(+)}$ Kg^{-1} para la profundidad 0-5 cm mientras que para la profundidad 5-30 cm un promedio 0.37 cmol$^{(+)}$ Kg^{-1} siguiendo el mismo comportamiento que K y Mg (PST>MAT>AGR) (Figura 4).

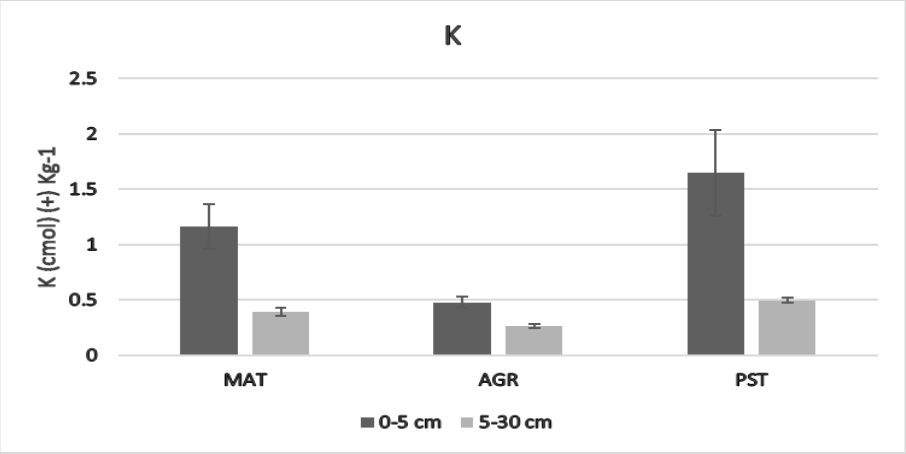


Figura 1. Valores medios de Potasio (K) en las profundidades 0-5 y 5-30 cm para los 3 sistemas de uso de suelo.

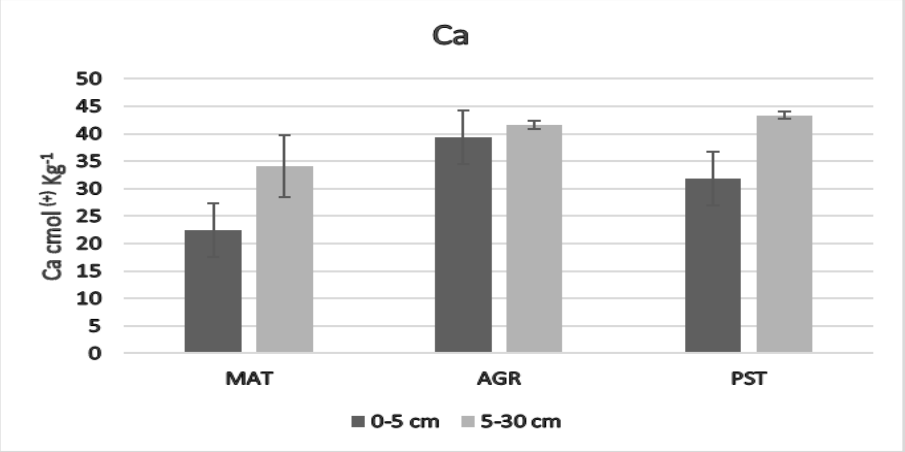


Figura 2. Valores medios de Calcio (Ca) en las profundidades 0-5 y 5-30 cm para los 3 sistemas de uso de suelo.

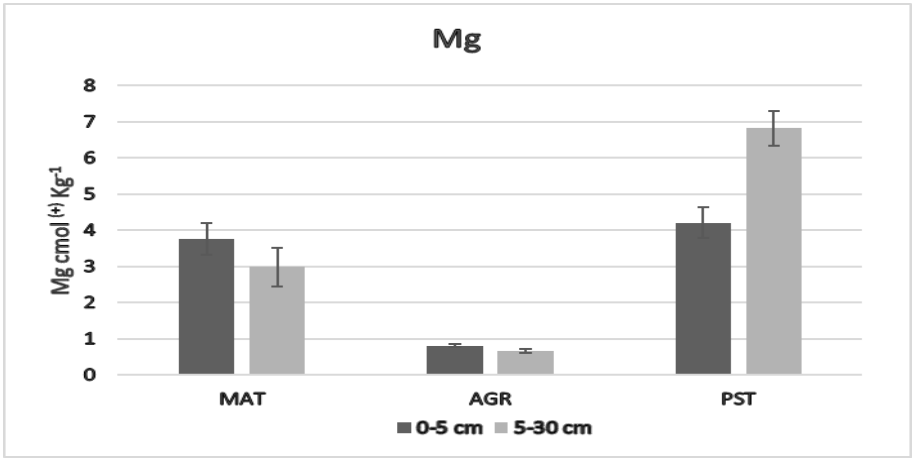


Figura 3. Valores medios de Sodio (Na) en las profundidades 0-5 y 5-30 cm para los 3 sistemas de uso de suelo.

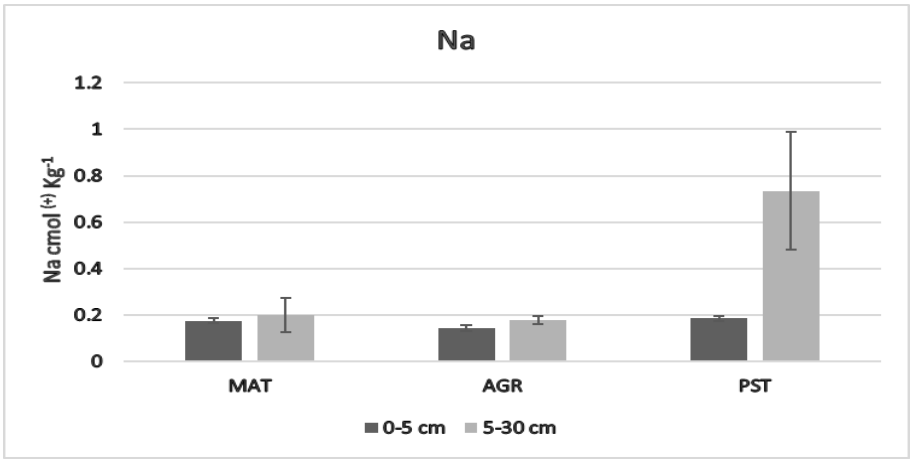


Figura 4. Valores medios de Magnesio (Mg) en las profundidades 0-5 y 5-30 cm para los 3 sistemas de uso de suelo

El análisis estadístico no paramétrico de Kruskal-Wallis realizado para K, Mg y Ca presentó diferencias significativas ($p<0.05$) entre los sistemas en la profundidad 0-5 cm. En la profundidad 5-30 cm, el K presento diferencias significativas ($p<0.05$), Mg diferencias altamente significativas ($p<0.01$), mientras que Ca no presento diferencias entre los sistemas para esa profundidad.
El contenido de Na en calcisoles fue similar entre los sistemas no encontrando diferencias estadísticas para las dos profundidades.

Tabla1. Valores de X^2 de la prueba de Kruskal-Wallis para las variables Potasio(K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Sodio (Na) entre los tres sistemas de uso para las dos profundidades. Valores en negrita indican diferencias signifcativas. **Diferencia altamente significativa ($p<0.01$), (*) =

Diferencia significativa ($p<0.05$), (NS)= No significativa

Macronutrientes	0-5 cm	5-30 cm
	X^2	X^2
K	**6.731***	**8.769***
Ca	**8.115***	3.231 NS
Mg	**7.731***	**9.846****
Na	2.923 NS	2.21 NS

Conclusiones

El contenido de macronutrientes en calcisol para los sistemas de uso de suelo en la profundidad 0-5 cm siguieron un orden de PST>MAT>AGR a excepción de Ca que presentó un orden de MAT>PST>AGR. En la profundidad de 5-30 cm se obtuvieron contenidos de macronutrientes similares entre los sistemas evaluados, presentando un orden de PST>MAT>AGR. De acuerdo con los resultados obtenidos los cambios de uso de suelo influyen en la variabilidad del contenido de algunos macronutrientes.

Referencias

A LLOWAY, B.J. (1995). Heavy metals in soils. Blackie Academic and Professional. Chapman and Hall. Glasgow, 368 pp.

Bocco, G., Mendoza, M., Masera, O. R. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación (parte 1), Investigaciones Geográficas (Mx), 18-38.

DIXON, J. B. & WEED, S.B. (1989). Minerals in Soil Environments. 2nd ed. Soil science society of America, Madison.

Huag Z.L. Chen, L.D., Fu, B. J., Lu, Y. H., Huang Y.L. & Gong, J (2006). The relative efficiency of four representative cropland conversions in reducing water erosion: evidence from long-term plots in the Loess hilly área, China. Land degradation & Development, 17(6) 615-627. https://doi.org/10.1002/ldr.739

INEGI. 1986. Síntesis geográfica del Estado de Nuevo León. Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática. Nuevo León, México.

IUSS Working Group WRB, 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma.

Jia, X., Shao, M., Wei, X., Horton, R., & Li, X (2011) Estimating total net primary productivity of managed grasslands by a state-space approach in a small catchment on tje Loess Planteau, China. Geoderma, 160 (3-4), 281-291. https://doi.org /10.1016/j.geoderma.2010.09.016

SPSS (2009) Statistical Package for the Social Sciences. Chicago, IL. U.S.A.: SPSS Inc.

SEMARNAT. (2002) Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial, (Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis) 85. Retrieved from http://www.profepa.gob .mx/innovaportal/file/3335/1/nom-021-semarnat-2000.pdf

Yañez M.I. (2017) Caracterización ecopedagológica en vertisoles bajo cuatro sistemas de uso de suelo. Facultad de Ciencias Forestales, U. A. N. L., México.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EL PROBLEMA DE LOS SUELOS ÁCIDOS EN LA REGIÓN FRAILESCA, ESTADO DE CHIAPAS

Castillo-Pérez, T.[1*]; Aguilar-Rodas, J.F.[2]; Alvarado-Moreno, E.[2]; Cruz-Sánchez, E.[3]; Díaz-Sánchez, E.L.[2]; García-González, G.[2]; Lara-López, E.; Limeta-Cuervo, X.V.[2]; López-Sánchez, I.S.[2]; Ocampo-Pérez, M.[2]; Pineda-Bonilla, A.I.[2]

[1]**Universidad Autónoma Chapingo-URUSSE. Teapa, Tabasco. México. Profesor Investigador**
[2]**Universidad Autónoma Chapingo-URUSSE. Teapa, Tabasco. México. Estudiante 4º. Año de la CIAEZT**

*Autor responsable: sinatafo@hotmail.com; Calle Km. 7.5 Carretera Teapa-Vicente Guerrero. San José Puyacatengo Núm. s/n, Teapa, Tabasco. México. CP 86800; Tel. +52(595)-95-21500 ext. 3107

Resumen

En México, los suelos ácidos se localizan en las regiones tropicales y bosques templados y comprenden una superficie cercana a los 14 millones de hectáreas, en los estados de Veracruz, Tabasco, Chiapas y Campeche, se concentra la mayor cantidad. Una de las regiones más afectadas por la acidez del suelo es la Frailesca, en el estado de Chiapas, presentando suelos con niveles de pH de 3.5 y 4.0, no recomendable para cultivos, que, junto con los problemas de erosión del suelo, son factores limitativos para la producción agrícola. El trabajo se llevó a cabo con estudiantes del cuarto año de la Carrera de Ingeniero Agrónomo Especialista en Zonas Áridas (CIAEZT), que se imparte en la Unidad Regional Universitaria Sursureste (URUSSE), de la Universidad Autónoma Chapingo, como parte de la asignatura de Trabajos de Campo Integrador I (TCI I), en donde los estudiantes eligen un tema y lugar, para llevar a cabo la investigación con el apoyo de un profesor investigador. La Región de la Frailesca, reporta una superficie agrícola de 230,750 Ha, de las cuales 83,750 Ha, son de planicie, de esta superficie el 40% presenta afectaciones provocadas por la acidez de los suelos (33,500 Ha), causando pérdidas en rendimiento de grano de maíz de 800 a 1400 kg/Ha. Estos suelos presentan un pH promedio de 4.7, saturación de aluminio del 20% y bajod contenidos de materia orgánica de 1 a 1.5%, debido en gran parte por las dosis de fertilizantes utilizadas por los productores son muy altas, alcanzando niveles de 180 a 200 kg de Nitrógeno/Ha, y con ello elevando significativamente los costos de producción del cultivo de maíz (Nieukoop, *et al*, 1992).

Palabras clave: suelos ácidos, zonas tropicales, pH del suelo, fertilización nitrogenada

Introducción

Debido a la oferta limitada de tierras de buena calidad para cultivar, el recurso suelo se encuentra sometido a una mayor presión por parte de los agricultores; en consecuencia, para aumentar el área de terreno disponible, se ha recurrido a áreas frágiles y de laderas que no son aptas para las actividades agrícolas. Esta situación ha traído como resultado una degradación marcada de los suelos, deforestación de áreas boscosas y alteración del ciclo hidrológico.

A pesar de la importancia económica del sector agropecuario en el estado de Chiapas y específicamente en la Región Frailesca, estas actividades se han desarrollado sin una adecuada planificación en el uso y aprovechamiento de los recursos naturales, específicamente de los suelos.

La escasez de terrenos nuevos y aptos para cultivar, aunado al acelerado crecimiento demográfico han intensificado el uso de este recurso natural para la producción agropecuaria con el propósito de obtener ganancias inmediatas.

El uso indiscriminado de fertilizantes de base ácida, ha ocasionado graves problemas en los suelos y un decremento en su nivel de productividad, ya que la acidez de los suelos limita el rendimiento de los cultivos e influye negativamente den la disponibilidad de nutrientes elementales para el desarrollo de los cultivos (López, *et al* 2017).

En México existen diversas regiones tropicales y templados con problemas de suelos ácidos, una de ellas, se encuentra en la Frailesca estado de Chiapas, en donde se han observado niveles de pH de 3.5 a 4.0, lo cual no es recomendable para los cultivos (Lazcano 1996).

Este trabajo fue realizado por estudiantes de la Carrera de Ingeniero Agrónomo Especialista en Zonas Tropicales, como parte de la asignatura de Trabajos de Campo Integrador (TCI), donde uno de los objetivos es realizar un diagnóstico de la problemática de los suelos ácidos, para conocer los grados de afectación que existe en la región para la producción de cultivos básicos, principalmente el cultivo de maíz. Para ello se realizaron barrenaciones y perfiles de suelos en el área, siguiendo el criterio de transectos.

Materiales y Métodos

El área de estudio se localiza en la llanura costera del pacífico y la depresión central de Chiapas, denominada Región Frailesca y está conformada por cinco municipios: Villaflores, Villacorzo, Ángel Albino Corzo, La Concordia y Montecristo de Guerrero. Su territorio 778,899 hectáreas, siendo la segunda región de mayor extensión en el estado (Nieukoop, *et al* 1992).

Para el estudio de los suelos ácidos se realizaron recorridos y muestreos de suelos por toda el área, con la apertura de perfiles de suelo representativos y barrenaciones a dos profundidades de 0-20 cm y 20-40 cm, diferentes transectos, en las que se realizaron determinaciones cualitativas en campo sobre variables como la textura al tacto, pH del suelo con peachímetros móviles, pruebas de reacción al agua oxigenada para conocer el contenido de materia orgánica, pruebas de reacción al ácido clorhídrico para visualizar la presencia de carbonatos de calcio, color del suelo con la Tabla Munsell, entre otras.

Con esta información de campo y mediante el uso de sistemas de información geográfico, fue posible elaborar los mapas de pH y contenido de materia orgánica, los cuales muestran gráficamente donde se presentan los mayores problemas de acidez en la región de la Frailesca.

La variable de estudio más importante de este trabajo, es el pH del suelo y para tener una mejor claridad en la interpretación, se utilizó el criterio de clasificación de la Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes (AEFA).

Cuadro 1. Clasificación del pH del suelo de acuerdo a la AEFA

Clasificación	**pH**	**Descripción**
Extremadamente acido	< 4.5	Las condiciones del suelo son muy desfavorables.
Fuertemente ácido (Al)	4.5 – 5.0	Existe la posible toxicidad por efecto de aluminio.

Fuertemente ácido	5.1 – 5.5	Suele ir acompañado de deficiencia en Ca, K, Mg, N, P, S, Mo… exceso de Cu, Fe, Mn, Zn, y la actividad bacteriana en el suelo es escasa. Aparece la clorosis férrica.
Medianamente ácido	5.6 – 6.0	Es un suelo adecuado para la mayoría de los cultivos.
Ligeramente ácido	6.1 – 6.5	Se encuentra la disponibilidad máxima de nutrientes.
Neutro	6.6 – 7.3	Los efectos tóxicos de los elementos son mínimos.
Medianamente básico	7.4 – 7.8	Presencia de carbonatos de calcio en el suelo.
Básico	7.9 – 8.4	Disminuye la disponibilidad de P y Bo, además de una deficiencia creciente de Cu, Fe, Mn, Zn, Co.
Ligeramente alcalino	8.5 – 9.0	Aparecen los problemas mayores de clorosis férrica.
Alcalino	9.1 – 10	Presencia de carbonato sódico en grandes cantidades.
Fuertemente alcalino	>10	Elevado porcentaje de Na intercambiable. Actividad microbiana escasa y hay poca disponibilidad de micronutrientes, excepto del Mo.

Resultados y Discusión

Tecnología de producción cultivo de maíz

Como resultado de las entrevistas realizadas durante la fase de campo, se pudo apreciar que la mayoría de los productores sembraban diversos cultivos, los cuales manejan sus parcelas mediante un sistema de cultivos intercalados, este sistema consiste en la combinación de 2 o más cultivos en la misma parcela y en el mismo ciclo, diversificando su producción, con especies como maíz-frijol, maíz-canavalia, Maíz Intercalado con Árboles Frutales (MIAF), donde se observa que el 100% de los productores siembran maíz, y en menor grado otros cultivos como cacahuate, chile, sandía, calabaza, papaya, sorgo y frutales como limón.

La tenencia de la tierra, predomina la ejidal, la superficie promedio por productor es de 4.48 Ha (Cuadro 2), destinadas principalmente a la agricultura. Sin embargo, hay productores con extensiones mayores de terreno de 18 hectáreas (Propiedad privada), cuyo enfoque agrícola es comercial. Dentro de las parcelas el arreglo topológico se establece con distancias entre surco 80 cm y planta 30 cm, en algunos casos con dos semillas y en otros una semilla teniendo una densidad de población promedio de 69,517 plantas/ha.

Los insumos que utilizan los productores de maíz, en su mayoría aplican fertilizantes nitrogenados a base de Sulfato de amonio (61.50%), lo cual está determinada por la economía, no es lo mismo aplicar 100 kilogramos de sulfato que 50 kilogramos de Urea, ya que los fertilizantes más baratos son más voluminosos y se pueden distribuir mejor en la superficie, aunque la concentración en nitrógeno es menor. También aplican fertilizantes fosfatados y potásicos, pero en menor cantidad, de tal forma que la fórmula de fertilización que aplican es 139-27-15 (N,P,K) en promedio en la zona. Aun cuando la fuente de fertilizante nitrogenada es el sulfato de amonio, algunos productores utilizan la Urea (38.50%). La mayoría de los productores realizan dos aplicaciones (92.30%), generalmente de manera manual. Los costos de producción se elevan significativamente con el uso de los insumos, ya

que, según registros, se llegan aplicar de 400 a 800 kg de sulfato de amonio por hectárea. Con el uso indiscriminado de estos agroquímicos, los productores han ocasionado graves problemas a sus suelos, se han acidificado ya que son más sales que unidades de nitrógeno, en los cuales los productores tienden a utilizar fórmulas de fertilización que van desde los 82 - 197 unidades de nitrógeno ha-1 por ciclo. Al mismo tiempo para poder completar sus fórmulas de fertilización, utilizan otras fuentes comerciales como el cloruro de potasio y DAP (Cuadro 2).

Las dosis de fertilización y la calidad de los suelos influye en gran medida en los rendimientos de cada productor, debido a los tipos de suelo, los suelos de vega en la zona baja de la región (Ejido Revolución Mexicana, transecto 2) son muy productivos donde el rendimiento llega alcanzar 8 ton ha-1 con dosis bajas de fertilización 82-00-00, mientras que en las zonas altas de la frailesca (Ejido Guadalupe Victoria, Transecto 6) las dosis son mayores de hasta 165.5-23-00 con rendimiento de 3.2 ton/Ha. El, el rendimiento promedio en la región Frailesca se ubica en los 5.1 ton ha-1.

Cuadro 2. Tecnología de producción para el cultivo de maíz en la Región Frailesca, Chiapas

No.	Sup (Ha)	D.P. (ptas/Ha)	Fórmula Fertiliz.	Rendto. (Ton/Ha)	Precio ($/ton)	Destino de la Producción
1	0.50	46800	82-00-00	3.0	3500	Autoconsumo
2	3.00	71500	103-00-00	8.0	3200	Coyote
3	4.00	71500	118-92-00	4.0	3500	Coyote
4	5.00	62500	180-23-15	6.0	3400	Coyote
5	2.00	62500	143-12-15	4.0	3500	Coyote
6	18.00	83300	150-60-60	7.5	3350	Buenavent, Avimarca y Bachoco
7	3.00	55000	124-23-30	4.0	3100	Coyote
8	10.00	82000	197-92-60	7.5	3400	Alpesur
9	1.75	70000	82-00-00	8.0	3400	Coyote
10	1.00	83300	164-00-00	7.0	3400	Tuxtla
11	0.50	83300	164-00-00	4.0	3000	Coyote
12	5.00	62500	166-23-00	3.2	5000	Tortillería
	4.48	69517	139-27-15	5.52	3479.16	

Análisis del muestreo de suelos obtenidos de los transectos

Para obtener información técnica sobre las características físicas y químicas de los suelos agrícolas de la región frailesca se realizaron una serie de barrenaciones ubicados en diferentes transectos, de tal manera que se pudieran captar el máximo de observaciones, entendiéndose como transecto, las rutas o recorridos de campo donde se pueda observar el comportamiento de las variables relacionadas con la calidad de los suelos, como son la profundidad, textura (al tacto), contenido de materia orgánica (reacción al agua oxigenada), contenido de carbonatos de calcio (reacción al ácido clorhídrico), color del suelo (Tabla Munsell) y pH del suelo (peachimetro digital móvil), entre otras características. Estas determinaciones se realizaron en campo de manera cualitativa, con el instrumental básico, como son la barrena para el muestreo de suelos a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm). Durante estos recorridos de campo se realizaron barrenaciones y perfiles de suelo en los diferentes transectos establecidos en toda el área de trabajo:

1.- Villaflores – El Horizonte – 16 de septiembre – Villahidalgo
2.- Villaflores – Jericó – Revolución Mexicana – Villacorzo – Rancho la Guadalupana, El parral.
3.- Villaflores – Nuevo México – Rancho El Brillante – Rancho Zaragoza
4.- Villaflores – Agua prieta – Rancho El Alto, La concordia
5.- Villaflores – La Frailescana – Villacorzo
6.- Villaflores – Rancho La Palma – Guadalupe Victoria – Jesús M. Garza

Lo que a continuación se presenta, son los resultados de las barrenaciones y descripción de perfiles de suelo y su análisis, que se realizaron dentro del área de estudio, durante el tiempo que abarcó el trabajo de campo. Los muestreos de suelos a través de las barrenaciones fueron realizadas a dos profundidades, la primera de 0-20 cm y la segunda de 20-40 cm de profundidad. Los perfiles de suelos se realizaron en los lugares representativos de cada transecto. A las muestras de suelo se realizaron algunas determinaciones físicas y químicas básicas de las variables siguientes:

- Textura del suelo
- Color del suelo
- Materia orgánica
- Carbonatos de calcio
- pH del suelo

Durante los recorridos de campo a través de la metodología de transectos, se pudo observar que los suelos presentan texturas franco arcillo arenosos (transecto 1), sin embargo, en algunas rutas la presencia de texturas de partículas más gruesas fue notoria ya que osciló de una textura franco arenoso a franco arcillo arenoso, predominando las arenosas (transecto 2 y 3), a diferencia de los transectos 4 y 5, la presencia de texturas finas arcillosas a franco arcillosas es más evidente. Finalmente, en el transecto 6 se presentan texturas de suelo arenosas a franco arenosos, aunque en uno de los puntos de muestreo se observa un poco de arcilla (francos arcillosos), es muy evidente la presencia de las texturas finas.

Al determinar los colores de las muestras de suelo de la zona de estudio, se tiene que los colores predominantes son muy oscuros, marrones, marrones oscuros, marrón rojizo oscuro y marrón amarillento oscuro, todos con tonalidades oscuras, y la mayor parte de estas pertenecen a los valores de matiz 10 YR en la escala de colores, representando aproximadamente un 64 % de la zona de estudio. Otros colores de suelo de menor cobertura se encuentran dentro de los valores 7.5 YR, 5 YR Y 2.5 YR, con colores que van desde rojos oscuros hasta grises se localizaron en localidades de los municipios de Villaflores y Villacorzo (transectos 5 y 6). (Cuadro 7).

El valor medio de pH para la primera capa es de 5.5, y para la segunda capa es de 5.8, por lo tanto, podemos afirmar que los niveles de acidez se hacen presentes en mayor medida en los primeros 20 centímetros de suelo, lo cual influye directamente en la producción agrícola de la zona, dado que, según la literatura, un suelo con condiciones de pH de 5.5 o inferior, presenta ya problemas en cuanto a niveles de producción y aprovechamiento de nutrientes. Según la Norma Oficial Mexicana (NOM 021), estos suelos están dentro del rango de moderadamente ácidos.

En lo que respecta a los transectos, las partes medias y altas de ellos, es donde se presentan los niveles de pH más altos, presentándose en el transecto 6 los valores de pH superiores a 6.0. La NOM 021 clasifica estos suelos como moderadamente ácidos. Los rangos promedio de pH más ácidos se hacen presentes en el transecto número 5, oscilando entre 5.2 y 5.4, sin embargo, aunque el transecto 4 tiene una media de pH de 5.5, es dónde se presenta el valor de pH más ácido, que fue de 4.5, clasificado según la Norma Oficial Mexicana como Fuertemente Ácido.

Con base en la información obtenida en campo de los muestreos de suelos, realizados en la región a través de los transectos, y mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfico (SIG) y de la base de datos digitales de INEGI, se procesaron los datos de pH del suelo y se obtuvieron mapas, en donde se especifica claramente las áreas con diferentes índices de pH, clasificados con base al criterio de la Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes (AEFA). Con base a este criterio y con los datos de pH obtenidos en campo se definieron las diferentes categorías para la Región de la Frailesca y se elaboraron mapas de pH del suelo a dos profundidades de muestreo 0-20 cm y 20-40 cm. Una vez definidas las áreas por clasificación de pH se cuantificaron las áreas que ocupa cada clasificación de pH del suelo (Cuadro 7).

En el Cuadro 3, se presentan los datos obtenidos del análisis geográfico realizado y se observa que a nivel de la región de estudio el pH del suelo predominante va de moderadamente ácido (pH 5.6 a 6.0) a fuertemente ácido (pH 5.1 a 5.5) ocupando el 91% de la superficie, lo que indica que los problemas de acidez en la zona son fuertes e impacta directamente en la producción de los cultivos, ya que suele ir acompañado de deficiencias de calcio, potasio, magnesio, azufre y molibdeno y exceso de cobre, manganeso y zinc, así también escaza actividad bacteriana que induce a la aparición clorosis férrica. Cabe señalar que esta información es a una profundidad de 0-20 cm. (Mapa 2). La fijación de zinc al complejo de adsorción es más fuerte a medida que aumenta el pH del suelo, por lo que, en suelos con reacción neutra a alcalina disminuye su disponibilidad, así como en suelos con pH muy ácidos (Valenciana, 2003).

Cuadro 3. Distribución de las áreas por pH del suelo a una profundidad de 0-20 cm en la Región de la Frailesca, Chiapas.

Clasificación pH	Superficie (Ha)	Porcentaje
Fuertemente Ácido (Al)	12,196.00	2.00
Fuertemente Ácido	338,998.00	43.00
Moderadamente Ácido	373,959.00	48.00
Ligeramente Ácido	53,746.00	7.00
Total	778,899.00	100.00



Mapa 2. Zonificación de rangos de pH obtenidos de muestreos de suelos a una profundidad de 0-20 cm, en la Región de la Frailesca, Chiapas.

Este mismo análisis se realizó para una profundidad de 20-40 cm, en donde se observa que los niveles de acidez disminuyen ligeramente, ya que la mayor parte de la superficie se ubica en la clasificación moderadamente ácido con el 74%, e donde de acuerdo a la AEFA, es un suelo adecuado para la mayoría de los cultivos (pH 5.6 a 6.0). Esto se puede indicar que los valores de pH aumentan a mayor profundidad, que para el caso del cultivo de maíz puede ser una ventaja para la producción, sin embargo, el área radicular se localiza en mayor medida en la parte superficial (Cuadro 4) (Mapa 3). Si existe una deficiencia de boro no se forman nuevas raíces y tampoco nuevas brotaciones. Los óxidos de aluminio fijan más boro que los óxidos de fierro a pH 6.0, la adsorción de boro es aproximadamente 20 veces mayor en los óxidos de aluminio que en los óxidos de fierro (Yamada, 2000).

Cuadro 4. Distribución de las áreas por pH del suelo a una profundidad de 20-40 cm en la Región de la Frailesca, Chiapas.

Clasificación pH	Superficie (Ha)	Porcentaje
Fuertemente Ácido	56,330.00	7.00
Moderadamente Ácido	575,785.00	74.00
Ligeramente Ácido	146,784.00	19.00
Total	778,899.00	100.00



Mapa 2. Zonificación de rangos de pH obtenidos de muestreos de suelos a una profundidad de 0-20 cm, en la Región de la Frailesca, Chiapas

Conclusiones

- La mayoría de los productores maneja un sistema policultivos como maíz – frijol, maíz – canavalia, maíz – calabaza.

- Predomina el tipo de tenencia de la tierra ejidal con una superficie promedio de 4 Ha por por productor.
- El sistema de producción es tradicional, debido a los altos costos de producción que implica utilizar las nuevas tecnologías.
- Los productores carecen de asesoría técnica de calidad y de manera oportuna que retribuya en mejores niveles de producción.
- El destino de la producción es con intermediarios o coyotes ya que son los que ofrecen los mejores precios y de manera efectiva, pero sin precios de garantía.
- Los valores de pH de los suelos de la región frailesca son moderadamente ácidos según la AEFA, de acuerdo con el muestreo de suelos realizada a dos profundidades.
- Los contenidos de materia orgánica en el suelo son de rango bajo a medio debido a la poca incorporación de rastrojo del cultivo de maíz.
- El tipo de textura predominante en la primera capa de 0-20 cm obtenido de los muestreos de suelos fueron de textura franco arenosas y arenosas.
- El problema de compactación generalmente se presentó en la segunda capa de 20-40 cm, debido al uso excesivo de maquinaria en la preparación de los suelos.
- La problemática de los suelos ácidos está relacionada directamente con la compactación de los suelos, los bajos contenidos de materia orgánica y el uso de fertilizante amoniacales

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma Chapingo- Unidad Regional Universitaria Sursureste (URUSSE) y a los productores de maíz de la Región Frailesca, estado de Chiapas

Referencias

López, B.W., Reynoso, S. R., López, M. J., Camas, G. R., Tasistro, A., (2017) Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la Región Frailesca, Chiapas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol. 9(1). 65-79 p.

Lazcano, F. I. 1996. El encalado una buena parte de la solución al problema de los bajos rendimientos del maíz de la Frailesca en Chiapas. INPOFOS Informaciones Agronómicas Vol. 11, pp. 2-3, Querétaro, México.

Nieukoop. M. V., W. López B., A. Zamarripa M., P Cadena I., B. Villar S. y R. de la Piedra C. 1992. Uso y conservación de los recursos naturales en la Frailesca, Chiapas: Un diagnóstico, CIMMYT. pp. 32-34, México, D. F.

Valenciana, G. M. 2003. La función de los nutrientes secundarios y microelementos. 2ª. Edición. Editorial "ASAJA, pp. 13-19, Irapuato Guanajuato, México.

Yamada, T. 2000. Boro: ¿Se están aplicando las dosis suficientes para el adecuado desarrollo de las plantas? INPOFOS, Informaciones Agronómicas No.41, pp. 8-12, Brasil.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

INCIDENCIA DE MALEZAS EN EL SUELO CON BIOFUMIGACIÓN Y SOLARIZACIÓN

Hernández-Sánchez, M. I.[1]; Ortiz-Timoteo, V.[1*]; González-Granados, P.[1]; Sánchez-Fuentes, L. A. [1]; Torrero-Garza, Y.[1]

[1]Instituto Tecnológico Superior de Abasolo, Boulevard Cuitzeo de los Naranjos 401, Col. Cuitzeo de los Naranjos, Abasolo, Guanajuato, México. Tel. 01 429 106 1300 Ext. 1019.

*Autor responsable: virginia.ortiz@tecabasolo.edu.mx

Resumen
La solarización y biofumigación son procesos de aumentar la temperatura de suelo aprovechando la energía solar, una vez humedecido y cubierto con una lámina de plástico, preferentemente transparente y la aplicación de compuestos orgánicos para controlar la maleza. Evaluar la incidencia de malezas con el empleo de biofumigación y solarización fue el objetivo del trabajo. La solarización con el plástico negro disminuyó la incidencia de malezas y la biofumigación (5 kg de espárrago) redujo el número de especies de malezas.

Palabras clave
Maleza, control, plásticos, cultivos

Introducción
El uso de los productos químicos para el control de malezas causa degradación y contaminación de los suelos. Al respecto, Bórtoli *et al*. (2012) señalan que los herbicidas pueden alterar la estructura y funcionamiento del suelo. Por lo anterior es importante generar alternativas para disminuir las malezas. La biofumigación es un método utilizado para contrarrestar plagas y enfermedades, aunado con la solarización pueden ser efectivos para el control de malezas.
La solarización es el proceso de aumentar la temperatura de suelo aprovechando la energía solar, una vez humedecido y cubierto con una lámina de plástico, preferentemente transparente (Godoy *et al*., 2003). Autores como Navarro *et al.* (1991) disminuyeron la incidencia de malezas aun en condiciones de alta nubosidad y Parra *et al*. (2015) controlaron la aparición de las malezas con la biosolarización. Por tal motivo, el objetivo de este trabajo fue evaluar la incidencia de malezas con el empleo de biofumigación y solarización.

Materiales y Métodos

Localización del experimento

Invernadero del Instituto Tecnológico Superior de Abasolo (altitud: 1760 msnm y ubicación geográfica: 20º 26’32.45’’ N y 101º32’45.13’’ W.

Tratamientos

Cuadro 1. Tratamientos evaluados

Factor A	Factor B
Plástico negro	Espárrago 2.5 kg
	Espárrago 5 kg
Plástico blanco	Espárrago 2.5 kg
	Espárrago 5 kg
Plástico transparente	Espárrago 2.5 kg
	Espárrago 5 kg
Testigo	Espárrago 2.5 kg
	Espárrago 5 kg

Diseño: bloques completos al azar con arreglo factorial.

Establecimiento del experimento



Figura 1. Acondicionamiento y acolchado

Variables



Figura 2. Registro de temperatura



Figura 3. Conteo de malezas

Resultados y Discusión

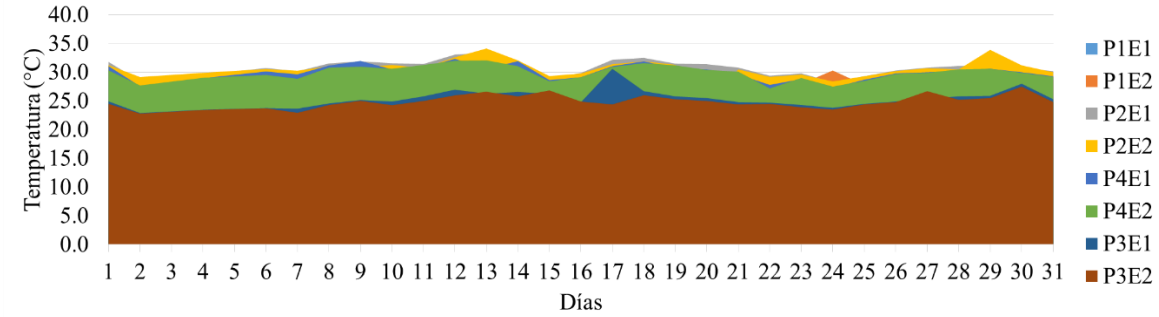


Figura 4. Temperatura en el suelo durante 31 días

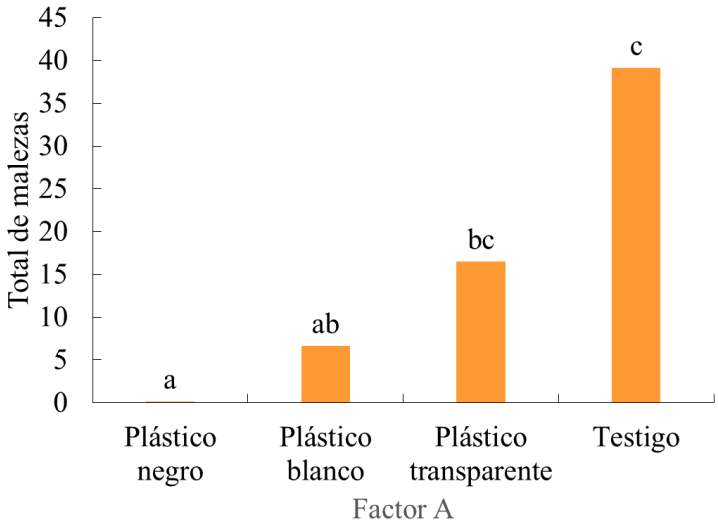


Figura 5. Total de malezas encontradas

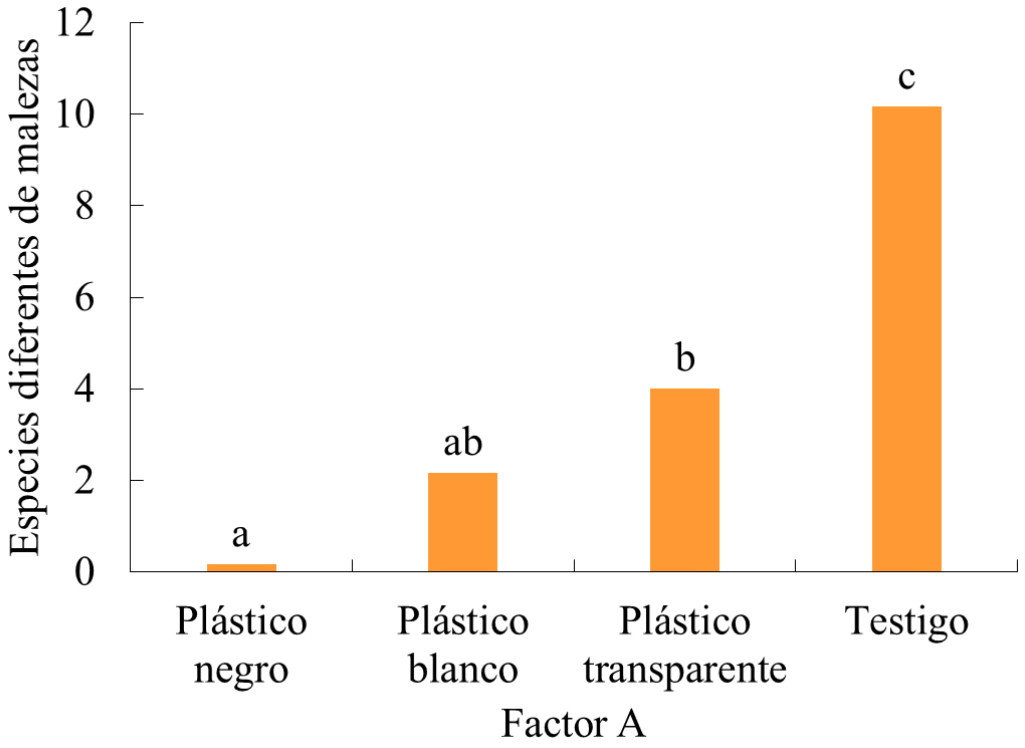


Figura 6. Número de especies diferentes de malezas encontradas.

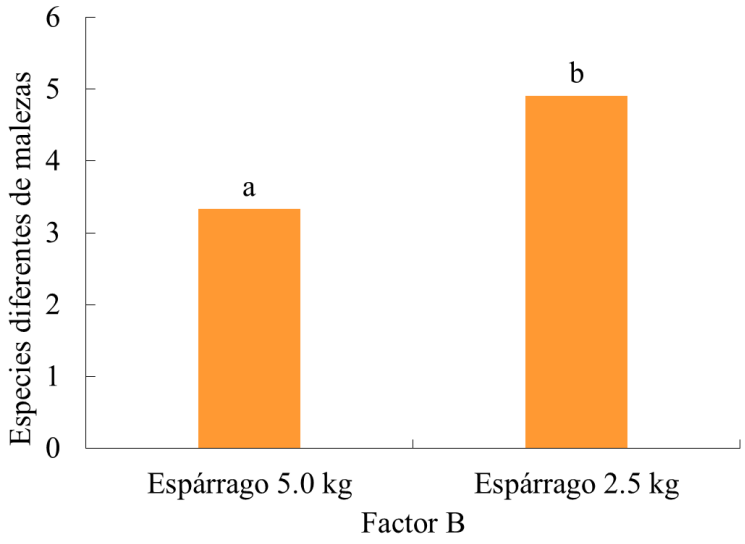


Figura 7. Total de malezas encontradas

Conclusiones

La solarización con el plástico negro disminuyó la incidencia de malezas y la biofumigación (5 kg de espárrago) redujo el número de especies de malezas.

Referencias

Bórtoli, P. V., R. A. Verdenelli, C. Conforto, S. Vargas y J. M. Meriles. 2012. Efectos del herbicida glifosato sobre la estructura y el funcionamiento de comunidades microbianas de dos suelos de plantaciones de olivo. Ecología Austral. 22: 33 – 42.

Godoy- Hernández, H., S. Villalobos-Reyes, G. Medina-Ramos, J. L. Marín-León, E. Aguilar-Ramírez, M. Maya-Castañeda, A. G. Juárez-Corona. 2013. Biosolarización. Técnica para el control de patógenos del suelo en invernadero. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico No. 18.

Navarro, J. R., D. Mora, J. Díaz, H. Vílchez y E. Corrales. 1991. Efecto de la solarización del suelo sobre la población de malezas y del hongo Rhizoctonia solani, durante la estación lluviosa en Alajuela, Costa Rica. Agronomía Costarricense. 15 (1/2): 93 – 98.

Parra, M. V., M. T. Sobrero y M. G. Pece. 2015. Solarización: una alternativa de control de malezas para viveristas. Foresta Veracruzana. 17 (1): 9 – 16.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

POTENCIAL DE LA CHICURA (*Ambrosia ambrosioides*) COMO PLANTA FITORREMEDIADORA DE SUELOS CONTAMINADOS POR COBRE.

Ramírez Gottfried, R.[1*]; García Carrillo, M.[2]; Álvarez Reyna V.[2]; Gonzales Cervantes G.[3]; Hernández Hernández V.[2]

[1]Alumno de postgrado Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila. México.
[2]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila. México.
[3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Gómez Palacio, Durango. México.

*Autor responsable: ricardo_gottfried@hotmail.com; Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fe s/n Col. Valle Verde, Torreón, Coahuila, México. C.P. 27054; Tel. +52(871)-332-4452

Resumen
En este experimento se evaluó la absorción de Cobre bajo diferentes concentraciones del mismo 0, 20, 40 y 60 ppm en la raíz, tallo y hoja de *Ambrosia ambrosioides*. El principal objetivo de este trabajo fue determinar si *Ambrosia ambrosioides* es una planta con potencial fitorremediador de suelo contaminado por metales pesados. Los resultados indican que las mayores concentraciones de cobre en raíz, tallo y hoja se presentaron en el tratamiento de 20 ppm, la mayor concentración de cobre en todo el experimento se presento en la raíz y fue de 16.90 mg/kg. En gran parte de los tratamientos las concentraciones en la parte aérea de la planta indican que esta planta es hiperacumuladora de cobre. La planta no mostro fitotoxicidad en ningún tratamiento.

Palabras clave: Ambrosia ambrosioides; fitorremediación; cobre;

Introducción
Una de las consecuencias más negativas de la revolución industrial ha sido la dispersión de los contaminantes en el agua, atmósfera y suelo. De éstos, el suelo es el medio más estático, donde los contaminantes pueden permanecer durante mucho tiempo. Esta permanencia a largo plazo es especialmente grave en el caso de contaminantes inorgánicos como los metales pesados, que no pueden ser degradados. Su persistencia, acumulación progresiva y/o su transferencia a otros sistemas supone una amenaza para la salud humana y la de los ecosistemas (Becerril *et al*., 2007).

Los metales pesados son especies químicos no degradables. Por tal motivo, una vez volcados al medio ambiente, sólo pueden distribuirse entre aire, agua y suelo, a veces cambiando su estado de oxidación, o incorporando se a los seres vivos (Vullo, 2003). Se definen como “metales pesados” aquellos elementos químicos que presentan una densidad igual o superior a 5 g/cm cuando están en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalinotérreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0,1% y casi siempre menor del 0,01%. Se pretende indicar con este término aquellos metales que, siendo elementos pesados, son “tóxicos” para la célula (Navarro *et al*., 2007).

Pueden alcanzar niveles de concentración que provocan efectos negativos en las propiedades físicas, químicas y biológicas en los suelos como: reducción del contenido de materia orgánica, disminución de nutrimentos, variación del pH generando suelos ácidos, efectos adversos en el número, diversidad y actividad en los microorganismos de la rizósfera, dificultan el crecimiento de una cubierta vegetal protectora favoreciendo la aridez, erosión del suelo y la dispersión de los contaminantes hacia zonas y acuíferos adyacentes y como consecuencia aumenta la vulnerabilidad de la planta al ataque por insectos, plagas y enfermedades, afectando su desarrollo (Trejo *et al*., 2015). Cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanzan niveles que rebasan los límites máximos permitidos causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal y el desarrollo de las plantas, y un disturbio funcional en otros componentes del ambiente así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo, el término que se usa o se emplea es "polución de suelos" (Prieto *et al*., 2009).

En las últimas décadas del siglo XX surgieron tecnologías basadas en el empleo de organismos vivos para descontaminar suelos o emplazamientos contaminados y recuperar los ecosistemas afectados. Cuando estas tecnologías se basan en el uso de plantas, globalmente reciben el nombre de fitorremediación. Se define como el uso de plantas verdes para eliminar los contaminantes del entorno o para reducir su peligrosidad (Carpena *et al*., 2007). En México, al igual que en muchos países, la prevención de la contaminación del ambiente (suelo, agua y aire) y su recuperación es una prioridad. Las plantas se utilizan como sistemas directos o indirectos de descontaminación. En el primer caso, las plantas participan en la modificación del contaminante a través de la absorción, secuestración o acumulación (González, 2005).

Una ventaja de la fitorremediación es que los metales absorbidos por las plantas, pueden ser extraídos de la biomasa cosechada y después ser reciclados. La fitorremediación se puede utilizar para limpiar una gran variedad de contaminantes, por su capacidad de absorción de estos metales en sus raíces (Agudelo *et al*., 2005).

El género *Ambrosia* L. pertenece a la familia *Asteraceae (Compositae)* y está constituido por casi cuarenta especies originarias, la mayor parte, de Norteamérica y Sudamérica, desde donde se han propagado a otras áreas del globo, especialmente a Europa y Japón, en las cuales se consideran sinantrópicas, es decir, plantas ligadas a la acción voluntaria o involuntaria del hombre, que generalmente tiende a modificar su área de distribución natural (Morales *et al*., 2012). Suelen ser hierbas anuales, bienales o perennes, excepcionalmente arbustos, con tallos erectos, ramificados en la mitad superior, hojas alternas, opuestas o sub opuestas, enteras, lobuladas o profundamente divididas, pecioladas o subsésiles, con peciolo alado o áptero (Morales *et al*., 2012). *Ambrosia ambrosioides* es la ambrosía arbustiva más común, se encuentra en los lavados de arena y áreas alteradas como los bordes de las carreteras, orillas de ríos y ocasionalmente en las grietas de las rocas (Turner *et al*., 1995).

Materiales y Métodos

Colecta de Plantas: Las plantas fueron colectadas en el lecho seco del Rio Nazas entre Torreón y Gómez Palacio, se eligieron plantas entre 20 y 30 cm de altura, fueron extraidas desde la raíz y colocadas en macetas de aproximadamente 500 cm^3 se les coloco suelo de la misma zona y fueron regadas.

Adaptación: Después de colectadas las plantas fueron introducidas en un invernadero de la UAAAN-UL por 21 días, durante este tiempo las plantas fueron regadas con solución nutritiva Steiner.

Preparación de los tratamientos: En garrafones de plástico con capacidad de 20 litros, se realizo una mezcla de solución Steiner previamente preparada en agua destilada y el estándar del Cobre de mil partes por millón de la marca Perkir Elmer en las proporciones presentadas en el cuadro 1; los tratamientos fueron de T1=0, T2=20, T3=40 y T4=60 ppm de Cobre.

Cuadro 1: Proporciones utilizadas para la preparación de los tratamientos

Tratamiento	Cantidad de Solución Steiner	Cantidad de Cobre
T1	10 L	0
T2	9.8 L	200 mL
T3	9.6 L	400 mL
T4	9.4 L	600 mL

Desarrollo del Experimento: Las plantas fueron trasplantadas a recipientes de 1200 cm^3 de volumen con un sustrato compuesto por perlita (20%) y arena (80%). Desde que se realizo el trasplante y cada tercer día las plantas fueron regadas con 250 ml de solución de su respectivo tratamiento. El experimento tuvo una duración de 42 días con un total de diez riegos.

Cosecha de Plantas: Al término de la aplicación de los tratamientos las plantas fueron extraídas de las macetas en donde se encontraban. Las plantas fueron lavadas y separadas en hoja, tallo y raíz; estas mismas se dejaron secar.

Preparación de digestiones, Método de Calcinación: El proceso inicia con la molienda, aquí la planta es triturada y molida hasta que queda de una manera homogénea y con textura de polvo, las muestras molidas se colocaron en bolsas de plástico. A continuación se pesa 1 g de muestra en un crisol de peso constante de 40 o 50 mL para proceder a introducirlos en una mufla donde se calcinara la muestra de planta a una temperatura de 600 C° por 4 h. Posteriormente que se realizó la calcinación, la ceniza que quedo en el crisol se le agregan 10 mL de HCL al 37% agitando por 10 segundos y se deja reposar 20 minutos. La muestra contenida en el crisol se pasa a un matraz volumétrico de 100 mL, se le agregan 10 mL de cloruro de cesio y se afora el resto del contenido con agua destilada. Una vez aforado el matraz volumétrico se pasa a filtrar colocando el residuo en botes de plástico de 100 mL, el residuo obtenido en el bote es el utilizado para hacer los análisis.

Determinación de la concentración de Cobre: La cuantificación del cobre se realizo en un espectrofotómetro de absorción atómica utilizando para la curva de calibración un estándar de 1000 ppm.

Resultados y Discusión

Los principales resultados encontrados en el presente trabajo de investigación se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Concentraciones de Cobre encontrados en hoja, tallo y raíz de la *Ambrosia ambrosioides*.

		Concentración (mg/kg)		
Tratamiento	**Repetición**	**Raíz**	**Tallo**	**Hoja**
1	1	0.84	0.08	1.67
1	2	0.78	0.11	1.31
1	3	0.90	0.13	2.49
1	4	1.07	0.11	1.22
2	1	20.13	13.03	4.52
2	2	16.72	14.83	6.76
2	3	16.90	11.23	5.00
2	4	13.86	13.03	5.43
3	1	0.43	3.03	4.26
3	2	0.50	2.98	3.59
3	3	0.43	2.69	2.38
3	4	0.57	3.43	3.22
4	1	0.38	1.73	5.82
4	2	0.25	1.92	4.38
4	3	0.38	1.98	5.34
4	4	0.50	2.29	5.82

T1: 0 ppm, T2:20 ppm, T3:40 ppm y T4: 60ppm de Cobre.

Para el análisis estadístico se utilizo un diseño completamente al azar con 4 tratamientos y 3 niveles de respuesta (raíz, tallo y hoja); en el Cuadro 3 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de medias realizada por el método de Tukey's ($P \leq 0.05$).

Cuadro 3: Comparación de medias para la concentración de Cobre en raíz, tallo y hoja.

	Tratamientos				
	0 ppm	**20 ppm**	**40 ppm**	**60 ppm**	**C.V.**
Raíz	0.89 B	16.90 A	0.48 B	0.37 B	27.53%
Tallo	0.10 C	13.03 A	3.03 B	1.98 B	16.73%
Hoja	1.67 C	5.42 A	3.36 B	5.34 A	19.34%

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey's $P \leq 0.05$).

La mayor concentración de cobre en la raíz de la planta se presento en el tratamiento de 20 ppm con 16.90 mg/kg, en los tratamientos de 40 y 60 ppm no se encontró diferencia significativa. En el tallo la mayor concentración se encontró en el tratamiento de 20 ppm con 13.03 mg/kg y la menor en el de 0ppm con 0.10 mg/kg, las concentraciones en los tratamientos de 40 y 60 ppm fueron estadísticamente similares. En la hoja los tratamientos que mostraron las más altas concentraciones fueron el de 20 y 60 ppm, fueron estadísticamente iguales pero numéricamente diferentes con una concentración de 5.42 y 5.34 mg/kg respectivamente, la menor concentración en la hoja se encontró en el tratamiento de 0 ppm con 1.67 mg/kg.

A pesar de la ausencia de cobre en el tratamiento de 0 ppm se presentaron concentraciones del metal en raíz, tallo y hoja; esto es debido a que la planta fue colectada de campo y es probable que el metal estuviera presente en la planta desde su zona de origen.

Las especies hiperacumuladoras son capaces de acumular más de 1.000 mg/kg de metal en su biomasa aérea. (González *et al*., 2008). En este experimento el tratamiento de 20 ppm presento acumulaciones mayores a 1 en raíz, tallo y hoja; en los tratamientos de 40 y 60 ppm las concentraciones mayores a 1 se presentaron en el tallo y la hoja, en el tratamiento de 0 ppm solo en la hoja se encontró una concentración mayor.

Conclusiones

El cobre a una concentración de 20 ppm fue el que presento las mayores acumulaciones en raíz, tallo y hoja. La mayor concentración de cobre en el experimento se presento en la raíz.
En la mayoría de los tratamientos en las estructuras aéreas de la planta se encontraron concentraciones superiores a 1 por lo cual se puede concluir que la *Ambrosia ambrosioides* es una planta hiperacumuladora de Cobre. La planta mostro fitotoxicidad en ningún tratamiento.

Agradecimientos

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para realizar estudios de maestría CVU No 815402.

Referencias

Agudelo Betancur, L. M., Macias Mazo, K. I., & Suárez Mendoza, A. J. (Enero-Junio de 2005). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *Revista Lasallista de Investigación*, *II*(1), 57-60.

Becerril, J., Barrutia, O., García Plazaola, J., Hernández, A., Olano, J., & Garbisu, C. (Mayo de 2007.). Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. *Ecosistemas*, *XVI*(2), 50-55.

Carpena, R., & Bernal, M. P. (Mayo de 2007). Claves de la fitorremediación:fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas*, *XVI*(2), 1-3.

González Chávez, M. d. (Enero-Marzo de 2005). Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos rizosféricos. *Terra Latinoamerica*, *XXIII*(1), 29-37.

Hernández Colorado, R. R., Alvarado, A. L., & Rosaura M., R. (2012). Acomulación de cobre en plantas silvestres de zonas agrícolas contaminadas con el metal. *Ciencia y Tecnología*, 55-61.

M. Turner, R., Bowers, J. E., & Brugess, T. L. (1995). *Sonoran Desert Plants: An Ecological Atlas* (First Edition ed.). Tucson: The University of Arizona Press.

Morales, A. A., Navarro Andrés, F., & Sánchez Anta, M. A. (Octubre de 2012). Datos corológicos y morfológicos de las especies del género Ambrosia L. (Compositae) presentes en la Península Ibérica. *Botanica Complutensis*(36), 85-96.

Navarro Aviño, J., Aguilar Alonso, I., & López Moya, J. (Mayo de 2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*, *XVI*(2), 10-25.

Prieto Méndez, J., González Ramírez, C. A., Román Gutiérrez, A. D., & Prieto García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *X*(1), 29-44.

Trejo Calzada, R., Pedroza Sandoval, A., Reveles Hernández, M., Ruíz Torres, J., & Arreola Avila, J. G. (2015). Especies vegetales de zonas áridas para la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. En F. d. UJED, *Libro Tópicos Selectos de Sustentabilidad: Un Reto Permanente.* (págs. 87-104).

Vullo, D. L. (Diciembre de 2003). Microorganismos y metales pesados: una interaccion en beneficio del medio ambiente . *Química Viva* , *II*(3), 93-104.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 al 5 de octubre de 2018

REDIMENSIONAMIENTO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO INTERMITENTE DEL INGENIO EMILIANO ZAPATA

González-Meraz, J.[1]*; Castillo-Solís E.[1]

[1]Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Semarnat, Jiutepec, Morelos, México.

*jgmeraz@tlaloc.imta.mx; Paseo Cuaunahuac # 8532, colonia Progreso, Jiutepec, Mor., México, C. P. 62550, Tel. +52(777)329-3600, ext. 196.

Resumen

La puesta en marcha de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio morelense de Zacatepec y la instalación de mecanismos más eficientes en el uso de agua en los procesos de la fábrica del ingenio Emiliano Zapata, ha resultado en una disminución significativa del volumen de las aguas residuales descargadas. Se debe hacer un re-planteamiento de las dimensiones del humedal artificial de flujo intermitente establecido en 2011 en 258 ha de terrenos aledaños al ingenio y que tiene por finalidad la disposición segura de sus aguas residuales, conforme a las condiciones y normas establecidas (Ley Federal de Derechos y Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996). Al disponer de menor volumen, la superficie a regar tendrá que ser menor, pero también deberán de hacerse algunas adaptaciones de infraestructura. El objetivo del presente trabajo es determinar una nueva superficie del humedal artificial del mencionado ingenio, dadas las nuevas condiciones de disponibilidad del efluente. El gasto actual estimado de agua residual de descarga del Ingenio Emiliano Zapata es de 27 dm^3/s. Si se mantiene una relación de mezcla 1:1 (efluente: agua del río Apatlaco), se obtiene una disponibilidad de 54 dm^3/s, resultando así en la reducción de la superficie del humedal artificial de 258 a 54 ha. Los resultados analíticos del agua subterránea somera indican que se continúa cumpliendo con los límites normativos. Se propone la rehabilitación y modernización de cuatro estructuras de distribución, lo cual facilitará el manejo y la operación del efluente para el riego de la caña de azúcar.

Palabras clave:

Aguas residuales; humedal artificial; riego; norma oficial

Introducción

El presente trabajo tiene como antecedente la instalación del citado humedal artificial realizado en 2011. En aquella ocasión, se determinó un gasto medio de agua residual de 130 dm^3/s, pero considerando que se recomendaba mezclar con agua del río a una relación 1:1 entre ambas fuentes de agua, entonces el caudal medio de diseño considerado fue de 260 dm^3/s. De acuerdo al volumen disponible, al requerimiento de riego de la caña de azúcar y a la eficiencia global de uso del agua estimada en 60%, resultó que la superficie requerida para disponer de este volumen fue de 258 ha.

En otras palabras, 258 ha fue la superficie que debía ser utilizada para que no se generarán volúmenes sobrantes que pudieran representar riesgos de contaminación a los cuerpos de agua locales (rio

Apatlaco y acuífero somero local). Lo anterior, siempre y cuando los volúmenes de riego fueran aplicados de acuerdo a los parámetros de gasto y tiempo establecidos en el diseño de riego y a la correcta aplicación del agua de riego en cada parcela.

El objetivo del presente estudio fue hacer una nueva evaluación del tamaño del humedal artificial de flujo intermitente del ingenio Emiliano Zapata, dado que se instalaron nuevos mecanismos, más eficientes en el uso del agua en sus procesos de fábrica, lo cual ha resultado en una disminución significativa del volumen medio de sus aguas residuales, de 130 a 40 dm^3/s.

Materiales y Métodos

1. Aforo de las aguas residuales. Se realizaron 7 aforos en el canal de descarga de aguas residuales del ingenio. Cada aforo consistió de mediciones del caudal cada 15 minutos durante 2 horas continuas en diferentes fechas. Con esta actividad se estimó un caudal medio de diseño.

2. Proyecto ejecutivo para la modificación de la red de conducción de las aguas residuales. Después de realizar diversas visitas de campo, se realizó una evaluación del estado actual de las estructuras que se encuentran instaladas a lo largo del canal de descarga del ingenio y que son principalmente compuertas deslizantes, todas dentro del campo Purísimas.

3. Determinación de la freatimetría. Para el redimensionamiento del humedal, también es importante instalar pozos de observación del nivel freático somero, con el propósito de monitorear las variaciones del nivel freático y de muestrear y analizar la calidad del agua freática somera.

4. Muestreo y análisis del agua subterránea somera en los parámetros requeridos por la Norma Oficial NOM-001-SEMARNAT-1996. Finalmente se realizó un muestreo y análisis del agua freática somera para determinar sus características físicas y químicas del agua subterránea somera. La parte física comprende la medición de la profundidad del nivel freático en los 4 pozos instalados.

Resultados y Discusión

El gasto medio encontrado en las evaluaciones del caudal durante marzo, abril y mayo de 2015 es 26.88 dm^3/s, en términos prácticos 27 dm^3/s.

Por otro lado, considerando los parámetros físicos y químicos de suelo definidos en el proyecto de 2011 para la zona de estudio, y considerando una relación 1:1, la capacidad del sistema de riego se tomará como 54 dm^3/s, De esta manera, la superficie total a regar es de 54 ha.

Dada la cercanía al canal de descarga del ingenio, se determinó el campo Purísimas como el área donde se redimensionará el humedal artificial del Ingenio Emiliano Zapata. Este campo tiene una extensión total de 90.68 ha, de las cuales se cultivan aproximadamente 65 ha. Si requerimos de 54 ha para instalar el humedal, entonces quedan 11 ha que pueden ser consideradas como zonas de amortiguamiento para recibir los caudales máximos temporales que se presentan de manera ocasional en la descarga. El trazo y la dirección de riego por cada parcela se muestran en la figura 1.

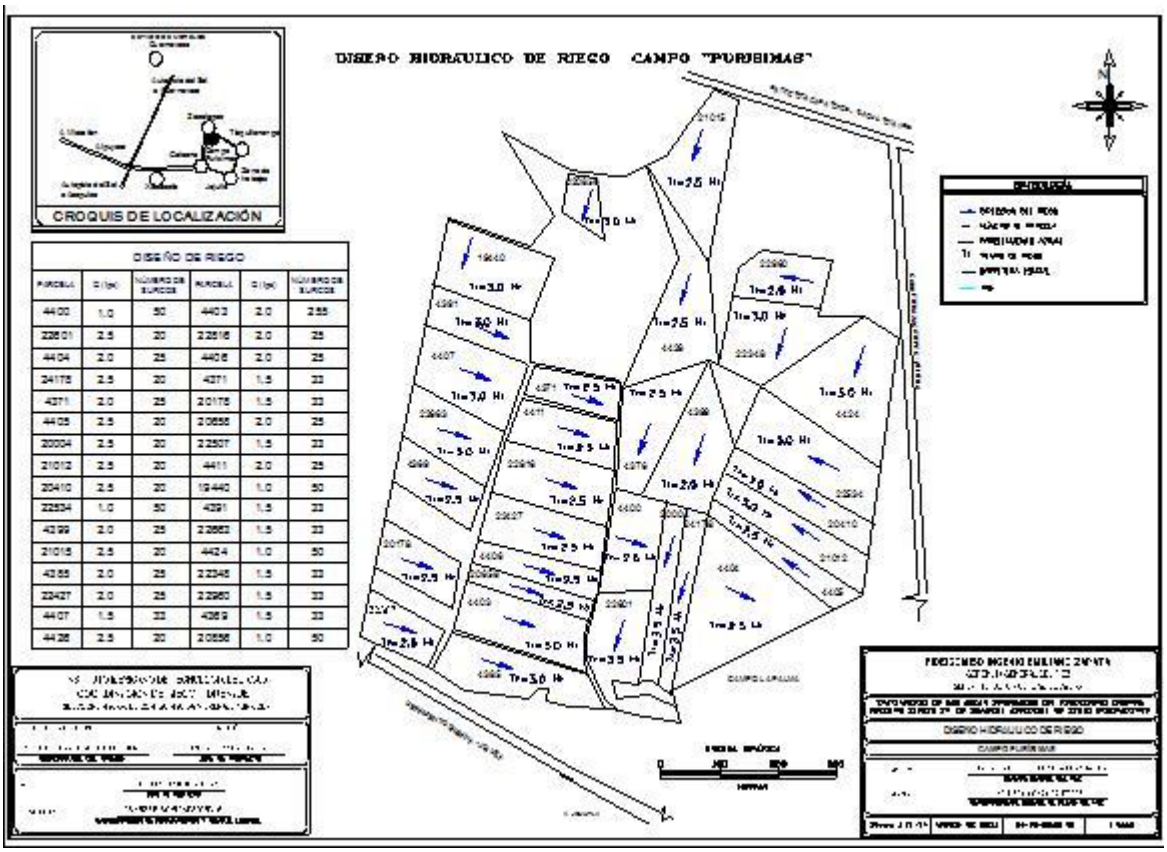


Figura 1. Parámetros de diseño del sistema de riego superficial del campo Purísimas (IMTA, 2011).

Se propone la modernización o rehabilitación de diversas obras que faciliten el manejo y la operación del agua de descarga para ser aplicadas en el riego de la caña de azúcar. Las obras a realizar consisten en la construcción de dos estructuras de derivación con caída y la rehabilitación de dos estructuras de distribución. Las especificaciones técnicas de estas estructuras no se detallan en el presente reporte.

En la figura 2 se muestra la ubicación de los 4 sitios donde se pretenden realizar los trabajos de modernización de la infraestructura de la red de distribución del campo Purísimas.



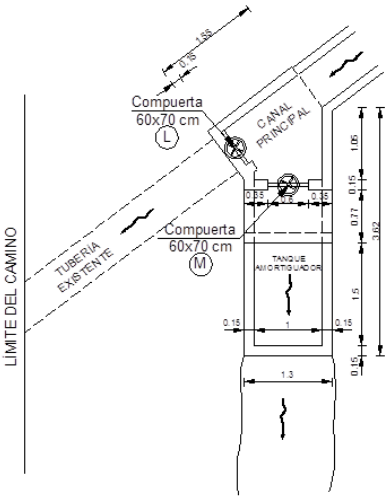


Figura 2. Ubicación de las estructuras a modernizar. A la derecha, vista en planta del diseño de la estructura de derivación 02.

Para cubrir el área de estudio se definieron cuatro sitios para instalar los pozos de observación, de acuerdo a la variabilidad espacial del manto freático somero detectada en los trabajos de 2011.
Una vez que los puntos fueron debidamente ubicados (GPS) en la zona de estudio, se realizaron las perforaciones de los pozos (fig. 3), hasta una profundidad máxima de 3 m, con un diámetro de 15 cm (6”).



Figura 3. Ubicación de los pozos de observación del nivel freático.

Por otro lado, los resultados de los análisis de en el laboratorio de las muestras de agua freática de cada pozo de observación se presentan en el cuadro 1. También se analizaron los metales pesados As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni y Pb, resultando que todos estos parámetros se encuentran dentro de los límites marcados por la Norma Oficial NOM-001-SEMARNAT-1996 (resultados no mostrados).

Cuadro 1. Resultados analíticos de las muestras de agua freática de los pozos de observación.

Parámetros	Número de pozo				NOM-001-SEMARNAT-1996 **
	1	2	3	4*	
Colifomes fecales (NMP/100 mL)	43	< 3	4		1.0×10^3
Temperatura (°C)	25.5	28.5	28.5		N. A.
pH	7.07	7.43	7.53		---
Conductividad eléctrica (dS/m)	1.22	2.22	1.41		---
Grasas y aceites (mg/L)	< 8.56	< 8.56	15.1		15-25
DBO_5 (mg/L)	< 1.1	2.3	2.7		150-200
DQO (mg O_2/L)	23.9	47.6	27.2		500
Sol. suspendidos totales (mg/L)	76.7	53.0	20.4		220
Sol. sedimentables (mg/L)	< 0.5	< 0.5	< 0.5		1-2
$N(NH_3)$ (mg/L)	< 0.652	< 0.652	< 0.652		---
$N(NO_3)$ (mg/L)	1.67	0.490	0.741		---
$N(NO_2)$ (mg/L)	0.0327	< 0.0213	< 0.0213		---
N-total Kj (mg/L)	< 1.30	1.76	3.38		---
N-total (mg/L)	1.70	2.25	4.12		40-60
P-total (mg/L)	< 0.41	< 0.41	< 0.41		20-30

* El pozo 4 se encontró deshabilitado por el paso de maquinaria agrícola.
** Uso en riego agrícola

Del cuadro anterior, se observa que todos los parámetros se encuentran dentro de los límites marcados por la Norma Oficial NOM-001-SEMARNAT-1996, tal y como sucedió en 2011.

Conclusiones

El caudal estimado de agua residual de la fábrica del Ingenio Emiliano Zapata es de 27 dm^3/s. Si se mantiene una relación de mezcla 1:1 (con agua del río Apatlaco), se obtienen 54 dm^3/s, resultando así en la reducción de la superficie del humedal artificial de flujo intermitente del Ingenio Emiliano Zapata de 258 ha (IMTA, 2011) a 54 ha.

Dada la cercanía al canal de descarga del ingenio, se determinó el campo Purísimas como el área que ocupará el humedal artificial del Ingenio Emiliano Zapata. Este campo tiene una superficie total de 90.68 ha, de las cuales se cultivan aproximadamente 65 ha.

El agua subterránea somera del campo Purísimas cumple con los límites normativos establecidos en todos los pozos de observación para la descarga de aguas residuales en suelos y cuerpos de agua,

Referencias

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2011. Tratamiento de las aguas residuales del Ingenio Emiliano Zapata en un humedal artificial de flujo intermitente. Clave de proyecto RD1008.3, SEMARNAT, México.

Ley Federal de Derechos. 2008. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 31 de diciembre de 1981. Últimas reformas publicadas DOF 13-11-2008. Cámara de Diputados, México.

Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 1996. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. México.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

CONTAMINACIÓN POTENCIAL DE METALES PESADOS EN SUELOS DE LA COMARCA LAGUNERA, MEXICO.

Urbina-Martínez MA. [1]*; Luna-Anguiano J.[1]; Buendía García A.[1]; Covarrubias- Castro R.[1] Rivera-González MJ.[1]; Becerra-Delgado NG.[1]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL**).** Periférico y carretera a Santa Fe s/n. Col. Valle verde, Torreón Coahuila. CP. 27000.

*Autor por correspondencia: drlunajesusluna@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el año 2017, en tres localidades, donde fueron tomadas las muestras del suelo: San Miguel Municipio de Matamoros Coahuila, Cd. Juárez Municipio de Lerdo Durango, y en Venecia Durango, Municipio de Gómez Palacio Dgo. Las muestras de suelo fueron analizadas en el laboratorio de suelos, ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, en el Municipio de Torreón, Coahuila, México. Durante los meses de enero a marzo del mismo año. El objetivo principal consistió, en caracterizar el estado actual de los suelos agrícolas con cultivos hortícolas de la comarca lagunera, al determinar el contenido de cinco metales pesados. En arsénico la localidad de Matamoros resulto con el mayor valor 0.18 ppm, para cadmio, Cd. Juárez resulto con el valor más alto 0.49 ppm, en concentraciones de cobre el mayor valor resulto la localidad de Matamoros con 8.2 ppm, para el plomo, el mayor valor fue para la localidad de Cd. Juárez con 27.83 ppm y para el Zinc, la mayor concentración se encontró en Venecia con 22.11 ppm. Lo anterior muestra que estos suelos presentan altas concentraciones de metales pesados.

Palabras clave: Biodisponibilidad; fitotoxicos; degradación química; suelo.

Introducción

Los metales pesados se han convertido en un tema actual tanto en el campo ambiental como en el de salud pública. Los daños que causan son tan severos y en ocasiones tan ausentes de síntomas, que las autoridades ambientales y de salud de todo el mundo ponen mucha atención en minimizar la exposición de la población, en particular de la población infantil, a estos elementos tóxicos (Valdés Perezgasga y Cabrera Morelos, 1999). La concentración de metal total en el suelo no se corresponde necesariamente con la biodisponibilidad del metal. La biodisponibilidad de los metales pesados depende de un número de factores físicos y químicos en el suelo. Estos incluyen las propiedades del suelo como; PH, contenido de materia orgánica, concentraciones de sulfatos, carbonatos, hidróxidos, textura del suelo y contenido de arcilla. Esta acumulación se realiza generalmente como consecuencia de actividades humanas exógenas, aunque también se puede producir de forma natural o endógena cuando los procesos de edificación liberan elementos químicos contenidos en las rocas y los concentran en el suelo alcanzando niveles tóxicos. El problema en la comarca lagunera, es provocado por elementos pesados tales como el plomo, cadmio y arsénico, entre otros,

elementos altamente dañinos para los humanos. Sin embargo, de acuerdo a estudios realizados con anterioridad, a denuncias y a las acciones que se han realizado en torno a este problema, se tiene como actor principal al plomo. Las concentraciones de algunos elementos metálicos [As (V), Cd (II), Co (II), Cu (II), Hg (II), Mn (II), Ni (II), Pb (II) y Zn (II)], ejercen efectos fitotóxicos en cultivos en solución. A pesar de que el aluminio (Al) es un metal traza importante, no fue incluido en el estudio actual, por sus resultados en los efectos tóxicos de la acidificación del suelo, ni de traza metales raros (como el Ga, Di-s, y Sc) que si fueron incluidos. Además, la toxicidad de Fe se limita a suelos saturados de agua, y si bien, puede ser de particular interés en las condiciones de arroz, por lo que fue excluido del presente estudio. Para el arsénico, sólo arseniato, As (V), se consideró; esta especie domina en condiciones aerobias. Dado el amplio rango de concentraciones que se han divulgado para ser tóxicos, los criterios se establecieron por primera vez, para minimizar la influencia de las condiciones experimentales en la aparente "toxicidad" de los nueve metales traza. Esta revisión de la literatura incluye únicamente los resultados de estudios que cumplen con dichos criterios. La importancia de la hiperacumulación, se da por que los metales pesados están presentes de forma natural en los suelos, pero en los últimos años las actividades industriales y la deposición de residuos tóxicos de todo tipo, han contribuido a la acumulación de estos elementos en los suelos. A menudo, la contaminación por metales pesados está directamente causada por la actividad industrial y minera, pero los casos más graves se han dado de forma accidental. La presencia en el ambiente de metales como Pb, Hg, Cd, As, Se y Cr, es muy dañina para la salud humana y para la mayoría de los organismos vivos. El objetivo principal del presente trabajo, consistió, en caracterizar el estado actual de los suelos agrícolas con cultivos hortícolas de la comarca lagunera, al determinar el contenido de cinco metales pesados.

El hombre los ha extraído de los depósitos subterráneos, los ha fundido, refinado y convertido en bienes de consumo que, después de usados, desecha. Durante cada una de estas operaciones se liberan metales al ambiente (Wong *et al*., 2006). El rasgo distintivo de la fisiología de los metales pesados, es que aún cuando muchos de ellos son esenciales para el crecimiento de los seres vivos como; Na, K, Mg, Ca, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, y Mo, se ha reportado que también tienen efectos tóxicos sobre las células, principalmente como resultado de su capacidad para alterar o desnaturalizar las proteínas (Cañizares-Villanueva, 2000La acumulación de éstos, sobre todo en áreas urbanas, genera la dispersión de gran diversidad de compuestos en suelos, aguas superficiales y aire, con la consecuente filtración de los mismos hacia las aguas subterráneas: Los acuíferos que constituyen la reserva de agua potable (Suarez y Reyes, 2002).

Los metales pesados cada vez amenazan más nuestra salud, el envenenamiento por estos, es la acumulación tóxica de los mismos en los tejidos blandos del cuerpo (Awofolu *et al.*, 2005; Hu *et al*., 2007), ocurre cuando las cantidades tóxicas de los metales pesados, son Inhaladas como polvo, gases o vapores, ingeridas a través de la comida o bebida en sobredosis (accidental o intencional) o suplementos alimenticios/vitaminas (Cervantes *et al*., 2006). Puede tener lugar a lo largo de los años o en cuestión de minutos (Meneses-González *et al*., 2001; Galván-Bobadilla *et al*., 2005). El sistema suelo-planta se considera un sistema abierto, que se encuentra sujeto a aportes, tales como contaminantes, fertilizantes y pesticidas, y también a pérdidas, mediante lixiviación, erosión o volatilización. La incorporación de los metales pesados por las plantas se produce fundamentalmente desde el suelo, a través de las raíces, y está influenciada por varios factores entre los que destacan el tipo de suelo, la temperatura, pH, aireación, condiciones redox y fertilización, la especie vegetal, el momento del desarrollo y el sistema radicular, entre otros. La actividad

industrial puede contaminar el suelo vía aérea, a través de la deposición de material particulado y emisiones gaseosas, como ocurre con las fundiciones y el transporte. También puede contaminar a través de aguas residuales como ocurre con la minería del cobre, industria automotriz, curtiembre, industria de la celulosa, galvanoplastia y otras (Carrasco, 2005).

Materiales y métodos

El presente trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de suelos ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, en el municipio de Torreón, Coahuila, México. Se eligieron tres localidades de la Comarca Lagunera, la primera localidad se ubica en un área de siembra de hortalizas bajo un régimen de riego con agua residual, la cual se encuentra en el ejido San Miguel Municipio de matamoros Coahuila. La segunda localidad está ubicada en un área de siembra de hortalizas bajo agricultura orgánica, específicamente donde se realicen aplicaciones de estiércol solarizado, las muestras se tomaron en el ejido Venecia Durango, en el municipio de Gómez Palacio. La tercera localidad se encuentra en un área de cultivo hortícola convencional donde se emplean prácticas agrícolas de fertilización química y los riegos son aplicados con agua proveniente del rio Nazas, Ubicada en Cd. Juárez En el municipio de Cd. Lerdo Durango. Los puntos de muestreo y su localización geográfica son los siguientes: San Miguel W: 103° 13′ 41″, N: 25° 31′ 40″ a 1120 msnm, Cd. Juárez W: 103° 44´ 033”, N: 25° 31′ 40″ a 1150 msnm y Venecia W: 103° 22´ 60´´, N: 25° 46´ 23´´ a 1139 msnm. El muestreo se realizó utilizando la técnica al azar tomando muestras de 0-15, 15-30, 30-60, en cada uno de los tres puntos, las muestras se obtuvieron en el mes de Julio del 2017. Se tomaron 3 muestras al azar al inicio del experimento para determinar las características en las que se encontraba el suelo, se tomaron las muestras en bolsas de plástico de 2 kg de capacidad y se transportaron en hieleras para después ponerlas a secar y una vez que perdieron la humedad se tamizaron para posteriormente realizar los análisis respectivos.

Para llevar a cabo los análisis de los metales pesados en el suelo de las tres localidades estudiadas se utilizaron 5 g de la muestra de cada sitio y éstas se leyeron directamente en el espectrofotómetro de absorción atómica modelo Perkin Elmer 2380. El análisis estadístico para la interpretación de los resultados se realizó mediante el paquete computacional (SAS), Statistical Analysis System Ver. 6.18 (1998). Se utilizó un diseño estadístico en parcelas divididas en localidades o bloques al azar en localidades y 10 repeticiones con 3 profundidades. Las variables a evaluar fueron: cantidades en ppm de Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Plomo (Pb) y Zinc (Zn).

Resultados y discusiones

La mayor concentración fue en la localidad de Cd. Juárez con un valor de 0.49 ppm, las localidades de Matamoros y Venecia reportan valores de 0.40 ppm y 0.23 ppm respectivamente (Figura 2). En Toyama, Japón, la ingesta de arroz que fue regado con agua contaminada con cadmio, produjo una entrada al cuerpo de unos 300 microgramos diarios de ese metal. El cadmio provenía de una explotación minera de las cercanías. La enfermedad se la conoce como (ay ay) por lo dolorosos síntomas de las fracturas múltiples producidas por osteomalicia (reblandamiento de los huesos). En Shipham, una población cercana a una mina de zinc en Inglaterra, se observó que los habitantes tenían signos de toxicidad por cadmio, presentando en

el hígado unos niveles de metal cinco veces superior a los encontrados en habitantes de áreas no contaminadas. Las verduras cultivadas en el área cultivada contenían más de 7 mg/kg de peso seco, concentración muy superior al contenido de cadmio encontrado en la intoxicación de Japón.

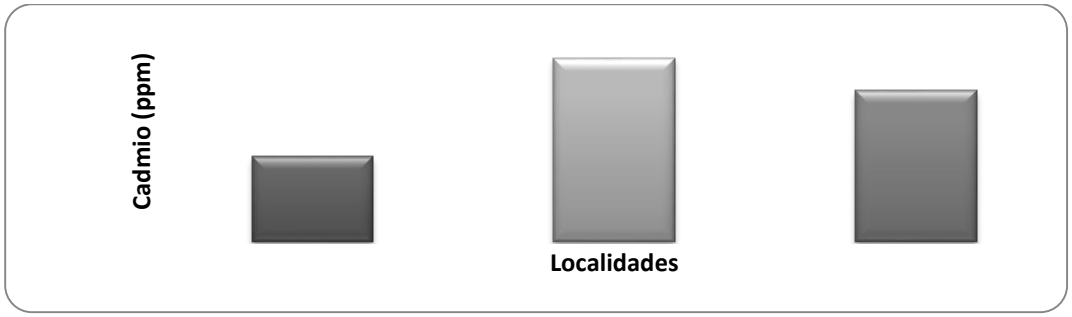


Figura 2.- Concentración promedio de cadmio en tres localidades de la Comarca Lagunera. DICAF-UJED.2017.

La prueba de medias entre localidades, esta nos muestra que estadísticamente son iguales, reportando una dms=1.48, los valores que se reportaron fueron 8.2, 7.9 y 6.9 ppm correspondientes a Matamoros, Venecia y Cd. Juárez respectivamente (Figura 3a). Para las profundidades se encontró diferencia estadística las profundidades de 0-15 y 15-30 cm con valor de 8.8 ppm, la profundidad de 30-60 cm mostro un valor de 5.3 ppm, figura 3b. El Cobre puede seriamente influir en el proceso de ciertas tierras agrícolas, dependiendo de la acidez del suelo y la presencia de materia orgánica. A pesar de esto, el estiércol que contiene Cobre es todavía usado. El Cobre puede interrumpir la actividad en el suelo, su influencia negativa en la actividad de microorganismos y lombrices de tierra. La descomposición de la materia orgánica puede disminuir debido a esto. Cuando los suelos de las granjas están contaminados con Cobre, los animales pueden absorber concentraciones de Cobre que dañan su salud. Cuando el Cobre termina o se deposita en el suelo, este es fuertemente atado a la materia orgánica y minerales, este no viaja muy lejos antes de ser liberado y es difícil que entre en el agua subterránea. Sin embargo en el agua superficial, el cobre puede viajar largas distancias, tanto suspendido sobre las partículas de lodos como iones libres, no se rompe en el ambiente y por eso se puede acumular en plantas y animales, cuando este es encontrado en los suelos.

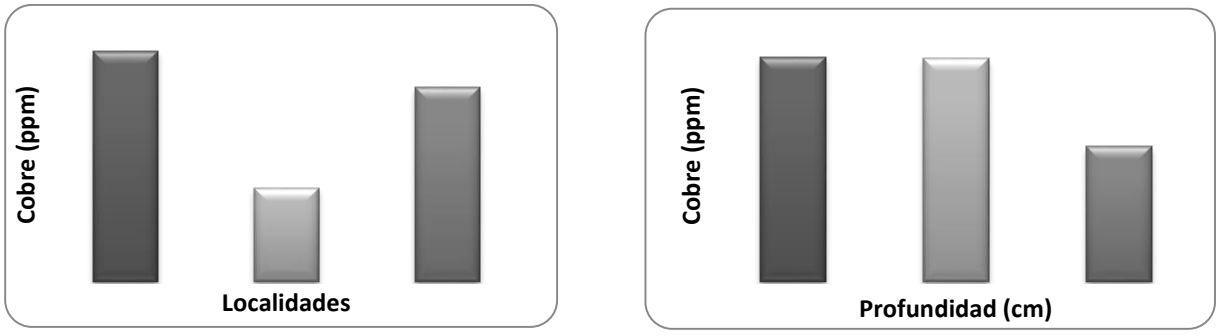


Figura 3.- Concentración promedio de cobre en Localidades (a) y Concentración de cobre en profundidades de suelo (b). DICAF-UJED.2017.

La figura 4, muestra el comportamiento de las localidades, encontrándose el valor mayor de concentraciones de plomo en la localidad de Cd. Juárez, con un valor de 27.83 ppm, el segundo valor, más alto fue Matamoros con un valor de 25.27 ppm, el valor menor lo reporta Venecia con 22.32 ppm. Para el caso de las profundidades. Cuadro 2, la mayor concentración de plomo se encuentra en la primer y segunda profundidad siendo estadísticamente iguales con valores promedio de 26.93 y 25.67 ppm respectivamente la profundidad 3 (30-60 cm) alcanzaron un valor de 22.83 ppm, la dms reportada es de 1.34, figura 4. En la Escuela de Medicina de Dartmouth, concluyeron que en Torreón, existe plomo en niveles similares a los de otros sitios contaminados del mundo y superiores a lo que establece la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) para considerarlos seguros. Otras investigaciones realizadas desde 1962, por investigadores de la Secretaría de Salud, documentaron un caso de arsenicismo agudo en Torreón. Este episodio, que causó la muerte de un adulto, fue documentado en la Revista Salud Pública de México en 1964. El mismo año, el doctor Gonzalo García Vargas, toxicólogo de la Universidad Juárez del estado de Durango, en el ejido Venecia municipio de Gómez Palacio, publicó un estudio que reportaba niveles de plomo en sangre de tres grupos de niños. Estos niveles subían a medida que la escuela donde acudían estaba más cercana a la planta de Peñoles. Los niveles de plomo en aire también aumentaron en el mismo sentido. El plomo en el agua resultó bajo en los tres casos.

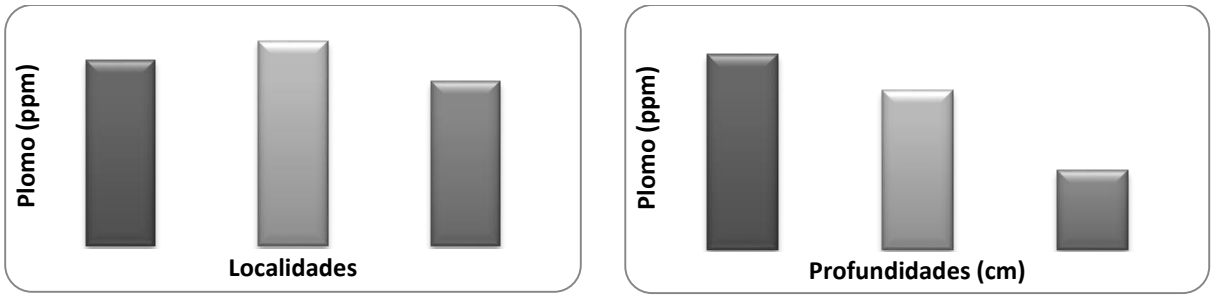


Figura 4.- Concentración promedio de plomo en Localidades (a) y Concentración de plomo en profundidades de suelo (b). DICAF-UJED.2017.

El Zinc es un elemento traza que es esencial para la salud humana. Cuando las personas absorben muy poco Zinc, estos pueden experimentar una pérdida del apetito, disminución de la sensibilidad, el sabor y el olor, pequeñas llagas y erupciones cutáneas. La acumulación del Zinc puede incluso producir defectos de nacimiento. Incluso los humanos pueden manejar proporcionalmente largas cantidades de Zinc, demasiada cantidad de Zinc puede también causar problemas de salud eminentes, como es úlcera de estómago, irritación de la piel, vómitos, náuseas y anemia. Niveles alto de Zinc pueden dañar el páncreas y disturbar el metabolismo de las proteínas, y causar arterioesclerosis. Exposiciones al clorato de Zinc intensivas pueden causar desordenes respiratorios. En las localidades, donde se obtuvo el mayor valor para la localidad de Venecia y Cd. Juárez, siendo estas, estadísticamente iguales con valores de 22.11 y 21.55 ppm, respectivamente. La localidad de Matamoros, mostro un valor de 19.76 ppm, Cuadro 2. Las profundidades estadísticamente iguales en esta variable fueron 15-30 y 30-60 cm (segunda y tercera) con valores de 19.84 y 19.28 ppm, siendo estas menores a la primera profundidad que alcanzó un valor de 24.31 ppm, Figura 5, la dms encontrada fue de 1.51. El Zinc es una substancia muy común que ocurre naturalmente. Muchos

alimentos contienen ciertas concentraciones de Zinc, el agua potable, también contiene cierta cantidad de Zinc, la cual puede ser mayor cuando es almacenada en tanques de metal. Las fuentes industriales o los emplazamientos para residuos tóxicos pueden ser la causa del Zinc en el agua potable llegando a niveles que causan problemas. En el ambiente de trabajo, el contacto con Zinc, puede causar la gripe conocida como la fiebre del metal, esta pasará después de dos días y es causada por una sobre sensibilidad. El Zinc puede dañar a los niños que no han nacido y a los recién nacidos. Cuando sus madres han absorbido grandes concentraciones de Zinc, los niños pueden ser expuestos a éste a través de la sangre o la leche de sus madres.

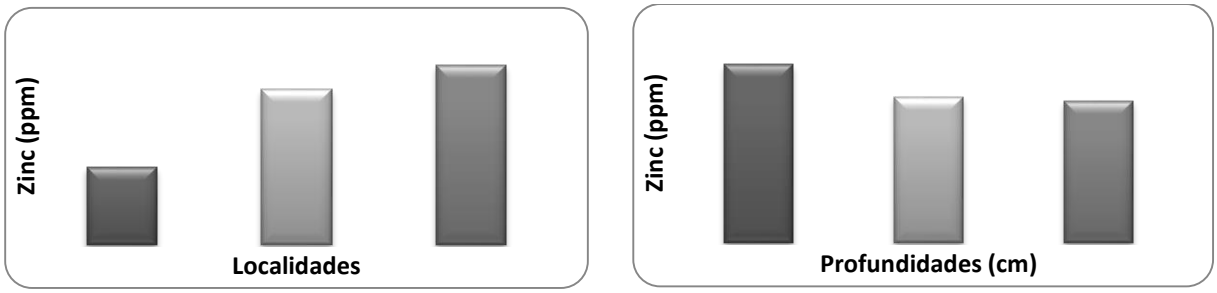


Figura 5.- Concentración promedio de zinc en Localidades (a) y Concentración de zinc en profundidades de suelo (b). DICAF-UJED.2017.

Conclusiones

Se caracterizó el estado actual de los suelos agrícolas, con cultivos hortícolas de la comarca lagunera, al determinar el contenido de cinco metales pesados. En las tres localidades muestreadas se encontraron altas concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc. Lo que deja de manifiesto el alto grado de contaminación industrial de estos suelos.

Referencias

Acosta, V., C. Lodeiros, W. Senior y G. Martínez. 2002. Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. Interciencia. Vol. 27. N° 012. p.p. 686-690.

Amat-Infante, P. D., A. Pierra-Conde, I. Casals-Blet y D. Vázquez-Avella. 2002. Estudio de la concentración de metales pesados en sedimentos y ostiones en la bahía de Manzanillo, Cuba. Journal of the Mexican Chemical Society. Vol. 46. N°004. p.p. 359-361.

Awofolu, O. R., Z. Mbolekwa, V. Mtshemla, y O. S. Fatoki. 2005. Levels of trace metals in water and sediment from Tyume river and its effects on an irrigated farmland. Water S. A. Vol. 31. N° 1. p.p. 87-94.

Cañizarez-Villanueva, R.O. 2000. Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. Revista Latinoamericana de Microbiologia. Vol. 42. p.p. 131-143.

Carrasco, A. 2005. (En línea) Metales pesados en el suelo. (http://www2.sag.gob.cl/recursos-naturales/criterios-calidad-suelo). (Consultada el 25 de Septiembre del 2007).

Cervantes, C., A. E. Espino-Saldaña, F. Acevedo-Aguilar, I. L. León-Rodriguez, M. E. Rivera-Cano, M. Ávila-Rodriguez, K. Wróbel- Kaczmarczyc, K. Wróbel-Zasada, J. F. Gutierrez-Corona, J. S. Rodriguez-Zavala y R. Moreno

Sanchez. 2006. Interacciones microbianas conmmetales pesados. Revista Latinoamericana de Microbiológia. Vol. 48. N° 2. p.p. 203-210.

Cobelo-García, A., A. Labandeira y R. Prego. 2005. Two opposite cases of metal accumulation in RIA sediments: ferrol and corme-laxe (Galicia, Nw Iberian Peninsula). Ciencias Marinas. Vol. 31. N°004. p.p. 653-659.

Galván-Bobadilla, A. I., R. M. García-Escamilla, N. Gutierrez-García, M. L. Mendoza-Magaña y R. Rosiles-Martínez. 2005. Concentraciones de cádmio y zinc en tejido de cáncer prostático. Revista Mexicana de Patología Clínica. Vol. 52. N° 2. p.p. 109-117.

González-Lozano, M. C., L. C. Mendez-Rodriguez, D. G. López-Veneroni y A. Vázquez-Botello. 2006. Evaluación de la contaminación en sedimentos del área portuaría y zona costera de Salina Cruz, Oaxaca, México. Interciencia. Vol. 31. N° 9. p.p. 647-656.

Hu, Z., R. Navarro, N. Nomura, H. Kong, S. Wijesekara y M. Matsumura. 2007. Changes in clorinated organic pollutants and Heavy metal content of sediment during pyrolysis. Env. Sci. Pollut. Res. Vol. 14. N° 1. p.p. 12-18.

Meneses-González, F., M. Lino-González, A. Rivero, J. Simón-Domínguez, E. Palazuelos-Rendón, L. C. Moreno-López y M. Hernández-Ávila. 2001. Niveles de plomo en la sangre: Control de calidad del laboratorio de metales del centro médico ABC. Análisis Médicos Hospital ABC. Vol. 46. N°4. p.p. 165-168.

SAS (1998). Introductory guide for personal computers, Release 6.03 Edition. Cary. NC.SAS.111 p.

Suarez, P. y R. Reyes. 2002. La incorporación de metales pesados en las bacterias y su importancia para el ambiente. Interciencia. Vol. 27. N° 4. p.p. 160-164.

Valdez-Perezgasga, F. y V. M. Cabrera Morales. 1999. La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México. Texas center for policy studies y CILADHAC. Primera edición. p.p. 1-46.

Wong, C. S. C., S. C. Wu, N. S. Duzgoren-Aydin, A. Aydin y M. H. Wong. 2006. Trace metal contaminationof sediments in an e-wasteprocessing village in China. Elsevier Environmental Pollution. Vol. 20. p.p. 1-9.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

ABSORCIÓN DE PLOMO POR EL CULTIVO DE LA ALFALFA (*Medicago sativa*) IRRIGADA CON AGUA RESIDUAL CRUDA, TRATADA Y SUBTERRÁNEA.

García – Carrillo, M.[1*]; Ogaz, A[1].; Madinaveitia – Ríos, H.[1].; Leos – Escobedo, L.[1]

[1] Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Torreón, Coahuila. México.

[*]Autor Responsable: mgc570118@hotmail.com; Periférico Raúl López Sánchez s/n Torreón, Coahuila. México. C.P: 27000; Tel. 8717297677

Resumen
Este estudio se realizó para determinar la prevalencia de bacterias patógenas al humano en la El término de metal pesado se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas lo que los hace peligrosos porque tienden a bioacumularse en diferentes cultivos. Durante abril y mayo de 2017, se realizó un muestreo del cultivo de la Alfalfa, tomando como referencia una hectárea, en forma de zig-zag, al azar, utilizando un metro cuadrado de madera, cosechando el forraje localizado dentro de esa superficie. Las muestras fueron digeridas por vía húmeda con 10 ml de una mezcla acida Nítrico-Perclórica en relación 3:2. Se calentó a 99° C para eliminar la Materia Orgánica hasta que la solución se tornó clara. Las muestras se aforaron a 50 ml cada una con agua desionizada. La cuantificación de metales pesados se realizará en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer modelo 2380. Las mayores concentraciones de plomo se encontraron en la hoja de la alfalfa irrigada con agua residual cruda. La prueba de medias (DMS) indico diferencia significativa entre tratamiento de alfalfa irrigada con agua residual cruda y la regada con agua residual tratada y subterránea. Asimismo se encontró diferencia significativa entre los tratamientos evaluados en relación a la concentración de plomo en la raíz. Las menores concentraciones se encontraron en la raíz de la planta regada con agua residual tratada.

Palabras clave: Absorción; Metales Pesados; Contaminación..

Introducción
El término de metal pesado se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas lo que los hace peligrosos porque tienden a bioacumularse en diferentes cultivos. (Prieto-Méndez *et al*., 2009). La problemática de los metales pesados como Plomo, Níquel, Cadmio y Manganeso, presentes en aguas residuales utilizadas para riego, radica principalmente en acumularse en los suelos agrícolas. (Ayala *et al.*, 2012). Los metales pesados una vez depositados en el suelo tienden a permanecer, al menos inicialmente, en los horizontes superficiales, siendo sometidos a procesos de retención semejantes a los que ocurren en suelos naturales, lo que suelen ser incorporados en mayores concentraciones y bajo formas complejas muy variables dependiendo de la fuente contaminante. (Méndez-Romero *et al*., 2003)
Los metales pesados se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos, el uso de aguas residuales en la agricultura puede aumentar el ingreso de materia orgánica y nutrientes a los suelos cultivados lo cual contribuye a mantener e incrementar la fertilidad del mismo, pero también puede traer efectos

ambientales nocivos que deterioran la calidad del suelo y del agua, no obstante , su uso sin tratamiento previo puede ocasionar problemas debido al alto contenido de sales, contaminantes con metales pesados y la presencia de algunos microorganismos patógenos al hombre, por ello es necesario evaluar su uso cuantificando su efecto sobre la propiedades químicas del suelo, con el fin de garantizar que su utilización no solo mejore la fertilidad y productividad del suelo, sino que conlleve a mantener la calidad de este recurso, garantizando que no ocasionen problemas ambientales, ni de salud pública. (Zamora *et al*., 2008). Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse en diferentes cultivos, como elementos traza, algunos metales pesados [por ejemplo, cobre (Cu), selenio (Se), zinc (Zn) son esenciales para mantener un correcto metabolismo en los seres vivos y en particular en el cuerpo humano. Sin embargo, en concentraciones más altas pueden conducir al envenenamiento. (Prieto-Méndez *et al*., 2009).

Materiales y métodos

Muestreo del Cultivo.

Durante abril y mayo de 2017, se realizó un muestreo del cultivo de la Alfalfa, tomando como referencia una hectárea, en forma de zig-zag, al azar, utilizando un metro cuadrado de madera, cosechando el forraje localizado dentro de esa superficie.

Preparación de las Muestras.

Al concluir el muestreo, las plantas fueron separadas en raíz, tallo y hoja; posteriormente intensamente lavadas 2 veces con agua de grifo y desionizada, secadas al sol por 2 días y después en una estufa a 80 °C durante 3 días. El material vegetal seco fue molido para posteriormente analizarlas por Absorción Atómica, pesando 0.5 g de muestra (material vegetal molido) y colocados en matraces Kjeldahl. Las muestras fueron digeridas por vía húmeda con 10 ml de una mezcla acida Nítrico-Perclórica en relación 3:2. Se calentó a 99° C para eliminar la Materia Orgánica hasta que la solución se tornó clara. Las muestras se aforaron a 50 ml cada una con agua desionizada. La cuantificación de metales pesados se realizó en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer modelo 2380. Una solución estándar de 1,000 ppm de plomo fue utilizado para la curva de calibración. Estas determinaciones se llevaron a cabo en el laboratorio del Departamento de Suelos de la UAAAN UL.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar con tres tratamientos (terrenos regados con agua residual cruda, tratada y subterránea) y cuatro repeticiones por tratamiento. Así mismo, se realizó una prueba de comparación de medias (D.M.S.).

Resultados y discusión

Las mayores concentraciones de plomo se observaron en la hoja de la alfalfa irrigada con agua residual cruda (0.38 mg/kg) seguido por el tallo de la alfalfa regada con agua residual tratada

(0.20 mg/kg); en la raíz se encontraron las más bajas concentraciones de plomo (0.05 mg/kg). Estos resultados se presentan en el cuadro 1.

Los resultados del análisis de varianza no mostraron diferencia significativa entre los tratamientos para la concentración de plomo en la hoja; sin embargo en la prueba de medias (DMS) indico diferencias significativas entre el tratamiento regado con agua residual cruda y los otros dos tratamientos evaluados. En relación al tallo, no hubo diferencia significativa en el ANVA y la prueba de medias. Para el caso de la raíz no existió diferencia significativa en el ANVA entre los tratamientos estudiados; no obstante, en la prueba de medias si existió diferencias significativas entre los tratamientos. Lo anterior se puede observar en el cuadro 2.

Cuadro 1.- Resultados de la concentración de Plomo en Alfalfa (mg/kg).

Tratamiento	Agua Negra				
Repetición	Raíz	Repetición	Tallo	Repetición	Hoja
1	0.17	1	0.24	1	0.56
2	0.13	2	0.31	2	0.31
3	0.18	3	0.14	3	0.51
4	0.25	4	0.12	4	0.17
X	0.18	X	0.20	X	0.38

Tratamiento	Agua de Pozo				
Repetición	Raíz	Repetición	Tallo	Repetición	Hoja
1	0.12	1	0.15	1	0.14
2	0.06	2	0.14	2	0.20
3	0.16	3	0.21	3	0.16
4	0.14	4	0.21	4	0.27
X	0.12	X	0.18	X	0.18

Tratamiento	Agua Tratada				
Repetición	Raíz	Repetición	Tallo	Repetición	Hoja
1	0.05	1	0.13	1	0.20
2	0.03	2	0.23	2	0.15
3	0.08	3	0.32	3	0.20
4	0.17	4	----	4	0.26
X	0.05	X	0.23	X	0.20

Cuadro 2.- Resultados de la Prueba de Medias.

Tratamiento	Raíz	Tallo	Hoja	Parte Aérea
1	0.18 $_{A}$	0.20	0.38 $_{A}$	0.58 $_{A}$
2	0.05 $_{AB}$	0.23	0.20 $_{B}$	0.43 $_{B}$
3	0.12 $_{B}$	0.18	0.18 $_{B}$	0.36 $_{B}$

1.- Alfalfa irrigada con Agua Residual Cruda.
2.- Alfalfa irrigada con Agua Tratada.
3.- Alfalfa irrigada con Agua Subterránea.

Vázquez *et al*. (2001), cuantificaron en el cultivo de la alfalfa concentraciones de níquel y plomo influenciadas por la aplicación de riego con agua residual, afirmando que la alfalfa regada con esa clase de agua tenían concentraciones de plomo superiores a los valores considerados normales en tejido vegetal. Asimismo Ramírez *et al*. (2016). Mencionan, que el plomo se encontró en altas concentraciones en el cultivo de la alfalfa irrigada con agua residual cruda en valores que oscilaron entre 3.085 y 1.652 mg/kg. Según el CODEX STAN 193-1995 el límite máximo

permisible es de 0.20 mg/kg. La norma oficial mexicana NOM-247-SSA1-2008 señala una concentración de 0.50 mg/kg.

Conclusión

Las mayores concentraciones de plomo se encontraron en la hoja de la alfalfa irrigada con agua residual cruda.

La prueba de medias (DMS) indico diferencia significativa entre tratamiento de alfalfa irrigada con agua residual cruda y la regada con agua residual tratada y subterránea.

Asimismo se encontró diferencia significativa entre los tratamientos evaluados en relación a la concentración de plomo en la raíz.

Las menores concentraciones se encontraron en la raíz de la planta regada con agua residual tratada.

Referencias

CODEX -STAN-193-1995. Norma General del CODEX para los contaminantes y las Toxinas presentes en los alimentos y piensos.

Méndez-R. F., G.-B. J., García-Díaz J y Ángel Marqués M. 2003. "Relación estadística entre metales pesados y propiedades de suelos de cultivo regados con aguas residuales no depuradas " Interciencia.

Prieto-M. J., Román-G, A.D. y Prieto García F. 2009. "Contaminación y Fitotoxicidad en Plantas por Metales Pesados Provenientes de Suelos y Agua " Tropical and Subtropical Agroecosystems.

Ramírez G, R.I., García C., M., Ogaz, A., Vega S., F., 2016. Niveles de Cadmio Cobre y Plomo en Alfalfa *(Medicago sativa*) irrigada con Agua residual cruda, tratada y mezclada en suelos de la Comarca Lagunera. Tesis de Licenciatura. UAAAN. U.L.

Vázquez A, A., Justin, L., Siebe G, C., Alcantar G, G., & de la Isla de Bauer, M.D. 2001. Cadmio, Níquel y Plomo en Agua residual, suelo y cultivos en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. Agrociencias. XXXV 3, 267-274.

Zamora F., R. N., Torres D y Yendis H. 2008. "Efecto del Riego con Aguas Residuales sobre Propiedades Químicas del Suelo sobre la Planicie de Coro, Estado Falcón." Bioagro.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTES EN GLADIOLA

Cruz-Ruiz, E.[1*]; Cruz-Ruiz, A.[2]; Serrato-Cuevas, R.[1]; Rubi-Arriaga, M.[1]

[1]Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas. Toluca, México. México.
[2]Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias. Toluca, México. México.)

*Cruz-Ruiz, E.: ecruzruiz@yahoo.com.mx; Campus Universitario el Cerrillo, Piedras Blancas, Toluca, México. México. CP 50200; Tel. +52(722)-180-6098

Resumen

El cultivo de gladiola se ubica entre los tres principales cultivos ornamentales en México, pero enfrenta una problemática caracterizada por enfermedades fungosas a nivel de raíz que además de limitar en más del 70% la producción de esta especie origina severos problemas de contaminación del suelo. *Fusarium oxysporum* ocasiona la pudrición del cormo y raíz, el tratamiento contra este patógeno requiere un enfoque integral con prácticas culturales, biológicas y químicas. El uso continuo de fertilizantes sintéticos ocasiona un desequilibrio en el suelo y puede promover la intensidad de las enfermedades en gladiola y causar pérdidas de rendimiento. Los abonos orgánicos se pueden utilizar para remediar la salud del suelo, aumentar la eficiencia de los fertilizantes, y la productividad de la gladiola. En el contexto de agricultura sostenible, tecnologías para la producción de plantas ornamentales como el uso de biofertilizantes proporcionan a los productores alternativas de producción. El experimento se llevo a cabo para investigar el efecto de un abono orgánico biovital (F_v) y la inoculación con dos biofertilizantes *Glomus fasciculatum* (I_m) y *Bacillus subtillis* (I*b*) sobre la productividad de gladiola (*Gladiolus grandiflorus*). Los resultados dan evidencia de las ventajas de la utilización de biofertilizantes en el cultivo de gladiola.

Palabras clave: Micorrizas; floricultura; agricultura sostenible

Introducción

La gladiola (*Gladiolus grandiflorus*) es una flor económicamente importante en el mundo, apreciada como ornamental por su diversidad de colores. Se cultiva en casi todos los países del mundo (Cantor y Tolety, 2011). En México la superficie sembrada con gladiola en 2016 alcanzó 4 579.85 ha (SIAP, 2016). Actualmente hay una creciente preocupación por la sostenibilidad ambiental, social y económica (Pullman *et al*., 2009), y como resultado ha surgido la horticultura sostenible cuyo objetivo es "apoyar y mejorar interacciones biológicas", el grado en que esto se puede lograr estar influenciado por factores económicos y sociales. La horticultura sostenible se logra cuando "en la producción se aprovechan las relaciones biológicas que se producen de forma natural en la granja" (Granatstein y Kupferman, 2008). Actualmente la preocupación por el ambiente genera la necesidad de desarrollar estrategias de producción agrícola sostenibles como la reducción del uso de agroquímicos. En ese contexto la importancia del suelo es clave, por lo que el uso de indicadores como herramienta para evaluar el efecto del manejo sobre la calidad del suelo es primordial (Astier *et al*., 2002; D'Hose *et al*., 2014).

Los biofertilizantes son productos complejos de microorganismos que pueden mejorar la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos. Ayudan en la asimilación de nutrientes a través de los procesos naturales de fijación de nitrógeno, solubilizando el fósforo y estimulando el crecimiento de las plantas mediante la síntesis de sustancia promotoras del crecimiento. Las principales fuentes de biofertilizantes son bacterias, hongos, algas verdeazules. Son más baratos comparativamente que los fertilizantes químicos. Pueden disminuir las dosis de fertilizantes químicos y pueden aumentar el rendimiento del cultivo entre un 10 y 25% (Kholkute, 2013).
Entre los microorganismos benéficos, los hongos micorrízicos arbusculares juegan un papel clave en la nutrición y rendimiento de los cultivos debido a su capacidad para mejorar la absorción de minerales por la planta (Lee *et al*., 2013; Smith *et al*., 2011) y son ampliamente usados en la horticultura (Krüeger *et al*., 2012). En petunia, tres hongos diferentes mostraron efectos positivos (Hayek *et al*, 2012). Püschel *et al.* (2014) probaron el efecto de la inoculación de HMA micorrízicos sobre ocho plantas ornamentales encontrando aumento del número de flores, tamaño de la flor, número de hojas y longitud de la planta. Los efectos particulares de la inoculación deben ser probados en diferentes genotipos y condiciones ambientales
Sharma *et al*. (2017) realizaron un estudio para determinar el efecto de un abono orgánico preparado con un consorcio de microorganismos eficientes aplicado como única fuente de nutrientes o combinado con el 50% de la dosis recomendada de fertilizantes químicos, sobre el crecimiento de caléndula; sus resultados mostraron que los parámetros físicoquímicos y las actividades enzimáticas del suelo mejoraron con el aumento de la aplicación de composta.

Mondal *et al*. (2017) en el cultivo de mostaza realizaron la aplicación combinada de fertilizantes químicos, biofertilizantes y vermicomposta y observaron mayor índice de área foliar, aumento de la tasa fotosintética que influyo en un mejor crecimiento y rendimiento del cultivo. En 2016, Simarmata *et al*., establecieron un experimento para investigar el efecto de un biomejorador a base de composta de paja, combinado con consorcios de biofertilizantes y un agente de biocontrol para restaurar la salud del suelo y promover la resistencia sistémica inducida para aumentar la productividad del arroz. Los resultados revelaron un aumentado en la resistencia sistémica inducida y mejoraron la productividad del arroz.

Materiales y Métodos

El estudio de campo se realizó en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, a 19°24'.598 Latitud Norte y 99°41'.418" Longitud Oeste a 2 600 msnm, entre agosto y diciembre de 2017. El clima predominante es templado con lluvias en verano, la temperatura media anual de 12.6ºC. El experimento se estableció con un diseño de bloques al azar que consistió en 12 tratamientos (I_0F_0, I_0F_v, I_0F_i, I_mF_0, I_mF_v, I_mF_i, I_bF_0, I_bF_v, I_bF_i, $I_{m+b}F_0$, $I_{m+b}F_v$, $I_{m+b}F_i$) con tres repeticiones. La inoculación se realizó al plantar el cormo con 5 g por planta de la cepa de micorriza arbuscular (*Glomus fasciculatum*), en el caso de *Bacillus subtillis* se utilizaron 2 mL ($1x10^7$ UFC mL^{-1}) por planta, ambos inóculos fueron proporcionados por el Laboratorio de Bioquímica Ecológica del CINVESTAV, IPN, Unidad Irapuato. Como material vegetal fueron utilizados cormos comerciales de gladiola de la variedad borrega roja. Los análisis de suelo se realizaron de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000. El suelo donde se estableció el experimento presentó las siguientes características: pH (5.8), Da (1.14 g/cm^3), materia orgánica (1.6), N (0.29), P (0.53). A los cuatro meses de plantado el experimento se hicieron las evaluaciones de la planta. Los cormos se recogieron del campo 50 días después de la cosecha y se realizó la toma de los datos.

Resultados y Discusión

Cuadro 1. Variables de la planta de gladiola cultivada bajo diferentes tratamientos

Variable	Tratamiento											
	I_0F_0	I_0F_v	I_0F_i	I_mF_0	I_mF_v	I_mF_i	I_bF_0	I_mF_v	I_mF_i	$I_{m+b}F_0$	$I_{m+b}F_v$	$I_{m+b}F_i$
Altura de la planta (cm)	80.4^{b}	82.6^{a}	78.9^{d}	78.0^{e}	80.7^{b}	82.2^{a}	79.5^{c}	78.5^{d}	80.0^{c}	77.8^{e}	82.5^{a}	79.7^{c}
Peso fresco (g)	65.9^{e}	88.4^{c}	93.8^{b}	74.3^{d}	112.35^{a}	79.1^{d}	89.9^{c}	97.2^{b}	83.4^{c}	102.9^{b}	92.9^{b}	96.3^{b}
Longitud de la espiga (cm)	27.8^{ab}	29.5^{a}	26.9^{ab}	26.4^{b}	28.5^{ab}	28.2^{ab}	28.9^{ab}	28.1^{ab}	28.1^{ab}	29.5^{a}	27.1^{ab}	28.7^{ab}
Diámetro de la espiga (mm)	8.8^{f}	9.9^{cde}	9.9^{cde}	9.5^{e}	10.2^{abcd}	9.7^{de}	9.7^{e}	9.9^{bcde}	9.5^{e}	10.56^{a}	10.4^{ab}	10.3^{abc}
Flores por espiga	10.6^{e}	12.4^{bc}	11.9^{bcd}	10.4^{e}	13.0^{a}	11.6^{d}	11.3^{d}	12.3^{bc}	11.9^{cd}	12^{bcd}	12.4^{abc}	12.6^{ab}

Valores a,b…valores en la misma columna con letras iguales, son estadísticamente semejantes ($p \leq 0.05$).

Cuadro 2. Efecto de la inoculación de gladiola con *Glomus fasciculatum* y *Bacillus subtilis*

Tratamiento	Variable			
	Diámetro del cormo (mm)	Peso del cormo (g)	Cormillos por planta	Peso de los cormillos (g)
I_0F_0	39.28^{d}	21.88^{e}	49.5^{d}	16.05^{d}
I_0F_v	48.37^{abc}	45.81^{a}	58^{c}	20.93^{c}
I_0F_i	50.33^{a}	38.13^{bcd}	87.66^{a}	30.51^{a}
I_mF_0	45.99^{c}	42.97^{abc}	31.41^{e}	15.79^{d}
I_mF_v	50.28^{a}	42.18^{abc}	74.5^{b}	28.03b
I_mF_i	47.90^{abc}	36.63^{bcd}	48.22^{c}	16.15d
I_bF_0	47.35^{bc}	33.98 ^{d}	69.66^{b}	26.81b

I_mF_v	46.11^{c}	37.46^{bcd}	35.83^{d}	10.75f
I_mF_i	48.26^{abc}	35.82^{cd}	70.66^{c}	28.33b
$I_{m+b}F_0$	48.15^{abc}	43.38^{ab}	45.27^{c}	18.10d
$I_{m+b}F_v$	49.66^{ab}	43.38^{ab}	45.27d	18.10e
$I_{m+b}F_i$	45.93^{c}	32.04^{d}	48.27c	13.96e

Valores a,b…valores en la misma columna con letras iguales, son estadísticamente semejantes ($p \leq 0.05$).

Conclusiones

La inoculación con *Glomus fasciculatum y Bacillus subtilis* favoreció el contenido de materia seca de gladiola. Al parecer la adición de fertilizantes sintéticos afecto negativamente el crecimiento del cultivo de gladiola. La biofertilización en el cultivo de gladiola representa una alternativa de manejo sostenible

Referencias

Astier Calderón, Marta; M. Maass Moreno y J. Etchevers Barra. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable Agrociencia, 36(5):605-620. .

Cantor M., Tolety J., 2011. Gladiolus. pp. 135-159. In: Kole C. (ed.). Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources. Plantation and Ornamental Crops. Ed. Springer Heidelberg, Alemania. DOI 10.1007/978-3-642-21201-7

D'Hose, T., M. Cougnon, A. Vliegher, B. Vandecasteele, N. Viaene, W. Cornelis, E. V. Bockstaele.y D. Reheul. 2014. The positive relationship between soil quality and crop production: a case study on the effect of farm compost application. Applied Soil Ecology 75: 189-198..

Granatstein, D. y Kupferman, E. 2008. Sustainable horticulture in fruit production. Acta Hortic. 767, 295-308. DOI: 10.17660/ActaHortic.2008.767.31

Hayek, S. R. Grosch, V. Gianinazzi-Pearson y P. Franken. 2012. Bioprotection and alternative fertilisation of petunia using mycorrhiza in a soilless production system. Agronomy for Sustainable Development.32: 765-771.

Ingrao, C., A. Matarazzo, C. Tricase y M. T. Clasadonte. 2015. Life cycle assessment for highlighting environmental hotspots in Sicilian peach production systems. Journal of Cleaner Production. 92, 109-120.

Kholkute, R. 2013. Biofertilizers : Opportunities and Challenges. Arab Fertilizer Associations Magazine 65: 40-43.

Krüger M., C. Krüger, C. Walker, H. Stockinger y A. Schüßler. 2012 Phylogenetic reference data for systematics and phylotaxonomy of arbuscular mycorrhizal fungi from phylum to species-level. New Phytologist 193: 970-984.

Lea-Cox, J.D., C. Zhao, D. Ross, T.E. Bilderback, J.R. Harris, S.D. Day, C. Hong, T.H. Yeager, R.C. Beeson Jr., W.L. Bauerle, A.G. Ristvey, M. Lorscheider, S. Dickinson y J.M. Ruter. 2010. A nursery and greenhouse online knowledge center: learning opportunities for sustainable practice. HortTechnology 20:509-517.

Lee E. H., J. K. Eo, K. H Ka y A. H. Eom. 2013. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and their roles in ecosystems. Mycobiology 41(3):121–125.

Mondal, T., J. K. Datta y N. K. Mondal.2017. Chemical fertilizer in conjunction with biofertilizer and vermicompost induced changes in morpho-physiological and bio-chemical traits of mustard crop. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 16 135-144.

Wisconsin, EE.UU.

NOM-021-RECNAT-2000 (NORMA Oficial Mexicana). 2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F.

Pullman, M. E., M. J. Maloni y C.R. Carter. 2009. Food for thought: social versus environmental sustainability practices and performance outcomes. Journal of Supply Chain Management. 45(4), 38-54

Püschel, D., J. Rydlová y M. Vosátka. 2014. Can mycorrhizal inoculation stimulate the growth and flowering of peat-grown ornamental plants under standard or reduced watering? Applied Soil Ecology 80: 93-99. DOI 10.1016/j.apsoil.2014.04.001.

Rao, M. S., M. KAmalnath, R. Umamaheswari. R. Rajinikanth, P. Prabu, K. Priti, G. N. Grace, M. K. Chaya y C. Gopalakrishnan**.** 2017**.** Bacillus subtilis IIHR BS-2 enriched vermicompost controls root knot nematode and soft rot disease complex in carrot. Scientia Horticulturae 218: 56-62

Sharma, A., T. N. Saha, A. Arora, R. Shah y L. Nain. 2017. Efficient Microorganism Compost Benefits Plant Growth and Improves Soil Health in Calendula and Marigold. Horticultural Plant Journal. 3 (2): 67-72.

SIAP 2016. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/consultado el 25 de julio de 2018

Simarmata T., Hersanti, T. Turmuktini, B. N. Fitriatin, M. R. Setiawati.y Purwanto. 2016. Application of Bioameliorant and Biofertilizers to Increase the Soil Health and Rice Productivity HAYATI Journal of Biosciences 23 (4) 181-184.

Smith S. E. y F. A. Smith. 2011. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystems scales. Annual Review of Plant Biology. 63 227–250.

Vance, E. D., P.C. Brookes, y D.S. Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biol. Biochem. 19(6):703-707.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EL SILICIO MEJORA EL ESTADO NUTRICIONAL DE PLÁNTULAS DE *Moringa oleifera* Lam. BAJO ESTRÉS SALINO

Carballo-Méndez, F.J.[1]; Olivares-Sáenz, E.[1*]; Vázquez-Alvarado, R. E.[1]; Zavala-García, F.[1]; Bolivar-Duarte, M.[2]; Benavides-Mendoza, A.[3].

[1] Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, General Escobedo, Nuevo León, México.
[2]Departamento de Riego y Drenaje, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.
[2]Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.

***Autor responsable: emolivares@gmail.com Calle Francisco Villa s/n. Col. Ex-Hacienda El Canadá, General Escobedo, Nuevo León, México. C.P. 66050. Tel:**

Resumen

La salinidad es uno de los estreses ambientales más comunes en las zonas agrícolas. Para mitigar el daño por salinidad en los cultivos se han propuesto diferentes técnicas, entre ellas la aplicación de silicio (Si). El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la salinidad, el Si y la interacción entre ellos, en la concentración de potasio, calcio magnesio y sodio de plántulas de moringa *(Moringa oleifera* Lam.*)*. Las plántulas fueron desarrolladas en seis soluciones nutritivas derivadas de la combinación de una solución base, dos niveles de CE (2.5, 6.0) y tres niveles de Si (0, 50 y 100 mg L^{-1}). Los resultados mostraron que la salinidad redujo la concentración de K, Ca y Mg, e incrementó la concentración de Na en el tejido vegetal. El Si incrementó la concentración de K, Ca y Mg, y redujo la concentración de Na; este último efecto fue más evidente en la C.E. de 6 dSm^{-1}.

Palabras clave

Cloruro de sódio; Macronutrimentos; Silicato de potasio.

Introducción

El término salinidad se refiere a la presencia en el suelo de una elevada concentración de sales que perjudican a las plantas por su efecto osmótico y tóxico (Hussein y Abou-Baker, 2014). En el mundo la salinidad afectada más del 7% del suelo y más del 20% de las áreas disponibles para la actividad agrícola, siendo las zonas áridas y semiáridas las más perturbadas (Gupta y Huang, 2014).

El Si es uno de los elementos más abundantes en la naturaleza. Este elemento es considerado no esencial para las plantas, pero se ha establecido como un elemento benéfico y/o esencial solo para algunos grupos de plantas (Artyszak *et al.*, 2014). El Si tiene un efecto de mejora en la planta sometida a estrés, lo que sugiere un uso potencial en la agricultura (Guntzer *et al*., 2012).
La moringa *(Moringa oleifera* Lam.*)* es una especie de importancia económica mundial ya que es utilizada para alimentación, medicina, forraje y biodiesel (Goss, 2012). Ese cultivo se puede producir en diferentes tipos de suelos, incluyendo aquellos que contienen moderadas cantidades de sales solubles, debido a que es considerada como medianamente tolerante a la salinidad (Oliveira *et al*., 2009).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la salinidad y el Si en la concentración nutrimental de plántulas de moringa.

Materiales y Métodos

El ensayo se llevó a cabo durante el verano del 2016 en un invernadero del Centro de Agricultura Protegida de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Las semillas de moringa fueron sembradas en charolas de propagación de poliestireno de 200 cavidades, utilizando turba como sustrato. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con arreglo factorial 2*3 con tres repeticiones por tratamiento. La unidad experimental consistió de 35 plántulas, de las cuales 15 se consideraron como material útil para la toma de datos. Los tratamientos evaluados fueron seis soluciones nutritivas formadas con la combinación de una solución nutritiva base (N:105, P:21, K:236, Ca:30, Mg:3, S:3, Fe:1, Mn:0.5, B:0.2, Zn:0.2, Cu: 0.05 y Mo:0.05 mg/L, pH 5.5-6), 2 niveles de salinidad (conductividad eléctrica (CE) de 2.5 y 6.0 dSm^{-1}), ajustados con cloruro de sodio (NaCl) y tres niveles de Si (0, 50 y 100 mg/L), aplicados mediante silicato de potasio (K_2SiO_3). El riego se aplicó con una frecuencia diaria, con un volumen de 100 ml por charola, durante los primeros 10 días después de la siembra; en el período del día 11 al 20 se incrementó a 200 ml por charola y del día 21 al 30 a 300 ml por charola. Las variables fueron evaluadas a los 30 días después de la siembra (dds).
Las variables evaluadas fueron la concentración nutrimental de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na). Las plántulas cosechadas se lavaron con agua desionizada para remover contaminantes de la superficie del tejido; una vez lavadas se colocaron en bolsas de papel y se colocaron en una estufa de convección forzada a una temperatura de 60° C durante 48 h; posteriormente, dichas muestras fueron molidas y tamizadas con una malla de 0.5 mm. Las muestras fueron digeridas en una mufla a una temperatura de 450 a 500 ºC por 6 h. El análisis de concentración de elementos se llevó a cabo por medio de espectroscopía de absorción atómica (UNICAM Solar®, modelo 9626).

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza utilizando el paquete estadístico Statistical Package for the Social Science (SPSS) versión 22.0 (IBM Corp, 2013); en las variables en donde se encontró diferencia significativa se realizó una comparación de medias y/o prueba de polinomios ortogonales, utilizando el Paquete de Diseños Experimentales de la FAUANL (Olivares, 2015).

Resultados y Discusión

Las concentraciones de K, Ca y Mg disminuyeron en 15, 23 y 27%, respectivamente, mientras que la concentración de Na aumentó en 114% al pasar de una CE de 2.5 a 6.0 dSm^{-1} (Cuadro 1). Los resultados anteriores son similares a los reportados por Nouman *et al*. (2012) quienes encontraron que a un nivel de salinidad de 8 dSm^{-1} se redujo la concentración de K, Ca y Mg, y a partir de 4 dSm^{-1} se incrementó la de Na en hojas y raíz de plántulas de moringa.
El incremento de la concentración de Na y el decremento en las concentraciones de K, Ca y Mg en las plantas con solución nutritiva alta en sales de Na fue explicado por Coskun *et al*. (2013) quienes mencionaron que la presencia de Na puede inhibir directamente el funcionamiento de transportadores de K, además de provocar una despolarización de la membrana plasmática. Dicha desintegración de

la membrana plasmática ocurre debido al choque osmótico e iónico, causando un desplazamiento de Ca, K y agua.

Cuadro 1. Efecto de la C.E. en la concentración de minerales en plántulas.

	K	Ca	Mg	Na
CE (dSm^{-1})		mg kg^{-1} (MS)		
2.5	26015.94±531 †a	4894.76±95 a	5026.35±93 a	13834.57±391 b
6.0	22061.20±621 b	3763.08±97 b	3670.88±99 b	29547.24±451 a
p	0.000	0.000	0.000	0.000

El Si tuvo efecto significativo en la concentración de K, Ca y Mg en el tejido vegetal, encontrando los mayores niveles de dichos elementos en la concentración de 50 mg/L de Si (Figuras 1A, 1B y 1C). En el caso del Na, el análisis de varianza mostró efecto significativo en la interacción salinidad x Si. Para la CE de 2.5 dSm^{-1} no hubo un efecto significativo en cuanto a los niveles de Si, sin embargo, en la CE de 6 dSm^{-1} se observó una tendencia lineal en donde se encontró una disminución en la concentración de Na al incrementar la concentración de Si en la solución nutritiva (Figura 1D). Los resultados anteriores coinciden con Wu *et al*. (2017) quienes reportaron un incremento en la concentración de K en la hoja de *Obrychis viciaefolia* Scop. Cuando se agregó 1 mmol de Si. La misma tendencia fue reportada por Mehrabanjoubani *et al*. (2015) en *Gossypium hirsutum* L., cuando la solución nutritiva contenía 1.5 mmol de silicato de sodio. Para las concentraciones de Ca y Mg, los resultados obtenidos en la presente investigación son contrarios a los reportados por Mehrabanjoubani *et al*. (2015), quienes reportaron un decremento de la concentración de estos elementos al incrementar los niveles de Si. Las menores concentraciones de Na en el tejido vegetal se explican debido a que el Si se deposita en el apoplasto formando una barrera física que contribuye a una menor absorción de Na (Luyckx *et al*., 2017). Este efecto también se ha explicado mediante el incremento de solutos orgánicos en la raíz provocado por la presencia de Si, lo que limita la absorción de Na e incrementa la absorción de K, Ca y Mg, mejorando la estabilidad de la membrana celular (Li *et a*l., 2015).

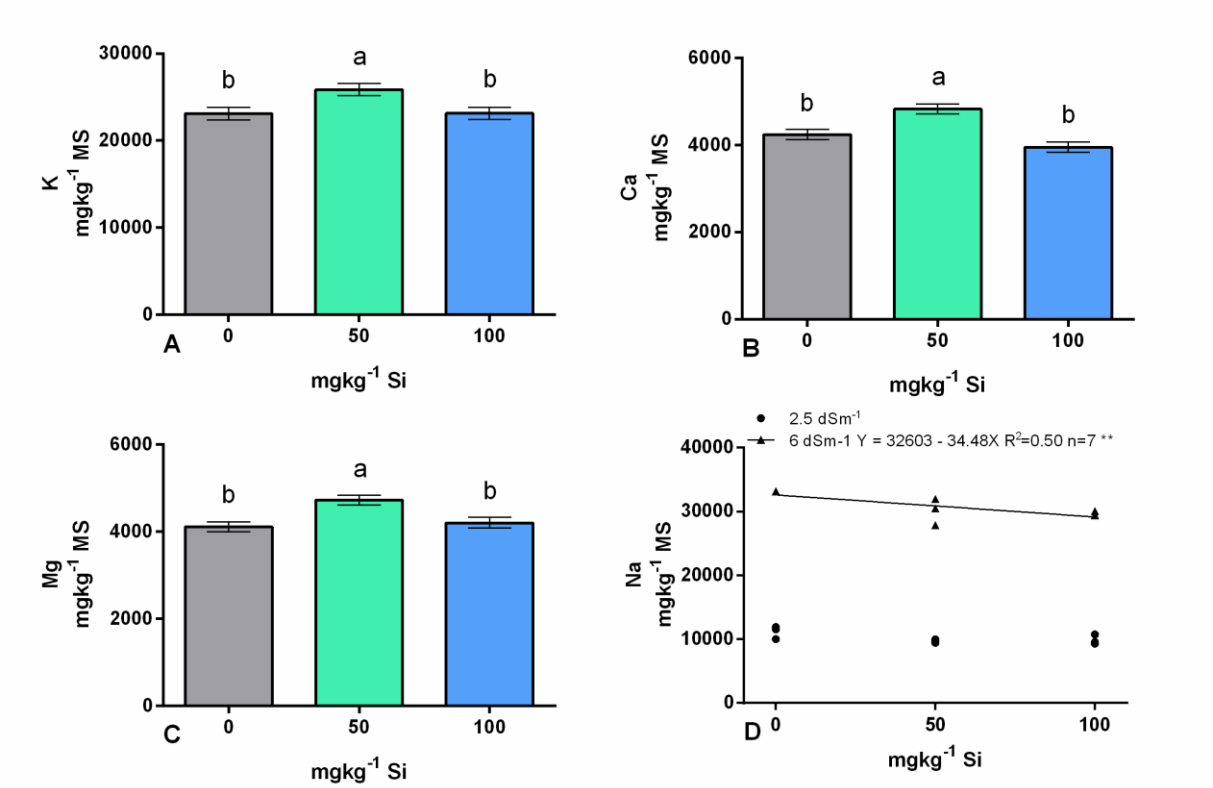


Fig 1. Efecto del Si en la concentración de minerals en plantulas. A:K; B: Ca; C:Mg y D:Na.

Conclusiones

Una CE de 6.0 dSm^{-1} provocó un decremento en las concentraciones de macronutrimentos y un aumento en la concentración de Na. El efecto negativo de la salinidad se contrarrestó con la aplicación de Si en una dosis de 50 mg/kg, ya que incrementó las concentraciones de K, Ca y Mg, mientras que se redujo la de Na, siendo más notorio, dicho efecto, en la CE de 6 dSm^{-1}.

Referencias

Artyszak A., Gozdowski D., Kucińska K. 2014. The effect of foliar fertilization with marine calcite in sugar beet. Plant Soil Environ, 60: 413-417.

Coskun D., Britto D.T., Jean Y.K., Kabir I., Tolay I., Torun A.A., Kronzucker H.J. 2013. K^+ efflux and retention in response to NaCl stress do not predict salt tolerance in contrasting genotypes of rice (Oryza sativa L.). PloS one, 8: 1-16.

Goss M. 2012. A study of the initial establishment of multi-purpose moringa *(Moringa oleifera Lam)* at various plant densities, their effect on biomass accumulation and leaf yield when grown as vegetable. African Journal of Plant Science, 6: 125-129.

Guntzer F., Keller C., Meunier J.D. 2012. Benefits of plant silicon for crops: a review. Agronomy for Sustainable Development, 32: 201-213.

Gupta B., Huang B. 2014. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. International journal of genomics, 2014: 1-18.

Hussein M.M. and Abou-Baker N.H. 2014. Growth and mineral status of moringa plants as affected by silicate and salicylic acid under salt stress. Int J Plants Soil Sci, 3: 63-177.

IBM Corp. Released. 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp.

Li H., Zhu Y., Hu Y., Han W., Gong H. 2015. Beneficial effects of silicon in alleviating salinity stress of tomato seedlings grown under sand culture. Acta Physiologiae Plantarum, 37: 71.

Luyckx M., Hausman J.F., Lutts S., Guerriero G. 2017. Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives. Frontiers in Plant Science, 8: 411.

Mehrabanjoubani P., Abdolzadeh A., Sadeghipour H.R., Aghdasi M. 2015. Silicon affects transcellular and apoplastic uptake of some nutrients in plants. Pedosphere, 25: 192-201.

Nouman W., Siddiqui M.T., Basra S.M.A., Khan R.A., Gull T., Olson M.E., Munir H. 2012. Response of Moringa oleifera to saline conditions. Int J Agric Biol, 14: 757-762.

Olivares S.E. 2015. Paquete de diseños experimentales. Versión 1.6. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. General Escobedo, Nuevo León, México.

Oliveira F.R.A., Assis O.F., Guimarães I.P., Medeiros J.F., Oliveira M.K.T., Freitas A.V.L., Medeiros M.A. 2009. Emergência de plântulas de moringa irrigada com água de diferentes níveis de salinidade. Bioscience Journal, 25: 66-74.

Wu G.Q., Jiao Q., Shui Q.Z. 2015. Effect of salinity on seed germination, seedling growth, and inorganic and organic solutes accumulation in sunflower (*Helianthus annuus L.*). Plant Soil Environ, 61: 220-226.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EFECTO DEL ÁCIDO ABSCÍSICO SOBRE EL FENOTIPO Y LA CALIDAD DEL FRUTO DE VID CULTIVAR CABERNET FRANC

Ramírez, H.[1*]; Mancera-Noyola2, L.[2]; Zermeño-Gonzalez3, A.[3]; Jasso-Cantú4, D.[4]; Villarreal-Quintanilla5, JA[5].

[1]Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro 1. Saltillo, Coahuila. México.
[2]Departamento de Riego y Drenaje, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro2. Saltillo, Coahuila. México.
[3]Departamento de Riego y Drenaje, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro 3. Saltillo, Coahuila. México.
[4]Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro 4. Saltillo, Coahuila. México.
[5]Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro 5. Saltillo, Coahuila. México.

*Autor responsable: hrr_homero@hotmail.com;, Saltillo, Coahuila. Mexico.; Tel. +52(844)-176-7755

Resumen
La vid representa una de las bayas de mayor importancia y crecimiento en México. La industria vinícola ah aumentó su producción como respuesta a la demanda en exportación y al reconocimiento de los vinos mexicanos en el extranjero. Un problema de actualidad en la vid es la falta de una pigmentación plena al momento de cosecha y por ende sus consecuencias en la lenta bioquímica en componentes de maduración y su relación con los vinos elaborados. El ácido abscísico (AAB) es una molécula al parecer referente en procesos fisiológicos de madurez. Se aplico AAB al cultivar Cabernet Franc en el ciclo 2017. Se asperjo ABA en dosis de 0 (agua-control), 200, 400, 600, 800 mg L^{-1} en la etapa de envero y posteriormente 14 días a la primera aplicación. Durante la cosecha se evaluó longitud de racimos, peso de racimos y rendimiento por planta, en los cuales se observó que el AAB a cualquier dosis no modificó en los frutos evaluados: peso, longitud, rendimiento de los racimos, así como solidos solubles, acidez y pH. Los análisis químicos mostraron que el AAB provocó incrementos significativos en los niveles de polifenoles, procianidinas y antocianinas en los frutos cosechados.

Palabras clave
Ácido Abscísico; Calidad; Antocianinas; Vino.

Introducción
México es considerado uno de los productores más importantes y antiguos de vino en Latinoamérica (Palencia 2006). Exportando cerca del 25% de la producción vitivinícola mayormente al mercado europeo (Falcón 2009). En la actualidad la industria del vino requiere para su elaboración frutos con mayores niveles de pigmentación, aroma, grados brix y antioxidantes (McCormick 2012). La fenología y la maduración de las bayas se ven afectadas por el cambio climático. (Adams 2006). El aumento de las temperaturas produce la disminución de la síntesis de antocianinas (Tarara *et al*. 2008), provocando una reducción del color de los frutos (Downey *et al*., 2006). La aplicación de biorreguladores mejora los sistemas de producción hortícolas, potencializando los procesos fisiológicos de las plantas (Ramírez et al. 2014). El ácido abscísico (AAB) es un sesquiterpenoide (15 carbonos), que controla procesos ligados al desarrollo de las plantas (Rodríguez-Concepción y Boronat 2002). En los frutos no climatéricos, el ABA acelera en mayor medida el proceso de desverdización (Vera *et al*., 2012). En base a lo anterior, el propósito de la presente investigación fue evaluar distintas dosis de ácido abscísico en el cultivar Cabernet Franc, con el objetivo de aumentar la coloración y mejorar la calidad en frutos destinados a la elaboración de vino en la empresa Casa Madero, en Parras de la Fuente, Coahuila.

Materiales y Métodos

El presente estudio se realizó en colaboración con Casa Madero, viñedo San Lorenzo localizado en el municipio de Parras de la Fuente Coahuila y en el laboratorio de postcosecha del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. El material vegetal consistió en plantas de vid del cultivar Cabernet Franc, porta injerto S04 de doce años de edad. La plantación fue establecida en un marco de 1.5 m entre plantas y 3 m entre hileras, con una densidad de 2 222 plantas/ha, el manejo del cultivo se llevó a cabo de acuerdo con los estándares de la empresa referida. El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completamente al azar y se establecieron 4 repeticiones por tratamiento

Los efectos de tratamientos fueron primeramente evaluados en campo. En cada planta se seleccionaron cuatro racimos por tratamiento y se midió su longitud utilizando una cinta de medir marca Staley, Power Lock 8m/26´. La cosecha se realizó 52 días después de la aplicación de AAB. Se determinó el rendimiento de cada uno de los tratamientos con una báscula Sinberline de 5 kg; se pesaron individualmente los cuatro racimos seleccionados previamente.

La determinación de pH, acidez y solidos solubles se realizó con la técnica de la AOAC (1990). Se realizó la extracción de jugo de los frutos con un extractor eléctrico marca Tur-mix, obteniendo 15mL de jugo por cada tratamiento. Para determinación de solidos solubles se utilizó un refractómetro manual marca Atago ATC-1E, se midió el contenido de azucares totales expresados en ° brix. Se tomaron 10 mL de jugo muestra de cada tratamiento, se filtró con ayuda de gasas, se determinó el pH mediante un potenciómetro marca Hanna Hi98130 sumergiéndolo en el jugo. El contenido de acidez se obtuvo mediante la titulación de la muestra referida con NaOH al 0.1N, agregando fenolftaleína al 1% como indicador de viraje. Expresando el porcentaje de acidez como porcentaje equivalente de ácido tartárico.

Para la determinación de polifenoles totales (Wong-Paz *et al*., 2014) se colocaron 5 g de fruta en un matraz (250 mL) con 50 µL de metanol al 80%. El proceso de extracción se realizó en un baño ultrasónico (Brason B series 5510). Después de la extracción ultrasónica, la mezcla se filtró en papel Whatman No. 1, el filtrado se recogió en un matraz volumétrico y se utilizó para la determinación del contenido total de polifenoles. Se tomó del extracto metanólico una alícuota de 20 µL y se mezcló con 20 µL de reactivo de Folin, se dejó reposar la mezcla por 5 min, para luego agregar 20 µL de carbonato de sodio (7.5 p/v) y dejar reposar por 5 min, para luego diluir en 125 µL de agua destilada y tomar la lectura con un espectrofotómetro a una longitud de onda de 790 nm.

Los niveles de polifenoles totales se expresaron en equivalentes del estándar de ácido gálico por gramo de peso seco de acuerdo a la curva de calibración construida con las concentraciones de 0, 100, 200,300, 400, 500 y 600 mg L^{-1}.

La determinación de procianidinas totales se realizó con la técnica de HCl-butanol (Porter *et al*., 1986). Las muestras de uva se descongelaron, se pesó 1 g en una balanza analítica digital modelo Ohaus YS serie, se colocó la muestra en un tubo de ensayo con tapón de rosca, al que se le agregaron 5 ml de metanol, dejando reposar 12 horas, se filtró en papel Whatman número 1. De los extractos obtenidos se tomó una alícuota de 250 µl, que se transfirieron a un tubo de ensayo, al que se le agregaron 1.5 µL de HCl-butanol al 5% (v/v) y 50 µL de reactivo férrico. La mezcla se calentó en un baño maría (Precisión Modelo 84), por una hora a temperatura de 90 °C, para luego tomar lectura en un espectrofotómetro marca Jenway modelo 6320D a una longitud de onda de 550 nm.

Los datos obtenidos se expresaron como equivalentes del estándar de procianidina-B1 (Sigma-

Aldrich R). Para este estándar se elaboró una curva de calibración con las concentraciones de 0, 100,200, 300, 400, 500 y 600 mg L^{-1}.

Las antocianinas totales en muestras experimentales se obtuvieron por medio de espectrofotometría (AOAC., 1990). Se utilizó 2.5 gr de hollejo de las bayas, encubadas por 24 horas en solución extractora de HCI 3N y metanol al 85%, almacenadas en frío a una temperatura de 8°C en completa oscuridad. Posteriormente se maceraron, filtraron y aforaron nuevamente con solución extractora. Para la calibración del equipo se colocaron 2 ml de peróxido de hidrogeno al 30%, más 4 ml de solución extractora en espectrofotómetro marca Jenway modelo 6320D y se leyó en porcentaje de absorbancia a 525 nm. En una celdilla para espectrofotómetro se colocaron 4 ml de la muestra más 2 ml de peróxido de hidrogeno al 30% y se tomó lectura de absorbancia a una longitud de 520 nm. Los resultados se obtuvieron con la formula siguiente:

$$\text{Antocianinas (mg 100g)} = \frac{50 * \%\ \text{absorbancia 525nm}}{\text{solucion extractora 0.405} * \text{peso de la muestra}}$$

Para el análisis estadístico se utilizó el sistema de análisis 'RStudio' para Windows versión 10 y los datos obtenidos se sometieron a una comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Cuadro 1.- Efecto del ácido abscísico en la longitud (cm) y peso de racimos (g); y en el rendimiento por planta (kg), en los cultivares Shiraz y Cabernet Franc.

Tratamiento (AAB mg/L^{-1})	Longitud de racimo (cm) n.s	Peso de racimo (g) n.s	Rendimiento por planta (kg) n.s.
200[x2]	14.843 a[yz]	186.562 a	3.160 a
400[x2]	13.812 a	203.75 a	2.787 a
600[x2]	15.562 a	231.25 a	2.787 a
800[x2]	15.687 a	179.68 a	2.685 a
Testigo	15.218 a	206.25 a	2.880 a

ns : no significativo a una $P \leq 0.05$, [Z] : valores con la misma letra son estadísticamente iguales entre columnas (Tukey, $P \leq 0.05$); [Y] : media de 4 racimos por tratamiento, [x2] : 2 aplicaciones.

Cuadro 2.- Efecto del ácido abscísico en el pH, acido tartárico (%), ° Brix (%), en frutos de vid cultivar Cabernet Franc.

Tratamiento (AAB mg/L^{-1})	pH ns	Acido tartárico (%) equivns	° Brix (%)ns
200 [x2]	3.928 a[YZ]	0.325 a	25.675 a
400 [x2]	3.925 a	0.363 a	26.000 a
600 [x2]	3.900 a	0.380 a	25.750 a
800 [x2]	4.013 a	0.358 a	25.925 a
Testigo	3.935 a	0.335 a	25.100 a

ns : no significativo a una $P \leq 0.05$, [Z] : valores con la misma letra son estadísticamente iguales entre columnas (Tukey, $P \leq 0.05$); [Y] : media de 4 racimos por tratamiento, [x2] : 2 aplicaciones.

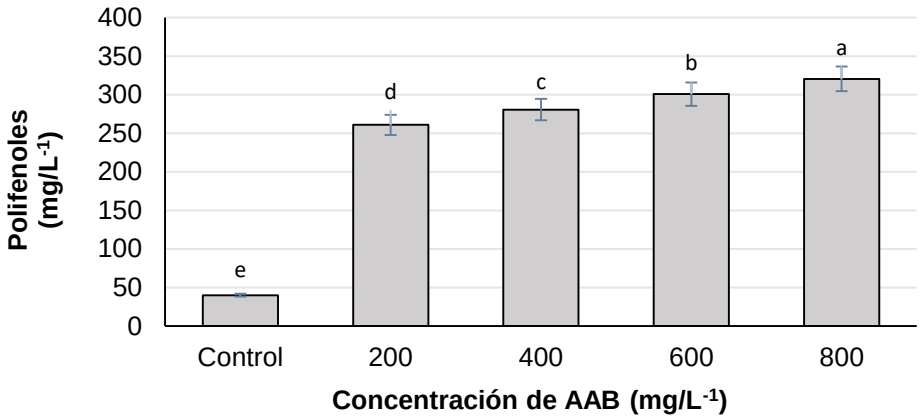


Figura 1. Efecto de la aplicación de AAB en el contenido de polifenoles totales en frutos maduros de vid en el cultivar Cabernet Franc. Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $p \leq 0.05$).

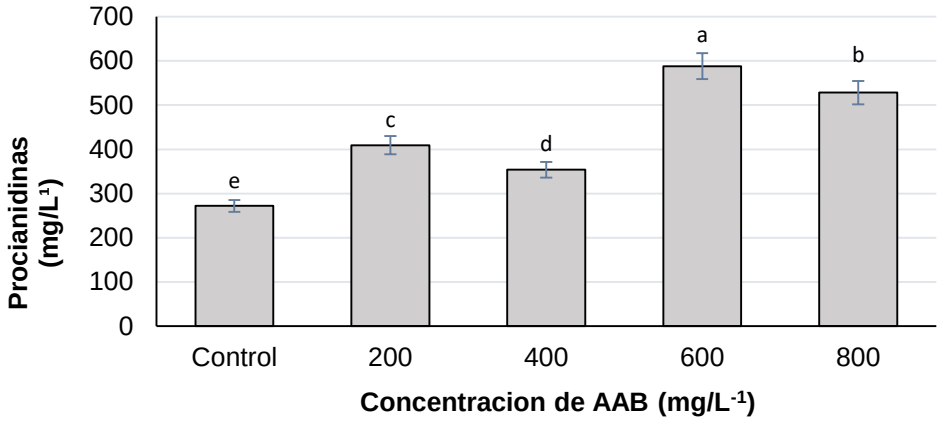


Figura 2. Efecto de la aplicación de AAB sobre el contenido de procianidinas en el cultivar Cabernet Franc. Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey p, ≤ 0.05

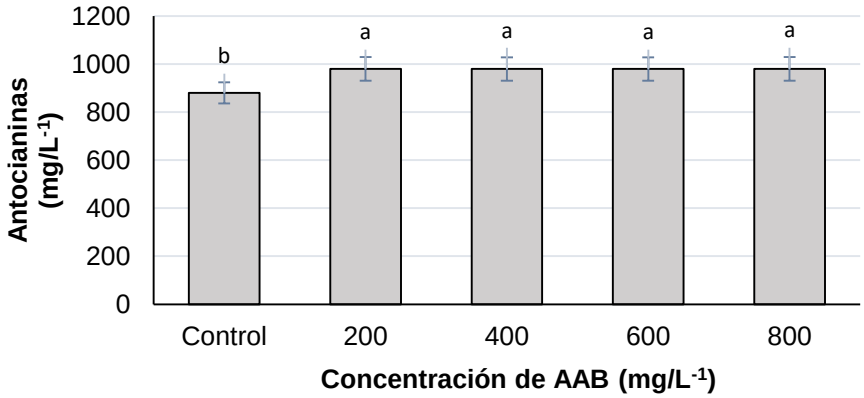


Figura 3. Efecto de la aplicación de AAB sobre el contenido de antocianinas totales en el cultivar Cabernet Franc. Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $p \leq 0.05$)

Resultados y Discusión

El AAB a cualquier dosis no causó efectos adversos en la longitud del raquis (Cuadro 1). Se puede observar que no hubo diferencia significativa entre tratamientos con AAB y el testigo Cantín *et al*. (2007) observaron un comportamiento similar cuando aplicaron el AAB al cultivar Clemenson Seedless. El peso del fruto, aunque mostró una tendencia mayor con AAB a 600 mg L^{-1} al compararse con el testigo, esos efectos no fueron significativos. Peppi *et al*., (2006) y Ovalle (2011) encontraron que la aplicación de AAB en la etapa de envero no modificó el peso final en las bayas de los cultivares Flame Seedless y Pinot Noir. El rendimiento por planta en Cabernet Franc no mostró diferencia significativa entre tratamientos con AAB y el testigo. El valor máximo de 3.16 kg a 200 mg L^{-1} en Cabernet Franc no refleja un cambio estadístico sustantivo al compararse con las muestras testigo. El peso de las bayas de vid está determinado por el número de células, el volumen, densidad de ellas y el aumento de la concentración de solutos (Rivera y Devoto, 2003). Es muy notorio que la aplicación del AAB a cualquier concentración no modificó estadísticamente el contenido de solidos solubles, acidez y pH entre tratamientos y testigo (Cuadro 2). En investigaciones previas, Sandhu *et al*. (2011) encontraron que la aplicación de ácido abscísico no alteró la masa de las bayas, la cantidad de sólidos solubles y el pH en los cultivares Noble y Alachua. Cutipa (2013) también reportó que la aplicación de ácido abscísico en el cv Red Globe no mostró diferencias significativas en el pH y solidos solubles. En el contenido de polifenoles (Figura 1) se observa que cualquiera de las concentraciones con AAB aplicadas en dos ocasiones presentaron un incremento ampliamente significativo; siendo el tratamiento con AAB a 800 mg L^{-1} el que produjo el más alto contenido de polifenoles. En este cultivar se observó claramente una respuesta en escala que indica a mayor concentración de AAB se induce un mayor contenido. Es interesante destacar el rango de 290 mg L^{-1} de diferencia en el nivel de polifenoles totales que ocurrió entre el testigo y el tratamiento con 800 mg L^{-1} de AAB. En la figura 2 se puede observar que cualquier dosis con el AAB provocó un incremento significativo en el nivel de procianidinas en los frutos evaluados. Dentro de las concentraciones de AAB evaluadas, cabe notar que la dosis de 800 mg L^{-1} produjo menor cantidad de procianidinas. Esta respuesta fisiológica puede reflejar el postulado hormonal que indica que una mayor concentración en un tejido puede comportarse como "supra óptima" (Ramírez *et al*., 2014) y por lo tanto inducir una disminución en la síntesis de ciertos compuestos orgánicos dentro de la célula del fruto. El contenido de antocianinas (Figura 3) no muestra diferencia estadística entre tratamientos de AAB. Lo anterior demuestra que una aplicación de AAB a 200 mg L^{-1} sería suficiente cuando se tratase solamente de estimular un aumento en el contenido de antocianinas totales en los frutos. Resultados similares se encontraron en el cultivar Isabel donde el aumento en el color de los jugos fue del 61% en comparación con el control (Rufato *et al*., 2016). Es evidente que la presencia de antocianinas contribuye en la calidad del vino (Kok *et al*., 2013; Vaquero-Fernández *et al*., 2006).

Conclusiones

La aplicación de AAB en la etapa de envero a los frutos del cultivar Cabernet Franc no modifica la longitud y peso de los racimos, al igual que el rendimiento por planta, pero si aumentara el contenido de polifenoles, procianidinas y antocianinas en los frutos maduros, sin modificar los solidos solubles, la acides y el pH de los frutos.

Referencias

Downey, M.O., Dokoozlian, N.K. and Krstic, M.P. 2006. Cultural practice and environmental impacts on the flavonoid composition of grapes and wine. American Journal of Enology and Viticulture 57: 257-268.

Cantín, C., Fidelibus, M. y Crisosto, C. 2007. La aplicación de ácido abscísico (ABA) al envero avanzó en el desarrollo del color rojo y mantuvo la calidad poscosecha de las uvas "Crimson seedless". Biología y Tecnología Postcosecha 46:237-241

Kok, D., Bal, E. and Celik, S. 2013. Influences of various canopy management techniques on wine grape quality of Vitis vinifera L. cv Kalecik Karasi. The Journal of Agricultural Sciences 19:1247-1252.

Peppi, M.C., Fidelibus, M.W. y Dokoozlian, N. 2006. El tiempo y la concentración de la aplicación de ácido abscísico afectan la firmeza, la pigmentación y el color de las uvas "sin semilla". Science Horticulturae 41:1440-1445.

Porter, L.J., Hritsch, L.N. and Chan, B.G. (1986). The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin. Phytochemistry 25:223-230

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

RENDIMIENTO DE CÁLIZ DE JAMAICA (*Hibiscus sabdariffa* L.) EN FUNCIÓN DE LA FERTILIZACIÓN

Rodríguez-Bahena, H.M.[1]; Montoya-García, C.O.[2*]; González-Mateos, R.[1]; Toledo-Aguilar, R[2]; Noriega-Cantú, D.H.[2]; Pereira-Hernández, J[1].

[1]Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Periférico Pte. S/N, Col. Villa de Guadalupe, Iguala, Guerrero, México; C.P. 40010.
[2]Campo Experimental Iguala-INIFAP, Carretera Iguala-Tuxpan, Km. 2.5, Iguala de la Independencia, A P. 29, Guerrero, CP 40000, México.

*Autor responsable: montoya.cesar@colpos.mx; Campo Experimental Iguala-INIFAP, Carretera Iguala-Tuxpan, Km. 2.5, Iguala de la Independencia, A P. 29, Guerrero, CP 40000, México. Tel: 5538718700, Ext: 86503.

Resumen
La producción de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en México se realiza en condiciones de campo y hay pocos estudios sobre dosis de fertilización de N y P que maximicen el rendimiento de cáliz. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de dos biofertilizantes y la fertilización con N y P en cinco colectas de jamaica: Sudan (C_1), Ayutla (C_2), Puebla (C_3), Saucitos (C_4) y Tecoanapa (C_5). El estudio se realizó bajo malla sombra, con 12 tratamientos, se aplicaron cuatro dosis de N (30, 40, 50 y 60 kg·ha^{-1}) y P (20, 30, 40 y 50 kg P_2O_5 ha^{-1}) en un arreglo Plan Puebla 1, obteniendo ocho tratamientos, las dosis: 0–0 y 45–30 kg de N–P_2O_5, y la aplicación de dos biofertilizantes con base en *Trichoderma esperellum* (B_2) y micorrizas (B_3). La información se analizó mediante regresión. El N aplicado incrementó el diámetro superior y basal de tallo, altura de planta, número y peso de ramas, ancho y número de frutos, y peso fresco y seco de cáliz. El P aplicado incrementó el ancho del fruto. El B_2 incrementó el ancho del fruto y B_3 el número de ramas. La mayor producción de cáliz se observó en las colectas C_1, C_2 y C_5. Los resultados indican que las colectas Sudan, Ayutla y Tecoanapa tienen una buena producción de cáliz; sin embargo, es necesario hacer exploraciones de dosis más altas de fertilización para alcanzar un óptimo fisiológico o económico.

Palabras clave
Hibiscus sabdariffa L., fertilización nitrogenada, biofertilizantes, colectas de jamaica.

Introducción
La jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) es un cultivo tropical proveniente de Asia, el cual es cultivado en el oriente y centro de África y Centroamérica. Los cálices de jamaca tienen una diversidad de compuestos fitoquímicos como antocianinas, ácidos carboxílicos, ácidos fenólicos y orgánicos, y flavonoides (Christian y Jackson, 2009; Rodríguez-Medina *et al*., 2009; Borrás-Linares *et al*., 2015). Se ha reportado que los cálices tienen amplia gama de efectos farmacológicos, como actividad antioxidante, antihipertensiva, antihipercolesterolemia (Herrera-Arellano *et al*., 2004), cardioprotectora (Chen *et al*., 2003), antibacterianas, antiinflamatorias, hepatoprotectoras y anticolesterol (Formagio *et al*., 2015).
Actualmente, el cultivo de jamaica se produce en diez estados de la república mexicana, de los cuales destaca Guerrero, Oaxaca y Michoacán por su superficie sembrada, mientras qué, los estados con

mayor producción son Puebla, Morelos y Sinaloa con 1.05, 0.96 y 0.80 t ha^{-1} de cáliz deshidratado. Los cálices son usados comercialmente en la industria alimentaria para la producción de bebidas y alimentos como té, zumos, mermeladas, jaleas y jarabes (Borrás-Linares *et al*., 2015); en México, son destinados principalmente a la producción de bebidas refrescantes en mercados tradicionales.

La jamaica se ha considerado como un cultivo tolerante a suelos pobres o con baja fertilidad, además que, se produce como un cultivo suplementario. En contexto, en el estado de Guerrero se sembraron 14,000 hectáreas de jamaica en el año 2017; sin embargo, se reportan rendimientos medios de 0.37 t ha, esto debido a que los productores no suelen fertilizar o fertilizan con la dosis 45–30 kg de N–P_2O_5 ha^{-1}. Con la intención de hacer más eficiente la fertilización para alcanzar rendimientos óptimos y racionalizar los costos de producción, es necesario determinar la respuesta de la jamaica a la fertilización inorgánica y orgánica. Los objetivos de la presente investigación fueron cuantificar el efecto de la fertilización con N, P y biofertilizantes en la producción de cálices de jamaica.

Materiales y Métodos

El experimento se estableció en el Campo Experimental del INIFAP. Iguala, Guerrero, México. (18° 20´ 34´´ N y 99° 30´ 14´´ O, 765 m.), bajo malla sombra, en los meses de julio del 2017 a enero del 2018. Se evaluaron cinco colectas de jamaica del estado de Guerrero y Puebla: Sudan (Xalpatlahuac, Tecoanapa, Gro); Ayutla (El Cortijo, Ayutla, Gro); Puebla (Chiautla, Puebla); Saucitos (Chiautla, Puebla); Tecoanapa (Mejorada. Reg. 260210), con cuatro niveles de N (30, 40, 50 y 60 kg ha^{-1}) y P (20, 30, 40 y 50 kg P_2O_5 ha^{-1}) en un arreglo de tratamientos factorial incompleto con la matriz Plan Puebla 1 (Volke *et al*., 2005), para obtener 8 tratamientos; adicionalmente, la dosis 0–0 y 45–30 kg de N–P_2O_5 (dosis aplicada por los productores), y dos biofertilizantes a base de *Trichoderma esperellum* y micorrizas. Los 12 tratamientos generados se distribuyeron en un diseño experimental de parcelas divididas, donde la parcela grande fueron los genotipos y la parcela chica las dosis de fertilización, con tres repeticiones, la unidad experimental estuvo conformada por una maceta.

La siembra se realizó en charolas de unicel de 200 cavidades el 05 julio del 2017, se utilizó lama esterilizada como sustrato. El trasplante se realizó a los 20 días después de la siembra (dds), en bolsas de polietileno con dimensiones de 35 x 35 cm (diámetro x profundidad), las plantas fueron colocadas bajo malla sombra.

Se utilizaron dos fuentes de fertilizantes fosfato diamónico (18 % N, 46 % P_2O_5) y urea (46 % N); el fertilizante fosfórico se aplicó al momento del trasplante (20 dds) y el nitrógeno a los 20 (40 %), 70 (30 %) y 95 dds (30 %). La cepa de *Trichoderma esperellum* se aplicó a los 28 y 92 dds vía foliar a una concentración de $1x10^{-6}$ (agua: *Trichoderma*), también se realizó una aplicación directo al sustrato ($1x10^{-8}$; agua: *Trichoderma*). El tratamiento con endomicorrizas, consistió en aplicar a 30 semillas el producto Tec–Myc–60 a una dosis de 1g.

A la cosecha se evaluaron las variables de: altura de planta, número de ramas primarias, altura a la primera rama productora, diámetro basal, medio y superior del tallo, longitud entre nudos del tallo, números de frutos por planta, longitud y ancho de cáliz, peso fresco y seco de cáliz por planta, peso fresco y seco de ramas. Para cada variable se determinó un modelo de regresión en función del N, P y biofertilizante aplicados y colectas, estas dos últimas se consideraron como variables auxiliares: C_1 = Sudan; C_2 = Ayutla; C_3 = Puebla; C_4 = Saucitos; C_5 = Tecoanapa, donde el genotipo a evaluar es 1 y los otros genotipos 0, tomando como referencia C_1; así como, los biofertilizantes: B_1 = sin aplicación; B_2 = *Trichoderma esperellum*; B_3 = endomicorrizas, donde el biofertilizante a evaluar es 1 y los otros son 0, tomando como referencia B_1.

El modelo se estimó con el método descrito por Volke (2008) con SAS 8.2 para Windows, donde se especifica un modelo con una o pocas variables a partir de la relación gráfica entre las variables respuesta y los factores en estudio y se incorporan variables al modelo con base en la relación gráfica entre los residuos y los factores aún no incluidos en el modelo, que mostrasen alguna tendencia de respuesta, hasta obtener un modelo con el menor cuadrado medio del error (CME).

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos de las variables evaluadas mediante regresión mostraron efectos dependientes del nutriente y/o biofertilizante aplicado y diferencias entre colectas (Cuadro 1), en algunos casos fue necesario incluir la variable densidad de plantas (Dp) debido a que la germinación no fue homogénea y se encontraban 1 o 2 plantas por maceta. En general las ecuaciones presentaron R^2 relativamente bajos (<0.50); sin embargo, los modelos tienen probabilidad de F de 0.001 y coeficientes de variación bajos (<20), por lo tanto, el R^2 indica una ligera respuesta de estas variables a los factores estudiados.

Cuadro 1. Modelos de regresión para las variables estudiadas en función del N, P y biofertilizantes aplicados, y colectas de jamaica.

Ecuación		CV	Pr. F	R^2
Dmt	= 1.53	–	–	–
Dst	= 0.95 + 0.0040 N	16.8	0.001	0.088
Dbt	= 1.34 + 0.014 N + 0.22 C_2 + 0.341 C_4 + 0.318 C_5	20.0	0.001	0.294
Ap	= 132.57 + 0.46 N – 34.1 B_2 + 45.0 C_2 + 29.0 C_3 + 40.0 C_4 + 49.3 C_5	14.2	0.001	0.391
Nr	= 6.97 + 0.081 N + 2.8 B_2 + 0.9 B_3 + 2.7 C_2 + 4.1 C_3 + 3.3 C_4 + 3.0 C_5	25.1	0.001	0.422
Let	= 2.81 + 0.7 C_2 + 1.84 C_3 + 1.03 C_4 + 1.06 C_5	20.2	0.001	0.387
Prf	= 133.72 + 6.41 N + 188.87 C_2 + 116.91 C_4 + 141.34 C_5	48.6	0.001	0.233
Prs	= 77.5 + 1.81 N – 24.7 Dp + 65.0 C_2 + 28.5 C_4 + 43.4 C_5	47.6	0.001	0.240
Btf	= 227.71 + 8.22 N + 254.50 C_2 + 80.90 C_5	48.0	0.001	0.228
Bts	= 117.50 + 2.56 N – 35.1 Dp + 91.7 C_2 + 26.8 C_4 + 40.6 C_5	43.8	0.001	0.262
Af	= 3.20 + 0.00218 N + 0.00372 P + 0.134 B_2 – 0.27 C_2 – 0.40 C_3 - 0.17 C_4 – 0.20 C_5	10.1	0.001	0.598
Lf	= 4.99 – 0.88 C_2 – 0.79 C_3 – 0.62 C_4 – 0.62 C_5	10.6	0.001	0.305
Nfp	= 24.50 + 0.93 N – 13.7 Dp + 21.0 C_2 + 37.0 C_3 + 38.2 C_4 + 40.4 C_5	49.7	0.001	0.284
Cpf	= 146.65 + 2.81 N – 58.33 C_3 – 51.80 C_4	51.7	0.001	0.158
Cps	= 24.10 + 0.37 N – 5.8 Dp – 7.4 C_3 – 7.6 C_4	49.4	0.001	0.202
Hc	= 88.48	–	–	–

Dmt: diámetro medio del tallo, Dst: diámetro superior del tallo, Dbt: diámetro basal del tallo, Ap: altura de planta, Nr: número de ramas, Let: longitud entre nudos del tallo, Prf: peso de ramas en fresco, Prs: peso de ramas en seco, Btf: biomasa total en fresco, Btf: biomasa total en seco, Af: ancho del fruto, Lf: largo del fruto, Nfp: número de frutos por planta, Cpf: peso fresco del cáliz, Cps: peso seco del cáliz, Hs: contenido de agua del cáliz.

Se observaron diferencias entre las cinco colectas de jamaica para las variables de Ap, Nr, Let, Af, Lf y Nfp; la colecta C_3 fue superior en Nr y Let, mientras que C_1 obtuvo mayor Af y Lf. Por su parte, en C_5 se observó un incremento en Nfp y Ap. En las colectas C_1, C_2 y C_5 el Cpf y Cps fue mayor con respecto a las colectas restantes, con valores de 146 y 24 g/planta respectivamente, con 0 kg N ha^{-1}. La Dp afectó negativamente el Prs, Bts, Nfp y Cps. El N aplicado tuvo un efecto lineal en las variables de Dst, Dbt, Nr, Prf, Prs, Btf, Btf, Af y Nfp; mientras que, en la producción de cáliz se observaron incrementos de 2.8 y 0.3 en Cpf y Cps por kg de N aplicado, esto indica que el cultivo de jamaica tiene una respuesta positiva a la aplicación de N con dosis de 60 kg ha^{-1}, por lo tanto, la dosis optima de N puede ser mayor a las evaluadas en este estudio. Se observaron efectos lineales positivos por la aplicación de P en Af, biofertilizante B_2 en Ap, Nr y Af, y biofertilizante B_3 en Nr. Akanbi *et al*. (2009) reportan mayor diámetro, longitud, número de cáliz por planta, peso de cáliz por planta con la aplicación en conjunto de 5 t ha^{-1} de compost (2 % N) y la dosis 30-15-15 kg N-P_2O_5-K_2O ha^{-1}. Apáez-Barrios *et al*. (2017) observaron respuesta negativa por la aplicación de Zn y Cu vía foliar en el cultivo de jamaica en el diámetro, longitud y numero de cálices, así como, en la producción de cáliz deshidratado desde 1100 hasta 950 kg ha^{-1}.

Conclusiones

Los resultados indican que las colectas Sudan, Ayutla y Tecoanapa tienen una buena producción de cáliz; sin embargo, es necesario hacer exploraciones de dosis más altas de fertilización para alcanzar un óptimo fisiológico o económico.

Referencias

Akanbi, W. B., Olaniyan, A. B., Togun, A. O., Ilupeju, A. E. O., Olaniran, O. A. 2009. The effect of organic and inorganic fertilizer on growth, calyx yield and quality of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture, 3(4): 652-657.

Apáez-Barrios, P., Pedraza-Santos, M. E., & de las Nieves, M. 2018. Rendimiento y concentración de antocianinas en *Hibiscus sabdariffa* L. con aplicación foliar de micronutrimentos. Revista Chapingo Serie Horticultura, 24(2):107-120

Borrás-Linares, I., Fernández-Arroyo, S., Arráez-Roman, D., Palmeros-Suárez, P. A., Del Val-Díaz, R., Andrade-Gonzáles, I., Segura-Carretero, A. 2015. Characterization of phenolic compounds, anthocyanidin, antioxidant and antimicrobial activity of 25 varieties of Mexican Roselle (*Hibiscus sabdariffa*). Industrial Crops and Products, 69: 385-394.

Chen, C. C., Hsu, J.D., Wang, S.F., Chiang, H.C., Yang, M.Y., Kao, E.S., Ho, Y.C., Wang, C.–J. 2003. Hibiscus sabdariffa extract inhibits the development of atherosclerosis in cholesterol–fed rabbits. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 51: 5472–5477.

Christian, K. R., & Jackson, J. C. 2009. Changes in total phenolic and monomeric anthocyanin composition and antioxidant activity of three varieties of sorrel (*Hibiscus sabdariffa*) during maturity. Journal of Food Composition and Analysis, 22(7-8): 663-667.

Formagio A. S. N., Ramos D. D., Vieira M. C., Ramalho S. R., Silva M. M., Zárate N. A. H., Foglio M. A., Carvalho J. E. 2015. Phenolic compounds of Hibiscus sabdariffa and influence of organic residues on its antioxidant and anti-tumoral properties. Brazilian Journal of Biology, 75(1):69-76.

Herrera-Arellano, A., Flores-Romero, S., Chavez-Soto, M. A., Tortoriello, J. 2004. Effectiveness and tolerability of a standardized extract from Hibiscus sabdariffa in patients with mild to moderate hypertension: a controlled and randomized clinical trial. Phytomedicine, 11(5): 375-382

Rodríguez-Medina, I. C., Beltrán-Debón, R., Molina, V. M., Alonso-Villaverde, C., Joven, J., Menéndez, J. A., Fernández-Gutiérrez, A. 2009. Direct characterization of aqueous extract of Hibiscus sabdariffa using HPLC with diode array detection coupled to ESI and ion trap MS. Journal of separation science, 32(20): 3441-3448.

Volke, H. V. 2008. Estimación de funciones de respuesta para información de tipo no experimental, mediante regresión. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México. 113 p.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia
del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de
2018

CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y NUTRIMENTAL DE FRIJOL X'PELÓN COLECTADO EN EL ESTADO DE YUCATÁN

Morales-Morales A.E[1*]; Carlos Juan Alvarado-López[2]; Rubén Humberto Andueza-Noh[2]; César Márquez-Quiroz[3]; Adalberto Benavides-Mendoza[4]; José María Tun-Suarez[1]

[1]División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Conkal. Conkal, Yucatán, México.
[2]Conacyt - Instituto Tecnológico de Conkal. Conkal, Yucatán, México.
[3]Division Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa Centro, Tabasco, México.
[4]Departamento de horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista Saltillo, México.

*Autor responsable: amelio.morales@itconkal.edu.mx; Calle Avenida tecnológico s/n, Conkal, Yucatán, México. CP 97345; Tel. +52 (993)-2639995

Resumen
En la actualidad, la deficiencia de nutrimentos en la dieta humana genera problemas de salud en la población, especialmente en los países que basan su alimentación en cultivos básicos. En este sentido, el X´pelón una de las cinco leguminosas más importantes para consumo humano a nivel mundial, principalmente por ser rico en proteínas, carbohidratos, además de proporcionar vitaminas y minerales. En México, se cultiva en el sureste, el cual representa una fuente importante de ingresos, así mismo, en el sector agroalimentario es considerado un alimento básico. Sin embargo, a pesar de su importancia en el estado de Yucatán, los estudios con son relativamente escasos, por lo que el objetivo del trabajo fue caracterizar física y nutrimental por µ-fluorescencia de rayos-X de las variedades de X´pelón colectados en el estado de Yucatán. Las colectas se realizaron directamente con los productores y se aplicó una entrevista con preguntas adaptadas para el caupí, en los diferentes municipios del estado y posteriormente se determinaron las características físicas y nutrimentales por µ-fluorescencia de rayos-X. Se obtuvieron 10 accesiones, el cual se diferenciaron tanto en color, forma, tamaño y textura de las semillas. En cuanto al contenido nutrimental, ACC10 fue la que menor concentración de elementos se encontró en los granos, y por otro lado ACC02 fue el que presentó mejor concentración de calcio, manganeso, hierro y zinc.

Palabras clave
Calidad nutrimental; µ-fluorescencia de rayos-X; *Vigna unguiculata*;

Introducción
En la actualidad, la deficiencia de nutrimentos en la dieta humana genera problemas de salud en la población, especialmente en los países de menor desarrollo económico, que basan su alimentación en cultivos básicos (Sadeghzadeh, 2013). En este sentido, las deficiencias en el ser humano, en parte es atribuible al producir plantas en suelos pobres y así como la baja capacidad de las plantas para almacenar los nutrimentos en sus tejidos (Graham *et al*., 2007). Como resultado, se tiene más de 2 mil millones de personas en el mundo padeciendo desnutrición, principalmente de micronutrientes (Kumar *et al*., 2018), como el hierro (Fe) y zinc (Zn) que son considerados esenciales para el buen desarrollo de la población, sin embargo, se estima que el 60 % de la población mundial presenta deficiencia de Fe y 30% de Zn (Kromann *et al*., 2017), mientras que la deficiencia de manganeso

(Mn), aunque menos frecuente, también conduce a problemas graves de salud, como defectos de nacimiento (Bashir *et al.*, 2013).

El frijol X´pelón (*Vigna unguiculata* L. Walp) se cultiva en regiones tropicales y subtropicales del mundo y se considera una de las cinco leguminosas más importantes para consumo humano a nivel mundial (Smýkal *et al.*, 2014), principalmente por ser rico en proteínas (23 a 29%) y carbohidratos (50 a 67%) (Campbell, 2014), además de proporcionar vitaminas y minerales. En México, se cultiva en el sureste, principalmente en Tabasco, Campeche y Yucatán (SIAP, 2016), el cual representa una fuente importante de ingresos, así mismo, en el sector agroalimentario es considerado un alimento básico, que junto con el maíz representan la base de la alimentación, especialmente en comunidades rurales, donde además del grano seco, también se consume otras partes vegetativas de la planta como hojas tiernas para verdura, las vainas verdes como ejote y el grano seco son utilizados para la preparación de diferentes guisos (Márquez-Quiroz *et* al., 2015). Sin embargo, a pesar de ser considerado un cultivo importante en el estado de Yucatán, los estudios con el X´pelón son relativamente escasos, por lo que el objetivo del trabajo fue caracterizar física y nutrimental por µ-fluorescencia de rayos-X de las variedades de X´pelón colectados en el estado de Yucatán.

Materiales y Métodos

Lugar de la colecta

La colecta del material se realizó durante el periodo comprendido de octubre 2017 a enero 2018, en cuatro municipios del estado de Yucatán, obteniendo en total 10 accesiones (Cuadro 1). Las muestras fueron obtenidas de manera directa a los productores en sus domicilios o en sus parcelas, y se aplicó una entrevista con preguntas adaptadas para el caupí, relacionada principalmente con el manejo agronómico del cultivo, nombre común, caracteres morfológicos y fenológicos utilizados, criterios de selección de semillas, forma de conservación, propósito de producción y área cultivada (Martínez-Castillo *et al*., 2004).

Cuadro 1. Lugar de colecta de las diferentes accesiones del frijol caupí en la península de Yucatán.

Clave colecta	Nombre común	Localidad	Municipio	Estado	Altura (msnm)
ACC01	Yax pelón	Xul	Oxcutzcab	Yucatán	89
ACC02	Paysin	Xul	Oxcutzcab	Yucatán	39
ACC03	Paysin	Xul	Oxcutzcab	Yucatán	89
ACC04	X´pelón perón	Kuxeb	Chemax	Yucatán	25
ACC05	X´pelón Domingo	Peto	Peto	Yucatán	35
ACC06	X´pelón blanco	Peto	Peto	Yucatán	35
ACC7	X´nuuc Pelón	Xoy	Peto	Yucatán	16
ACC8	X´pelón de guía	Mucel	Chemax	Yucatán	25
ACC9	Paysin	Halachó	Halachó	Yucatán	16
ACC10	Frijol chino	Peto	Peto	Yucatán	35

Variables Morfológicas de las semillas

Para la medición de las variables morfológicas de la semilla, se tomaron diez granos al azar de cada muestra obtenida. La determinación de las propiedades físicas, las dimensiones del tamaño de la semilla, es decir, la longitud de la semilla, el ancho y el grosor se determinaron siguiendo el procedimiento descrito por (Demooy y Demooy, 1990) con un vernier digital marca Truper Staninless

steel®, mientras que el índice de la semilla se obtuvo dividiendo longitud de la semilla entre el ancho. Así mismo, se realizó el peso individual de la semilla y el peso de 100 semillas seleccionadas al azar por triplicado con una balanza digital. Por otra parte, las formas de las semillas se clasificaron usando descriptores para semillas de caupí según lo descrito por IBPGR (1983) el cual se midió tres variables cualitativas: forma del grano, textura de la testa y en forma visual se determinó el color de la testa.

Determinación de análisis nutrimental

El análisis de contenido mineral se realizó por µ-fluorescencia de rayos-X dispersivo de Micro-Energía (l-EDXRF) (M4 TornadoTM, Bruker, Alemania), siguiendo la metodología descrito por (Cardoso et al., 2018), con algunas modificaciones. El generador de rayos X para las mediciones de todos los elementos fue operado a 50 kV y 100 µA con un filtro de 12.5A. La detección de la radiación de fluorescencia se realiza mediante un detector de dispersión de silicio dispersor de energía, XFlashTM, con un área sensible de 30 mm2 y una resolución de energía de 142 eV para Mn Ka. Se cuantificó el potasio (K), calcio (Ca), manganeso (Mn), hierro (Fe) y zinc (Zn) de 10 granos por accesión y tres puntos de medición por grano.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se realizó un ANVA con las 10 accesiones y posteriormente se realizo una comparación de medias (Tukey= >0.05), con el programa estadístico SAS 9.2

Resultados y Discusión

Durante los recorridos de campo se observó que los agricultores disponían de diferentes parcelas de caupí, la mayoría lo producen como monocultivo y unos pocos lo utilizan en el sistema milpa basada en la rosa, tumba, quema de la vegetación y se siembran junto con el maíz y calabaza (Caamal *et* al., 2016). De las poblaciones obtenidas, se diferenciaron tres colores, el color negro fue el más predominante con ocho accesiones, sin embargo, estos son conocidos por diferentes nombre, por otra parte, se obtuvo una accesión de color blanco conocido como espelón blanco y uno rojo también llamado frijol chino.

En cuanto a las características físicas de la semilla (Cuadro 2) presentaron diferencias estadísticas (tukey <0.05) en todas las variables, el peso individual y el peso de 100 semillas varió 0.06 a 0.17 y de 3.46 a 16.21 g, que corresponden al frijol chino (ACC10) y al Paysin (ACC03), respectivamente. De acuerdo con (Ogle *et al*., 1987) clasificaron las variedades de X´pelón en categorías de tamaño en función de su peso de 100 semillas. Las variedades con un peso de semilla menor a 15 g se describen como pequeñas; 15.1-20 g son semillas de tamaño mediano, mientras que las semillas grandes tienen 20.1-25 g. El peso de la semilla de más de 25 g se describe como semillas muy grandes. Por lo tanto, siente accesiones obtenidas se encuentran en la categoría de semillas pequeñas, mientras que ACC03, ACC07 y ACC08 son considerados de tamaño mediano. De acuerdo con la forma, las poblaciones varían de forma arriñonada, ovoide y romboidal, mientras que ocho accesiones tienen la textura de la testa suave áspero (ACC01-ACC08) y dos de textura suave (ACC09 y ACC10). Con respecto al la forma de las semillas, nuestros resultados son similares a los reportados por (Henshaw, 2008) que menciona la forma de la semilla de X´pelón varía desde la forma típica de los riñones hasta las formas globosa, ovoide y romboidal, así mismo, el color de la testa es una propiedad importante que influye en la aceptación del consumidor. Con respecto a las dimensiones del grano, la longitud de semilla osciló entre 6.26 mm en ACC10 a 9.36 mm en ACC02. En ancho, las semillas varió de 3,65 mm en ACC10 a 7.05 mm ACC03. El grosor de la semilla fluctuó entre 2.87 mm en la ACC10 y 4.95 mm ACC03.

Cuadro 2. Variación de características físicas de la semilla de 10 accesiones obtenidas del estado de Yucatán

Descripción	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Grosor (mm)	Peso semilla (g)	Peso de 100 semillas (g)	Índice de semillas
Intervalo	6.26-9.36	3.65-7.05	2.87-4.95	0.06-0.17	3.46-16.21	1.63-2.18
Promedio	8.31	6.18	4.43	0.13	13.23	1.88
Desviación Estándar	1.07	1.00	0.57	0.03	3.95	0.16
Coeficiente de Variación	12.91%	16.19%	13.01%	25.76%	29.91%	8.62%

Cuadro 3. Contenido mineral de las colectas de X´pelón en el estado de Yucatán

ACCESIÓN	K	Ca	Mn	Fe	Zn
			mg kg^{-1}		
ACC01	562.5 $^{d e}$	289.8 $^{b c}$	3.6 $^{c d e}$	20.3 ^{c}	11.2 ^{b}
ACC02	753.5 ^{b}	468.3 ^{a}	8.9 ^{a}	34.5 ^{a}	15.0 ^{a}
ACC03	999.6 ^{a}	293.7 $^{b c}$	3.8 $^{c d}$	27.5 $^{a b}$	11.5 ^{b}
ACC04	369.1 ^{e}	176.1 ^{d}	2.5 $^{d e}$	11.8 ^{d}	5.8 ^{e}
ACC05	1004.6 ^{a}	315.0 ^{b}	4.3 $^{b c}$	22.5 $^{b c}$	8.8 $^{c d}$
ACC06	839.8 ^{b}	442.6 ^{a}	5.3 ^{b}	16.6 $^{c d}$	11.1 b ^{c}
ACC07	534.3 $^{c d}$	323.0 ^{b}	3.3 $^{c d e}$	20.5 $^{b c}$	9.9 b ^{c}
ACC08	577.5 ^{c}	194.4 ^{d}	2.4 ^{e}	18.2 $^{c d}$	10.8 b ^{c}
ACC09	407.9 ^{d}	212.0 $^{c d}$	2.7 $^{d e}$	17.5 $^{c d}$	6.4 d ^{e}
ACC10	219.2 ^{f}	125.5 ^{d}	2.30 ^{e}	4.40 ^{e}	2.80 ^{f}

K=potasio; Ca=Calcio; Mn=Manganeso; Fe=Hierro; Zn=Zinc

La deficiencia nutrimental provoca desordenes que afecta a mujeres embarazadas y niños, y está relacionada con la dieta alimenticia (Bouis y Welch, 2010). En este sentido, las plantas son la principal fuente de minerales para la mayoría de las personas y en Yucatán el X´pelón es considerado un alimento importante, principalmente por familias de escasos recursos económicos en las que el grano es parte de la base alimenticia. En el análisis del contenido nutrimental de las colectas, el contenido de potasio osciló entre 219.2 y 1004.6 mg kg^{-1} de peso seco, siendo ACC10 la más baja y ACC05 con la concentración más alta, seguido por ACC03 y ACC06 con valores de 999.6 y 839 mg kg, respectivamente. Por otra parte, el calcio, presentó valores de 125.5 a 442.6 mg kg^{-1}, siendo ACC10 la que presentó concentraciones más bajas con respecto al resto de poblaciones de X´pelon. Nuestros resultados obtenidos son inferiores a los reportados por (Araméndiz-Tatis *et al.*, 2016) que reportaron valores superiores a 450 mg kg^{-1} en variedades de X´pelón criollo en Colombia. En cuanto al manganeso ACC02 presentó la concentración más alta con 8.9 mg kg^{-1} de peso seco, seguido por ACC06 que obtuvo 5.3 mg kg^{-1} de peso seco, mientras que ACC10 fue el valor más bajo con 2.3 mg kg^{-1}, con respecto al resto. En cuanto al hierro ACC02, ACC03 y ACC05 obtuvieron los valores más altos con 34.5, 27.5 y 22.5 mg kg^{-1} respectivamente. El zinc los valores obtenidos van de 2.8 a 15.0 mg kg^{-1} de peso seco, el cual ACC02 y ACC03 presentan los valores más altos (Cuadro 3). Estos resultados son diferentes a los obtenidos por (De Paula *et al.*, 2016; Muranaka *et al.*, 2015) que obtuvieron valores de hasta 56.2 mg kg^{-1} en variedades criollas.

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos, podemos concluir que existe variabilidad en cuanto a las propiedades físicas de las colectas realizadas en el estado de Yucatán, así mismo sobre el contenido nutricional de la semilla de frijol X´pelón se concluye que existen diferencias genéticas entre los materiales evaluados, en relación con el potasio, calcio, manganeso, hierro y zinc; sin embargo, en comparación con otros resultados, los productores de Yucatán se alimentan de granos de baja calidad, por lo que es necesario buscar soluciones para solventar las deficiencias nutricionales de la población.

Referencias

Araméndiz-Tatis, H., Cardona-Ayala, C. E., & Combatt-Caballero, E. M. (2016). Contenido Nutricional de Líneas de Fríjol Caupí (Vigna unguiculata L. Walp.) Seleccionadas de una Población Criolla. *Información tecnológica*, *27*(2), 53-60.

Bashir, K., Takahashi, R., Nakanishi, H., & Nishizawa, N. K. (2013). The road to micronutrient biofortification of rice: progress and prospects. *Frontiers in plant science*, *4*, 15.

Bouis, H. E., & Welch, R. M. (2010). Biofortification A Sustainable Agricultural Strategy for Reducing Micronutrient Malnutrition in the Global South. *Crop Science*, *50*(Supplement 1), S-20-S-32.

Camal, J. B. C., Casso, R. B., y Lizama, W. T. (2016). las leguminosas. *Leguminosas y plantas silvestres en la alimentación y la agricultura*, *32*(2), 15.

Campbell, B. C. (2014). Just Eat Peas and Dance: Field Peas (Vigna unguiculata) and Food Security in the Ozark Highlands, U.S. *Journal of Ethnobiology*, *34*(1), 104-122.

Cardoso, P., Mateus, T. C., Velu, G., Singh, R. P., Santos, J. P., Carvalho, M. L., . . . Guerra, M. (2018). Localization and distribution of Zn and Fe in grains of biofortified bread wheat lines through micro- and triaxial-X-ray fluorescence spectrometry. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, *141*, 70-79.

De Paula, C. D., Jarma, S., & Aramendiz, H. (2016). Caracterización nutricional y sensorial de frijol caupí (Vigna unguiculata (L.) Walp.). *Agronomía Colombiana*, *34* (1Supl), S1131-S1134.

Demooy, B., & Demooy, C. (1990). Evaluation of cooking time and quality of seven diverse cowpea (Vigna unguiculata (L.) Walp.) varieties. *International journal of food science & technology*, *25*(2), 209-212.

Graham, R. D., Welch, R. M., Saunders, D. A., Ortiz-Monasterio, I., Bouis, H. E., Bonierbale, M., Liria, R. (2007). Nutritious subsistence food systems. *Advances in agronomy*, *92*, 1-74.

Henshaw, F. (2008). Varietal differences in physical characteristics and proximate composition of cowpea (Vigna unguiculata). *World Journal of Agricultural Sciences*, *4*(3), 302-306.

International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR) (1983) Cowpea descriptors. IBPGR, Rome (30 pp)

Kromann, P., Valverde, F., Alvarado, S., Vélez, R., Pisuña, J., Potosí, B., Devaux, A. (2017). Can Andean potatoes be agronomically biofortified with iron and zinc fertilizers? *Plant and Soil*, *411*(1), 121-138.

Kumar, S., Kumar, P., Singh, S. K., & Kumar, R. (2018). Effect of Drought and Elevated Temperature on Micronutrient Accumulation in Wheat (Triticum aestivum L.) Grain. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *7*(04), 2312-2318. doi: 10.20546/ijcmas.2018.704.265

Márquez-Quiroz, C., De-la-Cruz-Lázaro, E., Osorio-Osorio, R., & Sánchez-Chávez, E. (2015). Biofortification of cowpea beans with iron: iron´s influence on mineral content and yield. *Journal of soil science and plant nutrition* 15 (4), 839-847.

Martínez-Castillo, J., Zizumbo-Villareal, D., Perales-Rivera, H., & Colunga-GarcíaMarin, P. (2004). Intraspecific diversity and morpho-phenological variation in Phaseolus lunatus L. from the Yucatán peninsula, México. *Economic Botany*, *58*(3), 354-380.

Muranaka, S., Shono, M., Myoda, T., Takeuchi, J., Franco, J., Nakazawa, Y., Takagi, H. (2015). Genetic diversity of physical, nutritional and functional properties of cowpea grain and relationships among the traits. *Plant Genetic Resources*, *14*(1), 67-76.

Ogle, W., Witcher, W., & Barnett, O. W. (1987). Descriptors for the southern peas of South Carolina. *Bulletin/South Carolina Agricultural Experiment Station (USA). no. 659.*

Sadeghzadeh, B. (2013). A review of zinc nutrition and plant breeding. *Journal of soil science and plant nutrition*, *13*(4), 905-927.

SIAP (2016) Servicio de información Agricola y Pecuaria. Avance de siembras y cosechas resumen nacional por estado http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do.

Smýkal, P., Coyne, C. J., Ambrose, M. J., Maxted, N., Schaefer, H., Blair, M. W., . . . Varshney, R. K. (2014). Legume Crops Phylogeny and Genetic Diversity for Science and Breeding. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *34*(1-3), 43-104.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

NIVELES NUTRIMENTALES EN HOJAS DE TABACO *(Nicotiana tabacum* L.*)* BAJO RIEGO EN NAYARIT

Valdez-Mariscal, R.A.[1]; González-Acuña, I.J.[2*]; García L., M.Z.[1]; De La Mora-Orozco, C.[3]; Balderas-Palacios, J.F.[2]; Becerra-Zamorano, C.C.[2].

[1]Universidad Tecnológica de la Costa. Santiago Ixcuintla, Nayarit. México.
[2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, agrícolas y Pecuarias, Santiago Ixcuintla, Nayarit. México.
[3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, agrícolas y Pecuarias, Tepatitlán de Morelos, Jalisco. México.

*Autor responsable: gonzalez.irmajulieta@inifap.gob.mx; Carretera Internacional México - Nogales Kilómetro 6, Centro, C.P. 63300 Santiago Ixcuintla, Nay. Tel. +52(01800)-088-2222 Ext. 84403

Resumen

El cultivo de tabaco tiene importancia socioeconómica en Nayarit. La nutrición es relevante para su producción y calidad. Los productores fertilizan sin un plan de manejo. El objetivo fue diagnosticar el estado nutrimental del tabaco bajo riego en Santiago Ixcuintla, Nayarit, para orientar al productor sobre la fertilización balanceada. Se realizaron muestreos foliares en floración, estratificados por tamaño de planta: grande, mediana y chica; tres repeticiones por estrato. A las hojas se les elimino la nervadura central, el ápice y la base; se secaron en estufa de aire forzado a 68 ºC por 24 h. En laboratorio se analizó: N con analizador elemental; K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu por digestión húmeda en AA; P y B, digestión húmeda por turbidimetria en colorímetro; S, digestión húmeda en colorímetro; Cl, potenciómetro. Se tomaron muestras compuestas de suelo, por tamaño de planta, a profundidad de 0-30 cm. Se determinaron pH, textura, conductividad eléctrica (C.E.) y Cl. El diagnóstico se comparó con valores óptimos de referencia, con criterios de suficiencia, deficiencia y exceso. Se ratificó ($p \leq 0.05$) que en muestreos foliares, el tamaño de planta debe ser factor de estratificación. En suelo, pH y textura son propiedades que se relacionaron con tamaño de planta. El diagnóstico indicó desbalance nutrimental en el cultivo: Ca, Mg, Cl, Fe, Mn, Zn y Cu se encontraron en suficiencia, S en deficiencia, y N, K, P y B en exceso. Es conveniente modificar el plan de fertilización del productor.

Palabras clave

Diagnóstico nutrimental, tabaco, tamaño de planta, suelo.

Introducción

En Nayarit, se cultivan 5,930 ha de tabaco Burley y Virginia, las cuales tienen importancia socioeconómica (SAGADER-SIAP, 2017). Lograr la productividad, por rendimientos, calidad, precio del producto y rentabilidad, se sustenta en un eficiente manejo del cultivo en todas sus etapas; no obstante, uno de los factores que más influyen es la adecuada nutrición de la planta. Los productores fertilizan sin conocimiento pleno de las demandas nutricionales del cultivo, ni de las condiciones del suelo, lo cual puede provocar desórdenes nutrimentales por deficiencia o exceso al

no aplicar las dosificaciones adecuadas. Además, la falta de un diagnóstico nutrimental en su plantación, les limita acciones correctivas durante el desarrollo del cultivo (Valdez, 2018).

En este sentido, el muestreo y análisis foliar, sobre todo en floración (Hoyos, 2013), es una herramienta para conocer las concentraciones de los minerales en la planta de tabaco, como indicadora de su situación nutrimental y estratégica en el mejor manejo de la fertilización balanceada (Donohue, 2009). Al respecto, el mayor riesgo de error en los análisis de laboratorio se encuentra en la toma de la muestra, que debe ser representativa y homogénea (Castellanos *et al*., 2000; Bertsch, 2007¸ Donohue, 2009). Sin embargo, en las plantaciones de tabaco, se observa heterogeneidad en el tamaño de la planta.

Por otro lado, los macronutrientes esenciales para la planta de tabaco, por orden de importancia, son N, K, Ca, Mg, P, Cl y S. Mientras que los micronutrientes son Fe, Mn, Zn, Cu y B (Schwab *et al*., 2007; Donohue, 2009; Hoyos, 2013 y SMQ, 2018). La ausencia de alguno puede repercutir directamente en su calidad y producción.

Con relación al suelo, el tabaco se adapta a pH moderadamente ácido a neutro (Rojo, 2008; Ruíz *et al*., 2013). La conductividad eléctrica (CE) y los cloruros, son factores decisivos para el cultivo de esta solanácea. Suelos con CE >0.30 dS m^{-1} se consideran salinos principalmente para los tipos Virginia (Ruíz *et al*., 2013); mientras que los Burley toleran hasta 0.60 dS m^{-1}. La presencia de cloruros en el suelo, debe ser alrededor de 20 ppm, con la finalidad de que, a cosecha, la hoja tenga una calidad de <1 % de cloruros (Chaverri, 1995; Castellanos *et al*., 2000).

Por lo anterior, los objetivos fueron determinar el diagnóstico nutrimental del cultivo de tabaco Virginia en el municipio de Santiago Ixcuintla, Nayarit, así como definir si el tamaño de la planta de tabaco es factor significativo con fines de establecer un patrón de campo homogéneo para el muestreo, y determinar si algunas propiedades físicas y químicas del suelo se relacionan con las diferencias en el tamaño de la planta de tabaco.

Materiales y Métodos

El muestreo de tejido vegetal y suelo se realizó en una parcela cultivada con tabaco bajo riego, durante la etapa de floración (Hoyos, 2013), en el Ejido Patroneño, municipio de Santiago Ixcuintla, Nayarit. Por la heterogeneidad en el tamaño de la planta, se consideró a esta variación como factor de estratificación experimental en el muestreo. Se seleccionaron de manera visual tres estratos: mayor, medio y menor desarrollo de la planta. Se colectaron tres muestras compuestas por estrato, constituidas cada una por ocho hojas sanas provenientes de la parte media de la planta. Las hojas se lavaron con agua destilada. Se les eliminaron el ápice, la parte basal y las nervaduras centrales (Chavarría, 2007; Trémols *et al*., 2012; Hoyos, 2013 y SMQ, 2018). Posteriormente se secaron al sol por 30 minutos, luego se metieron en bolsas de papel identificadas, y se secaron en horno de aire forzado, a 68 °C por 24 h. Se molieron en molino Thomas Scientific. Se homogenizaron para obtener un analito representativo y se colocaron en sobres de papel etiquetado para su análisis en el laboratorio de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal del INIFAP-CIRPAC-CESIX, donde se determinaron N total (%) mediante analizador elemental con un detector de conductividad térmica; K, Ca y Mg en %; así como Fe, Mn, Zn, Cu en mg kg^{-1}, por digestión húmeda medida en absorción atómica; P (%) y B (mg kg^{-1}) por digestión húmeda medida por turbidimetria en colorímetro, S (mg kg^{-1}) por digestión húmeda medida en colorímetro, y Cl (mg kg^{-1}) por potenciómetro.

Para definir si el suelo se relaciona con los estratos de diferente tamaño de la planta de tabaco, se realizaron muestreos entre las hileras de tabaco, a profundidad de 00-30 cm; una muestra compuesta por estrato, ocho submuestreos por muestra. En laboratorio se analizó pH con peachimetro, conductividad eléctrica (C.E.) en dS m^{-1} mediante conductivimetro, textura por Bouyoucos y cloruros (mg kg^{-1}) en extracto de saturación con agua.

La interpretación del diagnóstico nutrimental se realizó comparando los resultados de las concentraciones de macro y micronutrimentos determinadas en laboratorio, con los valores reportados en otros estudios, para tabaco Virginia en floración (Hoyos, 2013; SQM, 2018). Los criterios de diagnóstico fueron: 1) Suficiencia. Si los niveles determinados (D) estaban dentro de los valores reportados como óptimos (R). 2) Deficiencia. Si D < R. 3) Exceso. Si D > R.

Los datos de macro y micronutrientes determinados en la hoja de tabaco se analizaron con $p \leq 0.05$, mediante la prueba no paramétrica de Kruskal y Wallis (1952), en el paquete Statistica V 7.0.

Resultados y Discusión

Los resultados del análisis nutrimental para establecer si el tamaño de planta fue factor significativo de estratificación para el muestreo de tejido vegetal en tabaco, se presentan en el Cuadro 1. Se observa que contrario a lo esperado, en NT, K y Mg, que son los que más demanda el tabaco (Schwab *et al*., 2007; Hoyos, 2013), no mostraron diferencias significativas por tamaño de planta ($p \leq 0.05$), lo cual sugiere que no limitan la expresión de dicho factor. Lo anterior se atribuye a que estos elementos se encontraron presentes en cantidades mayores que las óptimas, de acuerdo a los datos reportados por Schwab *et al*. (2007), Donohue (2009), Hoyos (2013) y SMQ (2018).

En Ca, P, Cl y S, sí existieron diferencias, con mayor probabilidad ($p \leq 0.001$) en Ca y S. En particular S está relacionado con la transformación de energía en la planta (Tremols *et al*., 2012), por lo cual metabólicamente las mayores concentraciones pueden estar relacionadas directamente con el tamaño de la planta.

En micronutrientes, Fe y Zn no fueron significativos para estratificar muestreo por tamaño de planta. Se observó tendencia de mayor concentración de Fe en las hojas grandes, tal vez por su mayor actividad fotosintética, ya que como lo indica Rojo (2008), casi todo el Fe se encuentra en los cloroplastos, donde participa en la síntesis proteica y forma parte de enzimas respiratorias. Zn, también se esperaba diferencial por tamaño de planta, por su participación en la división y elongación celular (Chaverri, 1995); no obstante, es probable que la respuesta se relacione con el efecto no significativo encontrado también en nitrógeno, pues Rojo (2008) indica que existe un sinergismo entre ambos nutrientes. En cuanto a Mn, B y Cu, mostraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) por tamaño de planta, lo cual sugiere que esta variable si tiene efecto en el muestreo.

Cuadro 1. Macro y micronutrimentos en hojas de tabaco Virginia en floración, por tamaño de planta, en Santiago Ixcuintla, Nayarit.

Tamaño de planta	N T	P	K	Ca	Mg	Cl	Fe	Zn	Mn	Cu	B	S
	%						(mg kg^{-1})					
Grande	5.95 a	0.39 a	4.35 a	2.10 a	0.46 a	0.51 a	230.45 a	46.35 a	79.20 a	12.80 b	40.95 a	1418.50 a
Mediana	5.50 a	0.31 b	4.08 a	2.08 a	0.48 a	0.44 b	168.73 a	43.15 a	71.55 b	11.20 c	37.60 a	1332.50 b
Chica	5.74 a	0.39 a	4.36 a	1.73 b	0.45 a	0.47 ab	190.20 a	45.90 a	52.85 bc	14.05 a	36.90 a	1156.00 c

Literales iguales, indican similitud estadística ($p \leq 0.05$).

Respecto a las propiedades de suelo y su relación con el tamaño de la planta de tabaco (Cuadro 2), se observó que, en plantas de tamaño grande el pH del suelo fue 7.0, valor en el que se reporta la máxima disponibilidad de la mayoría de los nutrientes. En plantas medianas y chicas, el pH del suelo fue de 7.5 donde suelen incrementarse los problemas de disponibilidad de Zn, Fe, Cu y Mn (Castellanos *et al*., 2000; Rojo, 2008), como ocurrió principalmente con Fe y Mn en este estudio.

Cuadro 2. Propiedades del suelo, estratificadas por el tamaño de la planta de Tabaco, en Santiago Ixcuintla, Nayarit.

Propiedades del suelo	Tamaño de planta*		
	Grande	Mediana	Chica
pH	7.00	7.50	7.51
C.E (dS m^{-1})	0.238	0.254	0.239
Textura	Migajón arcillo limoso	Migajón arcillo limoso	Migajón limoso
Cloruros (mg kg^{-1})	24.8-28.1	19.8-25.1	22.7-29.5

* Factor de estratificación en el muestreo. Literales iguales, indican similitud estadística ($p \leq 0.05$).

El diagnóstico nutrimental del cultivo de tabaco en floración (Cuadro 3), muestra que N y K fueron los macronutrientes más demandantes, con 5.28-6.15 % y de 4.04-4.49 %, respectivamente. Seguidos por Ca, Mg, P, Cl y S. En micronutrientes, la demanda en orden decreciente fue Fe > Mn > Zn > B > Cu. Lo anterior es relativamente coincidente con lo reportado por SQM (2018) en tabaco tipo Virginia. Al comparar con los valores de referencia (Hoyos, 2013) y SQM (2018), los macronutrimentos en nivel de suficiencia fueron Ca, Mg y Cl. En deficiencia se identificó a S. Mientras que N, K y P se determinaron en exceso. Por otro lado, en micronutrimentos, con excepto B que se identificó en exceso, el resto: Fe, Mn, Zn y Cu, se determinaron en suficiencia.

Cuadro 3. Interpretación del diagnóstico nutrimental de tabaco Virginia, en prefloración, en Santiago Ixcuintla, Nayarit.

Nutriente Macronutriente	Diagnostico Rango (%)	Interpretación *
N	5.28-6.15	Exceso
K	4.04-4.49	Exceso
Ca	1.69-2.13	Suficiencia
Mg	0.44-0.48	Suficiencia
P	0.30-0.41	Exceso
Cl	0.40-0.52	Suficiencia
S	0.11-0.14	Deficiencia
Micronutriente	**Rango (ppm)**	**Interpretación ***
Fe	159.30-238.60	Suficiencia
Mn	62.00-79.60	Suficiencia
Zn	42.20-48.40	Suficiencia
B	34.10-41.40	Exceso
Cu	11.10-14.20	Suficiencia

* Según niveles óptimos de referencia (Hoyos, 2013; SQM, 2018).

La C.E. en los tres estratos de tamaño de planta fue relativamente homogénea (0.244 ± 0.009 dS m^{-}

[1]), por lo que esta propiedad no se relacionó con el tamaño de la planta. Estos valores son óptimos para tabaco. Por textura, el suelo en los tres estratos de plantas fue de partículas medias desde migajón limoso hasta migajón arcillo limoso. Sin embargo, plantas medianas y grandes, tienen en común que el suelo posee arcilla, lo que de acuerdo con Ruíz *et al*. (2013), favorece el desarrollo de las hojas de tabaco. Mientras que en cloruros, cuya acumulación en tabaco tiene consecuencias adversas, los valores determinados en suelo 25 ± 2.5 mg kg^{-1} mostraron poca variación por tamaño de planta.

Conclusiones

El tamaño de la planta de tabaco al momento de muestreo fue factor significativo en el diagnóstico nutrimental, por lo que debe considerarse como variable de estratificación. Por suelo, pH (7.34 ± 0.29) y textura (Migajón limoso a migajón arcillo limoso), se relacionaron con la variación en el tamaño de planta. No así C.E. (0.244 ± 0.009 dS m^{-1}) y Cl (25 ± 2.5 mg kg^{-1}), que en suelo presentaron valores relativamente favorables para el cultivo, sin importar el tamaño de la planta.

De acuerdo al diagnóstico nutrimental foliar en prefloración, en la parcela de estudio plantada con tabaco Virginia, el cultivo presentó desbalance nutrimental, requiere acciones correctivas y modificar su plan de fertilización en N, K, P, S y B.

Referencias

Bertsch, H. F. 2007. Muestreo Foliar, Costa Rica. pp. 2

Hoyos, V. 2013. Respuesta fisiológica y de producción del tabaco tipo Virginia bajo diferentes planes de fertilización en Campoalegre y Garzón, Huila. UNC. Facultad de Agronomía, Bogotá D.C. pp. 42.

Castellanos J. Z., J. X. Uvalle, B., A. Aguilar S. 2000. Manual interpretación análisis suelos y aguas. 2 Ed. Intagri. 201 p.

Chavarría, J. 2007. Curvas de absorción de nutrientes en tabaco (*Nicotiana tabacum*), bajo condiciones de campo en Jalapa, Nicaragua, pp. 16.

Chaverri, R. (1995). *El cultivo del tabaco*, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a distancia, pp. 68-81.

Donohue, S. J. 2009. Soil Testing and Plant Analysis. Part VII. *In*: Daniel E. Brann (ed.). Agr. Handbook, 424:76-85.

Rojo, L. W. 2008. Guía de Manejo Nutrición Vegetal de Especialidad. *SQM. S. A.* pp. 13-50.

Ruíz C., A., G. Medina G., I. J. González A., H. E. Flores L., G. Ramírez O., C. Ortiz T., K. F. Byerly M. y R.A. Martínez P. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. 2 Ed. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP-CIRPAC-C.E. Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. pp. 441-445.

SAGADER-SIAP. 2017. Avance de Siembras y Cosechas. Estadísticas. Recuperado de: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenDelegacion.do Consulta: Abril del 2018.

Schwab, G.J., C.D. Lee, R. Pearce, and W.O. Thom. 2007. Sampling Plant Tissue for Nutrient Analysis. University of Kentucky Cooperative Extension Service Publication AGR-92. University of Kentucky. 6 p.

SQM. 2018. Tabaco. http://www.sqm.com/eses/productos/nutricionvegetaldeespecialidad/cultivos/tabaco.as_px#tabs-1 Abril 2018.

Trémols, J., Monzón L., Cánepa, Y., Valiente, M., González, A., y Villalón, A. 2012. Diagnóstico nutricional del tabaco cultivado sobre suelos ferralíticos y ferrálicos rojos. II: análisis de plantas, *Cuba Tabaco, 13*(1):78-82.

Valdez, M., R. A. 2018. Diagnóstico nutrimental en hojas de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) cultivado bajo riego en Nayarit. UTC. Div. Ingenierías Ciencias Agropecuarias. Agrobiotecnología. Tesina. Santiago Ixc., Nay. 78 p.

William H. Kruskal and W. A. Wallis. 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. Journal of the American Statistical Association 47(260):583-621.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EFECTO DEL ÁCIDO SALICILICO EN LA CALIDAD COMERCIAL Y NUTRACÉUTICA DE FRUTOS DE PEPINO

Ramírez- Rodríguez, S.C[1]; Preciado-Rangel, P[1]; Salas Pérez, L[2]; Fortis-Hernández M[1]; Ayala-Garay. A.V[3]
[1]Instituto Tecnológico de Torreon. Torreon, Coahuila., México.
[2]Universidad Autónoma de Coahuila. Torreon, Coahuila., México.
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Texcoco, México.
***Autor responsable ppreciador@yahoo.com.mx**

Resumen

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la aplicación foliar de ácido salicílico (AS), sobre la calidad comercial y nutracéutica en frutos de pepino. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 15 repeticiones. El ácido salicílico fue asperjado semanalmente a plantas de pepino en cinco concentraciones (0.075, 0.1, 0.15, 0.25, 0.5 mM) y un testigo (agua destilada). Los resultados indican que dosis bajas de AS mejoran la calidad comercial y dosis altas lo disminuyen, pero se mejora la calidad nutracéutica de los frutos con relación al tratamiento testigo. La aspersión foliar de ácido salicílico es una técnica agronómica viable para incrementar la producción y la calidad nutracéutica del cultivo de pepino desarrollado en hidroponía y en condiciones protegidas.

Palabras clave: elicitores, calidad nutraceutica, *Cucumis sativus* L.

Introducción

En México, la producción de hortalizas bajo sistemas hidropónicos en invernadero se ha incrementado significativamente durante los últimos años, siendo el pepino (*Cucumis sativus* L.) una de las hortalizas con un gran potencial económico ya que tiene un elevado índice de consumo tanto en fresco como industrializada, ocupando el 10 % de la superficie total de los invernaderos en el país (Ortiz *et al.*, 2009). Estos sistemas de producción han permitido incrementos en el rendimiento, el cual no necesariamente va acompañado de una alta calidad nutracéutica de los productos cosechados (Preciado-Rangel *et al*., 2018). Para tratar de subsanar este aspecto una técnica agronómica muy utilizada la elicitación. Esta práctica permite incrementar o inducir la biosíntesis de fitoquímicos en las plantas como resultado de la inducción de vías de señalización ayudando a evitar la disminución del rendimiento y promoviendo la formación de compuestos bioactivos (Miura y Tada, 2014). La elicitación puede ser promovida por una variedad de compuestos que aplicados externamente permiten los beneficios mencionados. Un compuesto ampliamente utilizado es el ácido salicílico (SA), ya que ha demostrado prolongar la vida útil en frutas (Fugate *et al*., 2013) y aumentar la biosíntesis de fitoquímicos (Lee *et al*., 2010). Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar posibles aumentos del rendimiento y la calidad nutracéutica de frutos de pepino mediante la aspersión foliar de ácido salicílico.

Materiales y Métodos

El experimento se llevó a cabo en un invernadero del Instituto Tecnológico de Torreón. Se utilizaron como macetas bolsas de plástico negro calibre 500 tipo vivero de 20 L., dichas macetas contenían como sustrato 20% perlita y 80% arena que previamente había sido lavada y desinfectada con hipoclorito de sodio al 5%. En dichas macetas se trasplantaron plántulas de pepino variedad Poinset. Los tratamientos consistieron en cinco concentraciones de ácido salicílico (0.075, 0.1, 0.15, 0.25, 0.5 mM) y un testigo, preparadas con agua destilada, dichas dosis fueron asperjadas foliarmente cada ocho días durante todo el periodo del cultivo, realizándose en un horario de entre 8:00 y 10:00 am. Se utilizó un diseño completamente al azar con 15 repeticiones. Los requerimientos de agua y nutricionales del cultivo fueron cubiertos por medio de una solución nutritiva (Steiner), el cual fue aplicada con un sistema de riego por goteo con tres riegos por día. La planta de pepino se condujo a un tallo, el cual fue sostenido con hilo rafia de polipropileno sujeto a un alambre transversal. Los brotes laterales se eliminaron conforme aparecían. Los frutos de diez plantas de cada tratamiento fueron cosechados, contabilizándose la firmeza, el peso, longitud y diámetro de los frutos. Posteriormente, de cada tratamiento se seleccionaron al azar cuatro frutos para el análisis de la calidad nutracéutica se midió usando una modificación del método de Folin-Ciocalteu (Esparza *et al*., 2006). Reportándose las unidades en equivalentes de ácido gálico por 100 g en base a peso fresco (mg AGE/100 g^{-1} PF) mg equivalentes de quercetina por 10 g en base a peso fresco (mg g^{-1} PF).

A los resultados obtenidos se les realizó el análisis de varianza, para determinar si existieron diferencias significativas entre las distintas concentraciones de ácido salicílico, y la prueba de separación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

Resultados y Discusión

El tamaño de los frutos fue afectado significativamente por las distintas dosis de AS (Cuadro 1). Una mayor firmeza de los frutos confiere mayor vida de almacenamiento y la capacidad de resistir golpes durante el trasporte, almacenamiento o mercadeo (Muy Rangel *et al*., 2004) La dosis de 0.075 mM de AS supero en 13.45 y 7.27 % en longitud y diámetro a los frutos obtenidos por el testigo. Botta-Ferret *et al*., (2012), indican que el AS, actúa como un regulador del crecimiento que acelera la división celular pudiendo incrementar el tamaño, número de frutos y el rendimiento. En cambio, dosis altas del AS disminuyen el tamaño de frutos probablemente debido a un efecto inhibitorio de la división celular causado por un desbalance hormonal (Rodríguez-Larramendi *et al*., 2017). La aspersión foliar de AS afectó la firmeza de los frutos (Cuadro 1). Las concentraciones bajas e intermedias incrementaron la firmeza en un 51.19 % con relación a los frutos del testigo. (Shafiee et al., 2010) afirman que el AS disminuye el ablandamiento de los frutos; ya que el AS provoca una menor producción de etileno, inhibiendo la acción de las enzimas responsables de la degradación de la pared celular, como la poligalacturonasa (PG), celulasa (CEL) y pectinmetilesterasa (PME) las cuales son etileno-dependientes (Asghari y Aghdam, 2010). Un fruto con poca firmeza es susceptible a un rápido marchitamiento (Moreno Velázquez et al., 2013) y deshidratación, así como de la formación de un tejido esponjoso y menor turgencia, debido a la pérdida de agua de las células por transpiración, producto de la plasmólisis y la menor acumulación de azúcares en las paredes celulares (Verheul *et al*., 2013). La calidad nutracéutica de los frutos fue afectada por la aspersión foliar del

AS (Cuadro1). Con los aumentos de la concentración del AS, se mejoró la concentración de compuestos fenólicos y flavonoides, obteniéndose la mayor concentración de estos compuestos con la dosis de 0.5 mM, superando en 37.74 y 45.39 % al tratamiento testigo. Mora-Herrera *et al*., (2011) indican que dosis elevadas de AS en las plantas activan el metabolismo secundario e incrementan la síntesis de compuestos fitoquímicos.

Cuadro 1. Valores promedio obtenidos de las variables evaluadas en frutos de pepino por efecto de la aplicación de AS en diferentes concentraciones.

Tratamiento	Firmeza	Longitud	Diámetro	Fenólicos totales	Flavonoides totales
mM	N	--------- cm ----------		mg·100 g^{-1} PF	mg·100 g^{-1} PF
0.0	16.4 b	19.3 b*	5.1 b	105.0 d	51.7 d
0.075	33.6 a	22.3 a	5.5 a	107.7 d	57.8 cd
0.1	33.3 a	22.2 a	5.3 ab	119.8 c	62.2 c
0.15	33.0 a	19.9 ab	5.1 b	129.8 b	77.2 b
0.25	19.1 b	19.3 b	4.7 c	134.8 b	77.7 b
0.5	17.3 b	19.2 b	4.6 c	168.7 a	94.8 a

*Valores con letras iguales dentro de cada columna son similares estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

Sánchez *et al*. (2013) reportaron un aumento de fenólicos y flavonoides en frutos de chile con la utilización de AS, ya que se genera un estrés bioquímico en la suspensiones celulares y tejidos de las plantas propiciando un incremento en los metabolitos secundarios (Piñeros-Castro *et al*., 2009), como los compuestos fenólicos (Ávalos y Pérez, 2011) y flavonoides (El-Gaied *et al*., 2013). Sin embargo; no todos los cultivos responden de la misma manera ya que los resultados dependen de las concentraciones utilizadas y la especie vegetal evaluada (Rivas-San Vicente y Plasencia, 2011), así como de la técnica utilizada para aplicarlo.

Conclusiones

La aspersión foliar de ácido salicílico en plantas de pepino afecto significativamente la calidad comercial y nutraceutica. Las dosis bajas de ácido salicílico incrementan la calidad comercial, en cambio dosis altas la disminuyen, pero se incrementa la calidad nutracéutica. Por lo tanto, el uso del ácido salicílico en bajas concentraciones es una alternativa viable para incrementar la calidad comercial. Para obtener mayor contenido de compuestos bioactivos sin afectar la calidad comercial en los frutos de pepino es recomendable emplear dosis medias (0.15 mM) de ácido salicílico. La aspersión foliar de ácido salicílico es una técnica agronómica viable para incrementar la producción y la calidad nutracéutica del cultivo de pepino desarrollado en hidroponía y en condiciones protegidas.

Referencias

Asghari, M. and Aghdam, M. S. 2010. Impact of salicylic acid on postharvest physiology of horticultural crops. Trends Food Sci. Technol. 21:502-509.

Ávalos- García, A. y Pérez-Urria, C. E. 2011. Metabolismo secundario de plantas. Reduca (biología). 2:119-145

Botta-Ferret, E.; Almaguel- Rojas, L.; Franco- Domínguez, I. and Díaz- Finalé, Y. 2012. Evaluación de la acción de diferentes fitorreguladores sobre las poblaciones de Steneotarsonemus spinki Smiley en dos variedades comerciales de arroz Fitosanidad. 12:109-116

El-Gaied, L. F.; Abu El-Heba, G. A. and El-Sherif, N. A. 2013. Effect of growth hormones on some antioxidant parameters and gene expression in tomato. GM Crops Food. 4:67-73

Esparza-Rivera J.R., Stone M.B., Stuchnoff C., Pilon-Smits E. and Kendall P.A. (2006). Effects of ascorbic acid applied by two hydrocooling methods on physical and chemical properties of green leaf stored at 5 ºC. Journal of Food Science. 71:270–6.

Fugate, K. K., Ferrareze, J. P., Bolton, M. D., Deckard, E. L., Campbell, L. G., and Finger, F. L., 2013. Postharvest salicylic acid treatment reduces storage rots in water-stressed but not unstressed sugarbeet roots. Postharvest Biol Technol. 85: 162-166.

Lee, S., Kim, S. G., and Park, C. M., 2010. Salicylic acid promotes seed germination under high salinity by modulating antioxidant activity in *Arabidopsis*. New Phytol. 188: 626-637.

Miura, K., and Tada, Y., 2014. Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. Front Plant Sci. 5: 4-8.

Mora-Herrera, M. E.; Peralta-Velázquez, J.; López-Delgado, H. A.; García-Velasco, R. and González-Díaz, J. G. 2011. Efecto del ácido ascórbico sobre crecimiento, pigmentos fotosintéticos y actividad peroxidasa en plantas de crisantemo. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 17:73-81

Moreno Velázquez, D., Cruz Romero, W., García Lara, E., Ibañez Martínez, A., Barrios Díaz, J. M., and Barrios Díaz, B. (2013). Cambios fisicoquímicos poscosecha en tres cultivares de pepino con y sin película plástica. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 4: 909-920.

Muy Rangel, D., Siller Cepeda, J., Díaz Pérez, J., Valdéz Torres, B. 2004. Efecto de las condiciones de almacenamiento y el encerado en el estatus hídrico y la calidad poscosecha de pepino de mesa. Revista Fitotecnia Mexicana 27:157-165.

Ortiz CJ, Castillo SF, y García AT. 2009. Características deseables de planta de pepino crecida en invernadero e hidroponía en altas densidades de población. Revista Fitotecnia Mexicana 32:289-294.

Castro, Y.; Otálvaro-Álvarez, Á. and Velásquez-Lozano, M. 2009. Efecto de la aplicación de elicitores sobre la producción de 4β-hidroxiwithanólido E, en raíces transformadas de Physalis peruviana L. Universitas Scientiarum 14:23-28.

Preciado-Rangel, P., Salas-Pérez, L., Gallegos-Robles, M. Á., Ruiz-Espinoza, F. H., Ayala-Garay, A. V., Fortis-Hernández, M., and Murillo-Amador, B. 2018. Increasing doses of potassium increases yield and quality of muskmelon fruits under greenhouse. Horticultura Brasileira 36: 184-188.

Rivas-San Vicente, M., and Plasencia, J. (2011). Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. Journal of Experimental Botany 62: 3321-3338.

Rodríguez-Larramendi, L. A., Ramírez, M. G., Gómez-Rincón, M. A., Guevara-Hernández, F., Salas-Marina, M. Á., and Gordillo-Curiel, A. (2017). Efectos del ácido salicílico en la germinación y crecimiento inicial de plántulas de frijol (Phaseolus vulgaris L.). Revista de la Facultad de Agronomía 34: 253-269.

Sánchez-Chávez, E.; Barrera-Tovar, R.; Muñoz-Márquez, E.; and Ojeda-Barrios, D. L. 2011. Efecto del ácido salicílico sobre biomasa,actividad fotosintética, contenido nutricional y productividad del chile jalapeño. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 17:63-68.

Shafiee, M., Taghavi, T., and Babalar, M. (2010). Addition of salicylic acid to nutrient solution combined with postharvest treatments (hot water, salicylic acid, and calcium dipping) improved postharvest fruit quality of strawberry. Scientia horticulturae 124: 40-45.

Verheul, M.J., R. Slimestad y L.R. Johnsen. 2013. Physicochemical changes and sensory evaluation of slicing cucumbers from different origins. Europ. J. Hort. Sci. 78: 176-183.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

APLICACIÓN FOLIAR DE ÁCIDO SALICÍLICO EN LA PRODUCCIÓN DE CHILE JALAPEÑO

Preciado-Rangel P[1]; Sánchez- Sánchez, M.[1]; Favela-Chávez, E[1]; Vázquez-Díaz D.A[1]

[1]Universidad Autónoma de Coahuila. Torreon, Coahuila., México.

*Autor responsable ppreciador@yahoo.com.mx

Resumen

El uso de elicitores como el ácido salicílico es una práctica agronómica que en años recientes se ha utilizado para mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la aplicación foliar del ácido salicílico (AS) sobre el rendimiento y la calidad comercial de frutos de chile jalapeño. Cuatro concentraciones de AS (0.0, 0.1, 0.15 y 0.25 mM), fueron aplicadas a plantas de chile Jalapeño. Las variables respuesta evaluadas consistieron en el rendimiento y sus componentes, así como la calidad comercial de los frutos. Los resultados obtenidos confirman que la dosis intermedia de AS (0.15 mM), afectó positivamente el peso de fruto, tamaño, diámetro, largo, frutos por planta y rendimiento superando al testigo (sin aplicación de AS). La aplicación foliar de ácido salicílico es una alternativa para incrementar la producción y la calidad comercial de frutos de chile jalapeño.

Palabras clave: elicitores, rendimiento**.**

Introducción

En México, la agricultura protegida han crecido aceleradamente en los últimos años con la construcción de invernaderos y casa sombra (Padilla-Bernal *et al*., 2012). La agricultura protegida es un sistema de producción realizado bajo diversas estructuras, para proteger cultivos, al minimizar las restricciones y efectos que imponen los fenómenos climáticos (Moreno *et al*., 2011). En este sistema de producción intensiva se requiere un continuo suministro de nutrimentos, los culés son suplidos mediante una solución nutritiva, misma que elabora con fertilizantes altamente solubles generalmente importados; lo anterior incrementa los costos de producción, Una alternativa para disminuir la cantidad de fertilizantes utilizados y mejorar el rendimiento y la calidad de los frutos es el uso del elicitores (Vázquez *et al*., 2016).

Se ha documentado que el AS, propicia efectos positivos en los cultivos a nivel celular que generan un mejor desarrollo al participar en diversos procesos fisiológicos tales como , resistencia a patógenos, inducción a la floración, el crecimiento de raíces y absorción de nutrimentos e incrementos de rendimientos (Sánchez *et al*., 2013). Con base en lo anterior, en el presente estudio se analizó la aplicación foliar de ácido salicílico en plantas de chile jalapeño y se evaluó su efecto sobre la producción frutos.

Materiales y Métodos

El estudio se estableció en un invernadero, ubicado en la Universidad autónoma Agraria Antonio Narro- Unidad Laguna. El trasplante se realizó en bolsas de polietileno color negro de 10 L, las cuales contenían un sustrato a base de arena-perlita en una proporción (70:30), la arena fue lavada y con hipoclorito de sodio al 5%. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos y 10 repeticiones, teniendo 40 unidades experimentales, cada uno con una planta de chile, las macetas fueron acomodadas a una distancia de 30 cm entre planta y 50 entre hileras con una densidad de 4 plantas por m².

Los tratamientos consistieron en aplicación en dosis creciente de ácido salicílico asperjado vía foliar en las siguientes concentraciones 0.0, 0.1, 0.15 y 0.25 mM, las aplicaciones empezaron 25 días después de trasplante, las aplicaciones se realizaron a las 8:00 AM semanalmente hasta la cosecha. Para nutrir el cultivo se utilizó la solución nutritiva Steiner. A los resultados obtenidos se les realizó el análisis de varianza, para determinar si existieron diferencias significativas entre las distintas concentraciones de ácido salicílico, y la prueba de separación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

Resultados y Discusión

La aplicación del AS causo diferencias significativas en el peso de frutos (Cuadro 1), siendo la concentración de 0.15 mM, la que obtuvo el mayor peso, superando a los frutos del tratamiento testigo en un 58%. Este incremento en el peso de fruto por efecto del AS. Ramírez *et al*., (2015), demostraron que la aplicación de AS a bajas concentraciones incremento el rendimiento de chile por planta.

El incremento de peso por la aplicación exógena del AS en los frutos es debido a que en concentración bajas aumenta el número y peso de frutos y consecuentemente el rendimiento y en altas concentraciones causa un efecto negativo (López *et al*., 1998). El AS también aumento el tamaño de los frutos (Cuadro 1), siendo la concentración de 0.15 mM, la que obtuvo el mayor diámetro, superando al testigo un 36%. Este incremento en el tamaño de frutos por efecto del AS reportado por Vázquez *et al*., (2016). Este incremento en el tamaño de los fruto es atribuible al AS; ya que este promueve la división celular (Ramírez, 2015).

El AS también afecto significativamente el rendimiento (Cuadro 1), siendo la concentración de 0.15 mM, la que obtuvo el mayor rendimiento por planta, sin diferencias significativas en el rendimiento para las concentraciones de 0.1 y 0.25 mM, en cambio el tratamiento testigo mostro el menor rendimiento por plantas. El rendimiento con la concentración 0.15 mM de AS, supero al testigo en.50%. El incremento en el rendimiento por la aplicación exógena del AS en los frutos es debido a que en concentración bajas aumenta el número y peso de frutos y consecuentemente el rendimiento (López *et al*., 1998).

Cuadro 1. Valores promedio obtenidos de las variables evaluadas en frutos de chile jalapeño por efecto de la aplicación foliar de AS en diferentes concentraciones.

Tratamiento	Peso de fruto	Longitud de fruto	Diámetro de fruto	Rendimiento por planta
mM	gr	--------- cm ----------		gr
0.0	7.08 b	3.83 b	1.74 b	169.47 b
0.01	8.13 ab	4.51 ab	1.91ab	244.58 ab
0.15	11. 19 a	5.21 a	2.13 a	338.87 a
0.25	8.30 a	4.44 ab	1.97 ab	266.22 b

*Valores con letras iguales dentro de cada columna son similares estadísticamente Tukey ($P \leq 0.05$).

Conclusiones

La aplicación foliar de ácido salicílico afecta positivamente el rendimiento y calidad de los frutos de chile jalapeño. La concentración de 0.15 mM de ácido salicílico aumento el rendimiento y la calidad comercial de frutos de chile jalapeño. El uso del ácido salicílico es una alternativa viable para mejorar sustancialmente el rendimiento y la calidad del cultivo de chile jalapeño desarrollado en hidroponía en invernadero.

Referencias

López, T., Rodrigo, R. Camacho, Víctor y C. Gutiérrez, Marco Antonio. 1998. Aplicación de ácido salicílico para incrementar el rendimiento agronómico en tres variedades de trigo. Terra Latinoamericana 16(1).

Moreno, R., Alejandro, D. Aguilar, Juanita y G. Luévano, Armando. 2011. Características de la agricultura protegida y su entorno en México. Revista Mexicana de Agronegocios 15(29).

Padilla-Bernal, L. E., E. Reyes-Rivas y Ó. Pérez-Veyna. 2012. Evaluación de un cluster bajo agricultura protegida en México. Contaduría y administración 57(3): 219-237.

Ramírez, Z., Ricardo. 2015. Efecto del acido salicílico en el crecimiento y desarrollo de un cultivo de acelga (Beta vulgaris L. var. fordhook). Tesis de Licenciatura, Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro, Saltillo Coahuila, Mexico. 20p.

Sánchez, G. R., E. C. Mercado, H. R. de la Cruz y E. G. Pineda. 2013. El ácido salicílico y su participación en la resistencia a patógenos en plantas. Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo 12(2): 90-95.

Vázquez Díaz, D. A., L. Salas Pérez, P. Preciado Rangel, M. Á. Segura Castruita, J. A. González Fuentes y J. R. Valenzuela-García. 2016. Efecto del ácido salicílico en la producción y calidad nutracéutica de frutos de tomate. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas (17): 3405-3414.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA EN EL CRECIMIENTO Y CALIDAD COMERCIAL DE *LILIUM* ASIÁTICO CV. TRESOR CULTIVADO BAJO CONDICIONES DE HIDROPONIA

González-Sandoval, D. C.[1]; Rodríguez-Fuentes, H.[1]; Sánchez-Alejo, E. J.[1]; Rojas, R.[1]*.

[1]Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía. Escobedo, Nuevo León, México.

*Autor responsable: romeo.rojasmln@uanl.edu.mx, Francisco Villa s/n, Col. Ex−Hacienda "El Canadá", Escobedo, Nuevo León, México, C.P. 66050, Teléfono: 01 (81) 1340-4399 Ext. 3522.

Resumen
En nuestro país existe un gran interés por la producción de ornamentales de corte y uno de los cultivos a los que se les está prestando más interés es al cultivo de *Lilium* spp, debido a que es una de las especies de mayor importancia económica en el ramo florícola. La comercialización de las flores depende de muchos parámetros de calidad y para cumplir con estos se debe tener un buen manejo en el sistema de producción, además de tener un buen manejo poscosecha. El cultivo de *Lilium* desarrollada en condiciones ambientales y nutricionales óptimas tendrá incrementos en su calidad; este incremento se acentúa con el uso de sistemas de producción intensiva como la hidroponia donde se tiene una eficiente absorción de nutrientes, disponibilidad de agua, reducción del uso de plaguicidas, haciendo la producción más rentable. El objetivo de esta investigación fue evaluar el crecimiento del cultivo de *Lilium* asiático, cv. Tresor en un sistema hidropónico cerrado y con tres densidades de siembra: T1:60, T2:80 y T3:100 bulbos por metro cuadrado. Los resultados promedio de las variables evaluadas fueron: longitud (73.2, 72.2, 72.0 cm) y diámetro de tallo (11.6, 11.0, 11.5 mm), número de botones (6.2, 6.8, 7.1), biomasa fresca total de tallo y hoja (112.3, 118.0, 112.9 g) y biomasa fresca de bulbo inicial y final (43.5, 46.1, 44.5; 28.1, 27.5, 24.3 g); para los tratamientos T1, T2 y T3 respectivamente. De acuerdo con los resultados observados en esta investigación las diferentes densidades de siembra no afectaron las variables evaluadas; cumpliéndose con los parámetros de calidad para la comercialización de esta especie de *Lilium.*

Palabras clave
Sistema de producción, comercialización, ornamentales de corte, calidad.

Introducción
La inserción del mercado floral en el mundo ha tenido una gran demanda en los últimos años, esto se debe principalmente al desarrollo económico de las naciones. En términos del mercado internacional, ésta demanda se concentra principalmente en tres regiones: Europa Occidental, América del Norte y Asia. La producción mundial de flores ocupa más de 190,000 ha, alcanzando un valor de más de 16,000 millones de $US. Los principales países productores son Estados Unidos de América, Japón y Holanda (Facchinetti y Marinangeli, 2008; FCH, 2010). El consumo actual de flores y plantas se prevé que continuará creciendo, ya que la población mundial y el poder adquisitivo de los consumidores también aumentarán (Foshi, 2012).

En México la amplia y variada gama de climas así como la calidad de los suelos permiten la producción de una gran variedad de flores, las cuales se comercializan mayormente en el mercado interno (Orozco-Hernández *et al*., 2003; TecM, 2011). Alrededor de 90 % de la producción nacional se destina a los mercados nacionales y el resto es enviado a los mercados internacionales (Hernández, 2007; SAGARPA, 2012; AMEHOAC, 2013; Torres, 2014). De acuerdo con el Consejo Mexicano de la Flor, la superficie total de producción florícola es de aproximadamente 16,267.06 ha; el Estado de México cuenta con una participación total de la superficie de producción del 36.83 %, seguido por los estados de Puebla y Morelos con el 22.7 y 10.0 %, respectivamente (Gómez-Gómez, 2010; SAGARPA, 2012). En el país se cultivan más de 70 variedades de flor de corte y follaje; las principales especies cultivadas son las rosas (*Rosa* spp.), gladiolas (*Gladiolus* spp.), claveles (*Dianthus caryophyllus*), crisantemos (*Chrysanthemum* spp.) y lilis (*Lilium* spp.); se estiman que representan el 50 % de la superficie cultivada con un valor de casi 80 % del valor de la producción (SAGARPA, 2009). *Lilium* spp. es una de las especies de importancia económica en la producción de flor de corte, ocupando el quinto lugar en cuanto al valor a la producción en el ramo florícola (Ramírez y Benavides 2003). La comercialización de las flores depende de su calidad, que se determina por el tamaño del tallo, la forma, el color, la calidad sanitaria y la calidad poscosecha. Para lograr la calidad de flor que exige el mercado es necesario tener un buen manejo durante el periodo de producción el cual consiste en: nutrición de acuerdo al tipo de flor, control eficiente de plagas y enfermedades y control de condiciones climáticas; además de tener un buen manejo poscosecha (Cruz *et al.*, 2006).

En el manejo del cultivo de *Lilium* la densidad de siembra por metro cuadrado depende de la especie, el calibre del bulbo y de la época de plantación; en épocas de menor luminosidad se sugiere emplear densidades menores y en épocas de mayor luminosidad, densidades mayores. Generalmente la densidad de siembra para este cultivo en suelo para todos los casos es de hasta: 80 bulbos·m^{-2} (calibre 10/12), 60 a 70 bulbos·m^{-2} (calibre 12/14) y 50 a 60 bulbos·m^{-2} (calibre 14/16); bajo condiciones hidropónicas la densidad puede ser de hasta 100 bulbos·m^{-2} (Rodríguez-Fuentes *et al*., 2016). Alberto, (2012), menciona que la planta de *Lilium* desarrollada en condiciones ambientales y nutricionales óptimas tendrá bulbos de mayor tamaño, aumentando la longitud y calidad de las varas florales; este incremento se acentúa con el uso de sistemas de producción intensiva como la hidroponia donde se tiene una eficiente absorción de nutrientes, disponibilidad de agua, reducción del uso de plaguicidas, haciendo la producción más rentable. En algunas ornamentales como son las del género *Lilium* la pérdida de calidad puede ser el resultado del marchitamiento o caída de las hojas y/o los pétalos, decoloración de las hojas, o las torceduras geotrópicas de los tallos, lo cual demeritan su comercialización (Reid, 2009). De acuerdo con lo anterior el objetivo de esta investigación fue evaluar el crecimiento del cultivo de *Lilium* asiático, *cv.* Tresor en un sistema hidropónico cerrado con tres densidades de siembra.

Materiales y Métodos

Análisis de calidad de agua: Se realizó en el Laboratorio de Suelos, Plantas y Aguas de la Facultad de Agronomía, Campus Marín de la Universidad Autónoma de Nuevo León, siguiendo las metodologías reportadas por Rodríguez y Rodríguez (2015). Se determinó el contenido de calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), carbonatos (CO_3^{2-}), cloruros (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}) y sodio (Na^+).

Cálculo y preparación de solución nutritiva: La solución nutritiva a emplear para la nutrición del cultivo de *Lilium* es la reportada por Rodríguez-Fuentes *et al.* (2016). Los requerimientos de las fuentes empleadas para cubrir la demanda nutricional de la solución se calcularon mediante el Software Hidroponia 2010 versión 14.7 de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León; estos para un volumen de 2000 L y considerando la calidad del agua. Para la preparación de la solución nutritiva se disolvieron las fuentes que contenían a los macronutrientes en un recipiente de 20 L y se aplicaron al agua, se midió el pH (7.4) y se estabilizó a un pH de 5-5.5 con la aplicación de H_2SO_4 (250 mL); posteriormente se aplicaron los micronutrientes en solución (200 mL).

Siembra de los bulbos de *Lilium*: Se realizó en el Laboratorio de Producción de Cultivos en Ambiente Controlado de la Facultad de Agronomía Campus Marín de la Universidad Autónoma de Nuevo León, utilizando como material biológico *Lilium* spp. asiático, cv. Tresor (calibre 14-16), adquiridos de la empresa Flores de Bulbos Importados S.A. de C.V. El cultivo se estableció en un bancal (1.10 m x 14 m x 0.20 m) el cual contiene sustrato tezontle ó piedra volcánica, previamente esterilizado con una solución de ácido sulfúrico, amortiguada a pH 3. El bancal tiene un sistema de drenaje conectado a una cisterna (2000 L) que permite, drenar por gravedad y reciclar la solución nutritiva. Las densidades de siembra empleadas fueron: T1:60, T2:80 y T3:100 bulbos•m^{-2}, cada tratamiento contó con 5 repeticiones (0.5 m2), la superficie total de siembra fue de 7.5 m2 un total de 600 bulbos.

Medición de variables fenológicas: Con el fin de evaluar el crecimiento del cultivo se hicieron 4 muestreos destructivos (15, 30, 45 y 55 días después del trasplante (DDT)) con un total de 10 plantas por tratamiento evaluando las siguientes variables fenológicas: longitud de tallo (flexómetro), diámetro de tallo (vernier digital, Modelo IP65 0-1", Mitutoyo America Corporation, USA), peso fresco de tallo/hoja y bulbo (balanza electrónica, Modelo VE-1000, Velab Scientific, EUA).

Análisis estadístico: Se realizó para los datos obtenidos de las variables evaluadas mediante un análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar. Se utilizó el software InfoStat 2017 versión 2017.1.2.

Resultados y Discusión

Calidad de agua: El contenido de aniones y cationes que se determinaron se presenta en el Cuadro 1. De acuerdo con los resultados del análisis de agua y con la clasificación de las aguas con fines de riego para cultivos agrícolas esta agua se clasifica como un agua altamente salina (CE 2.12 $mS \cdot cm^{-1}$), baja en sodio, con un contenido de Na residual que la clasifica como agua de clase buena, conforme a la clasificación de salinidad efectiva, salinidad potencial y porciento de sodio probable es un tipo de agua condicionada y de acuerdo al contenido de cloruros es una agua no recomendable. Para la determinación del contenido de carbonatos (CO_3^{2-}), la muestra no presentó un cambio de coloración por lo tanto la concentración de carbonatos es igual a cero.

Cuadro 1. Calidad del agua empleada para la preparación de la solución nutritiva.

Cationes	Concentración (*meq·L^{-1})
Ca^{2+}	7.7
Mg^{2+}	5.2
Na^{+}	8.3
Aniones	**Concentración (*meq·L^{-1})**
SO_4^{2-}	11.6
CO_3^{2-} y HCO_3^{-}	2.1
Cl^{-}	7.6

*meq·L^{-1}= miliequivalentes por litro de agua.

Cálculo de la solución nutritiva: Los cálculos obtenidos del Software Hidroponia 2010 versión 14.7 de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, para cubrir la demanda de la solución nutritiva reportada por Rodríguez-Fuentes *et al*. (2016) se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Fuentes y peso (g) de los nutrientes para la preparación solución nutritiva.

Fuente	Peso (g)
$NH_4H_2PO_4$	445.63
KNO_3	1292.95
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	538.43
$Mg(NO_3)_2$	0
H_2SO_4	0
$FeSO_4.7H_2O$	4.97
$MnSO_4.H_2O$	1.52
H_3BO_3	0
$CuSO_4.5H_2O$	0.15
$ZnSO_4.H_2O$	1.37
Na_2MoO_4	0.05

Medición de variables fenológicas

Longitud y diámetro de tallo: De acuerdo con los datos de longitud de tallo el cultivar "Tresor" tuvo una curva de crecimiento simple sigmoide para los tres tratamientos (Figura 1); esto debido a su progresión temporal durante el ciclo agrícola; este resultado es similar a lo observado en el cultivar "Brindisi" reportado por Torres *et al.* (2009). Las normas de calidad para esta especie de *Lilium* se basan en la longitud del tallo y el número de botones, según estas normas se clasifican en: Extra (60 cm/4 ó más flores), Primera (50 cm/3 flores) y Segunda (40 cm/2 flores) (Hererros, 1983; IBC, 2010); los resultados encontrados para esta variable sobrepasan la norma de calidad Extra.

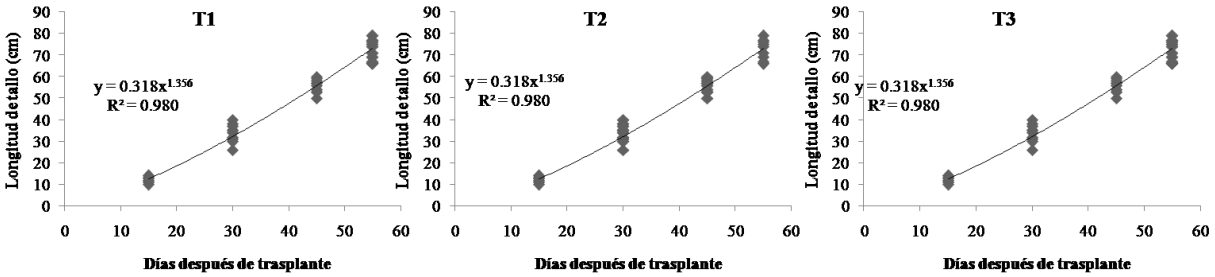


Figura 1. Curva de crecimiento durante el ciclo agrícola del cultivo de *Lilium* asiático, *var*. Tresor; T1:60, T2:80 y T3:100 bulbos·m^{-2}.

Conforme al análisis estadístico no se encontraron diferencias significativas entre los tres tratamientos, la longitud promedio obtenida en esta investigación fue de T1: 73.2±5.8, T2: 72.2±5.0, y T3: 72.0±4.8 cm estos resultados no concuerdan con de lo observado por Alberto y Sánchez (2012), en el cultivar "Levi" con una altura promedio de 55 cm, esto posiblemente por el uso de bajas concentraciones en los minerales empleados para la nutrición del cultivo; al mismo tiempo son similares con lo reportado por de Torres *et al.* (2009) en el cultivar "Brindisi" con una altura promedio de 75.1 cm; los cuales emplearon dosis más altas de minerales.

Cuadro 3. Diámetro de tallo (mm) durante el ciclo agrícola del cultivo de *Lilium* asiático, *var.* Tresor.

DDT*	T1	T2	T3
15	13.3±1.0	13.4±1.4	13.1±1.0
30	11.5±1.1	12.4±0.8	11.7±1.2
45	10.8±1.3	10.9±0.9	11.4±1.4
55	11.6±1.0	11.0±1.2	11.5±0.9

T1:60, T2:80 y T3:100 bulbos·m^{-2}; DDT*= Días después del trasplante; (media±DS, n=10).

El diámetro de tallo no es un parámetro que entre en las normas de calidad para este cultivo, aunque si es de suma importancia para seguir transportando agua y nutrientes, además que asegura mayor resistencia para el soporte de la flor (Flores *et al.*, 2005). El diámetro promedio de los tratamientos fue: T1: 11.6, T2: 11.0 y T3: 11.5 mm (Cuadro 3), no encontrando diferencia significativa entre tratamientos; estos datos son similares a los encontrados por Betancourt-Olvera *et al.* (2005) en el cultivar "Stargazer" observando un diámetro promedio de 9.82 mm; esto posiblemente por la similitud en la dosis de nutrición suministrada en el cultivo.

Número de botones: El número de botones promedio fue de T1: 6.2, T2: 6.8 y T3: 7.1 (Cuadro 4) no encontrando diferencia significativa entre tratamientos, de acuerdo al manual de producción agrícola para esta especie de *Lilium* fue superior al promedio que es de 2 a 4 botones para el calibre de bulbo 14/16; además de cumplir con la norma de calidad Extra (4 ó más flores). Estos resultados posiblemente se presentaron por la aplicación de la solución nutritiva la cual tiene los requerimientos óptimos nutricionales para el cultivo.

Cuadro 4. Número de botones florales durante el ciclo agrícola del cultivo de *Lilium* asiático, *var.* Tresor.

DDT*	T1	T2	T3
45	5.7±1.5	5.3±1.3	5.5±1.3
55	6.2±1.5	6.8±0.8	7.1±0.7

T1:60, T2:80 y T3:100 bulbos·m^{-2}; DDT*= Días después del trasplante; (media±DS, n=10).

Biomasa fresca de tallo-hojas y bulbo: La biomasa fresca es considerada como parte del crecimiento el cual está definido generalmente como un incremento irreversible en las dimensiones de la planta (Di Benedetto & Tognetti, 2016). El promedio de la biomasa fresca para cada uno de los tratamientos se puede observar en el Cuadro 5, no encontrando diferencia significativa entre tratamientos, asimismo puede observarse el comportamiento del peso del bulbo a través del tiempo, no encontrando diferencia significativa entre tratamientos; el peso va disminuyendo al transcurrir los días esto debido a la relación fuente-demanda entre los diversos órganos de la planta (Medina, 2011).

Cuadro 5. Biomasa fresca de tallos-hojas y bulbos (g) del cultivo de *Lilium* asiático, *var.* Tresor.

	Tallos y hojas			Bulbos		
DDT*	T1	T2	T3	T1	T2	T3
15	18.2±2.6	18.8±3.2	19.3±3.8	43.5±7.7	46.1±7.5	44.5±8.7
30	45.5±12.1	51.8±8.4	43.8±10.3	40.9±6.5	40.4±6.6	36.0±6.4
45	72.5±15.6	67.9±11.6	73.9±17.2	32.3±6.5	31.5±8.1	31.1±5.5
55	112.3±17.2	118.0±26.5	112.9±16.7	28.1±4.4	27.5±6.4	24.3±3.0

T1:60, T2:80 y T3:100 bulbos·m^{-2}; DDT*= Días después del trasplante; (media±DS, n=10).

Conclusiones

Los resultados de esta investigación nos permitieron observar que las diferentes densidades de siembra para esta especie de *Lilium* no afectaron ninguna de las variables evaluadas, las cuales son parámetros importantes para su comercialización, esto debido al uso del sistema hidropónico y la solución nutritiva empleada, por lo que el sistema hidropónico es una alternativa viable para la producción de esta especie.

Referencias

Alberto, V. A. & Sánchez, B. M. F. (2012). Efecto del suministro de calcio en el desarrollo de la planta y calidad de la flor *Lilium* spp. tipo asiático, cultivada en hidroponia. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Antonio Narro. Saltillo, Coahuila.

Alberto, V.A. (2012). Efecto del suministro de calcio en el desarrollo de la planta y calidad de la flor *Lilium* spp. tipo asiático, cultivada en hidroponía. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

Asociación Mexicana de Horticultura Ornamental A.C. (AMEHOAC). (2013). XIV Congreso nacional y VII Internacional de horticultura ornamental. 21-26 de octubre de 2013. Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario Tenancingo. México.

Betancourt-Olvera, M., Rodríguez-Mendoza, M. N., Sandoval-Villa, M., & Gaytán-Acuña, E. A. (2005). Fertilización foliar

una herramienta en el desarrollo del cultivo de *Lilium* cv. Stargazer. Revista Chapingo. Serie Horticultura, 11(2), 371-378.

Cruz-Crespo, E., Arévalo-Galarza, L., Cano-Medrano, R., & Gaytán-Acuña, E. A. (2006). Soluciones pulso en la calidad poscosecha de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv.'echo blue'. Agricultura Técnica en México, 32(2), 191-200.

Curiel, R.A., Espinoza, E.J., Cruz, H.J. & Almaguer, V.G. (2007). Modelos de regresión para estimar área de la hoja y biomasa de órganos en árboles jóvenes de manzano. Revista Chapingo. Serie Horticultura. 13(2):171-177.

Di Benedetto, A., & Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. RIA. Revista de investigaciones agropecuarias, 42(3), 258-282.

Facchinetti, C., & Marinangeli, P. (2008). Avances en la producción nacional de bulbos de Lilium. AgroUNS, 5(9), 5-9.

Flores, J.L., Becerril, A.E., González, H.V.A., Tijerina, C. & Vásquez, R.T. (2005). Crecimiento vegetativo y floral del crisantemo [*Dendranthema* x *grandiflor*um (Rama) Kitamura] en respuesta a la presión osmótica de la solución nutritiva. Revista Chapingo, Serie Horticultura. 11(2):241-449.

Flower Council of Holland (FCH). (2010). [Consultado julio 2018]. Disponible en: http://www2.flowercouncil.org/int/holland/market_vision/

Foshi, M.L. (2012). Introducción a la floricultura. [Consultado agosto 2018]. Disponible en: http://campus.fca.uncu.edu.ar/pluginfile.php/11262/mod_resource/content/0/Flores_Introduccion.pdf

Gómez-Gómez, A. A. (2010). La situación de las flores de corte mexicanas dentro de la política comercial internacional de México. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Económico Administrativas, 2(9).

Hernández, M. E. O. (2007). Between local and global competitiveness: commercial floriculture in the State of Mexico. Convergencia, 45, 100-150.

Herreros, D. L. M. (1983). Cultivo de *Lilium*. Servicio de Extensión Agraria. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid, España.

International Flower Bulb Centre (IBC). (2010). [Consultado agosto 2018]. Disponible en: http://flowers.flowers-expo.com/flowers2010/en/358.html

Medina, G. C. (2011). Dinámica de la absorción nutrimental y su relación con la fertilización interrumpida en *Lilium* sp. cultivado en un sistema hidropónico de recirculación. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila, México.

Orozco-Hernández, M. E., Mendoza Martínez, M., & María Estela Orozco Hernández, M. M. (2003). Competitividad local de la agricultura ornamental en México. (No. 300). e-libro, Corp.

Ramírez, H., & Benavides, A. (2003). Horticultural science and industry in Mexico–an overview. Chronica Horticulturae, 43(3), 20-25.

Reid, M. S. (2009). Poscosecha de las flores cortadas-manejo y recomendaciones. U.C. Davis, EUA. Hortitecnia Ltda.

Rodríguez Fuentes, H., Rodríguez Absi, J., Almaguer Sierra, P., & Rodríguez Ortiz, J. C. (2011). Cultivo hidropónico del nopal (No. 635.048585 C8).

Rodríguez Fuentes, H., Rodríguez Ortiz, J. C., Vidales Contreras, J. A., & Luna Maldonado, A. I. (2016). Cultivo hidropónico de Lilium (Azucena): para flor de corte y en maceta (No. 631.585 C968c). : TRILLAS.

Rodríguez, H., & Rodríguez, J. (2015). Métodos de análisis de suelo y plantas. Criterios de interpretación. Editorial Trillas. ISBN 968-24-6596-6.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2012). Garantizada la disponibilidad de flores para cubrir la demanda nacional. Boletín informativo. Delegación en el Distrito Federal Comunicación Social. México.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2009). La infraestructura y sistemas requeridos para el desarrollo de clústeres de horticultura ornamental orientados a la exportación de productos de valor agregado a los Estados Unidos y Canadá. [Consultado julio 2018]. Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/documents/estudios_promercado/ornamental.pdf

Tecnológico de Monterrey (TecM). (2011). Estado de México hacia una identidad de conocimiento, el desarrollo tecnológico y la innovación, con ventajas comparativas y competitivas para las empresas, los negocios y el bienestar social. Estudio sectorial flores y horticultura ornamental. México.

Torres Miranda, E., Morales Rosales, E. J., & Pérez López, D. D. J. (2009) Vida en florero de *Lilium* "Brindisi" y "Menorca" fertilizados con nitrato y oxido de calcio. Ciencias Agrícolas Informa, 18, 4-12.

Torres, L.R. (2014). Floricultura mexicana: Gran industria en el anonimato. [Consultado junio 2018]. Disponible en: http://tierrafertil.com.mx/floricultura-mexicana-gran-industria-en-el-anonimato/

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

ABONOS y TÉS ORGÁNICOS ASOCIADOS A LAS MICORRIZAS EN LA RESPUESTA VEGETATIVA-REPRODCUTIVA DE LA CALABACITA (*Cucurbita pepo* L.) EN INVERNADERO

Lucio Leos-Escobedo[1], E. Favela-Chávez[2], J de D. Ruíz-De la Rosa[3], P. Cano-Ríos[4], A. Moreno-Reséndez[5], H. Madinaveítia-Ríos[6], S.M. Chávez-Prieto[7*]

[1]Profesor-Investigador Dpto. Suelos/UAAAN UL, [2]Profesor-Investigador Dpto. Horticultura/UAAAN UL, [3]Profesor-Investigador Dpto. Horticultura/UAAAN UL, [4]Profesor-Investigador Dpto. Horticultura/UAAAN, [5]Profesor-Investigador Dpto. Suelos/UAAAN UL, [6]Profesor-Investigador Dpto. Biología/UAAAN UL. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Periférico y carretera a Santa Fe. Torreón, Coahuila, México. CP. 27000. [7]Estudiante de Licenciatura de la carrera Ingeniero Agrónomo Sustentable. Universidad Tecnológica de Parral. Parral, Chihuahua, México.

* Contacto: lleose@yahoo.com.mx

Resumen

La agricultura como base de toda acción civilizatoria, es pilar fundamental alimentar a la humanidad (Pengue, 2005). El uso indiscriminado de agroquímicos día con día es más alto, incluso hoy en la actualidad, sin pensar en el daño al consumidor final además de los efectos secundarios por el consumo de productos contaminados (Morales, 2002; Grimaldo, 2015). Los abonos orgánicos procesados de forma natural y desechos de los animales domesticados son la oportunidad para rescatar una agricultura que permita mejorar las condiciones físicas y químicas de los suelos agrícolas (Mena 2003; Flores *et al.*, 2005). El trabajo de investigación se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, ubicada en la ciudad de Torreón en el estado de Coahuila. El invernadero para el trabajo está adscrito al departamento del departamento de Producción Animal, el que tiene un área de 32 m^2. De acuerdo al contenido de sales en el Compost y Vermicompost) a utilizar, se llevó a cabo una desalinización. La siembra se realizó de forma directa a una profundidad de un cm, el día seis de abril del año 2018, colocando una semilla por maceta. La inoculación de micorrizas (inóculo comercial), se hizo al momento de la siembra, depositando 4.0 gramos del inóculo micorrízico por maceta. El diseño experimental utilizado fue un Bloques completos al azar, con ocho tratamientos, seis repeticiones y seis bloques, generando 48 unidades experimentales. Una maceta conformó la unidad experimental. Las variables evaluadas en etapa vegetativa-reproductiva fueron el el número de hojas verdaderas, el número de botones florales, el número de flores femeninas y el número de flores macho por planta a los 42 ddt. En los resultados se encontró que sobresalieron el Tratamiento 3 (75% Arena de río + 25% de Compost + Micorrizas + Té de compost) y el Tratamiento 4 (75% arena de río + 25% de Compost + Micorrizas + Té de vermicompost), Evaluar la respuesta del Compost y el Vermicompost más dos tés orgánicos de compost y Vermicompost asociados a las Micorrizas en la etapa vegetativa-reproductiva de la calabacita en condiciones de invernadero, fue el objetivo del presente trabajo de investigación.

Palabras clave

Calabacita, micorrizas, tés orgánicos, desarrollo vegetativo.

Introducción

La agricultura como base de toda acción civilizatoria, es el pilar fundamental de la que se nutre la humanidad (Pengue, 2005). El uso indiscriminado de agroquímicos día con día es más alto, incluso hoy en la actualidad, con miras solamente a incrementar la producción de alimentos no importando a que costo, sin pensar en el consumidor final y los daños y efectos secundarios que produce el consumo de productos contaminados (Morales, 2002; Grimaldo, 2015). Los abonos orgánicos procesados de forma natural y desechos de los animales domesticados son la oportunidad para rescatar una agricultura que permita mejorar las condiciones físicas y químicas de los suelos agrícolas (Mena 2003; Flores *et al*., 2005). La calabacita del género Cucúrbita spp, tiene sus orígenes en México y América Central, ha sido parte importante de la alimentación del hombre. Es considerada una de las primeras plantas cultivadas en Mesoamérica, cuyas fechas más antiguas datan de hace aproximadamente 10,000 años. En México se producen aproximadamente 26,500 hectáreas (ha) con rendimiento promedio de 16.76 t ha^{-1}. Los principales estados productores son: Sonora, Puebla, Sinaloa, Hidalgo y Michoacán, que en conjunto aportan el 62 % de la producción nacional, el consumo generalmente es en fresco.

Materiales y Métodos

El presente trabajo de investigación se realizó en invernadero durante el periodo abril-junio del año 2018, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en la Unidad Laguna, ubicada en la ciudad de Torreón, Coahuila, (Figura 1).

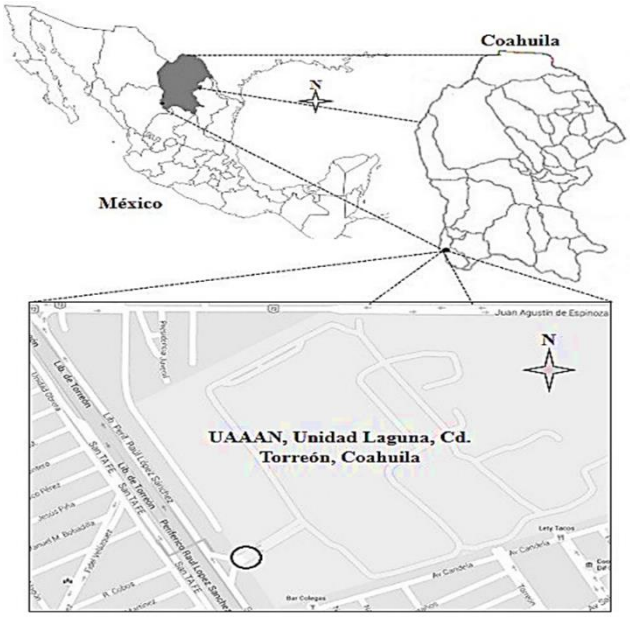


Figura 1. Localización de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Regional Laguna en el municipio de Torreón en el estado de Coahuila. 2018.

Para obtener las proporciones en los sustratos para estudio se realizaron varias mezclas haciendo una caracterización. En la primera mezcla se utilizó cuatro partes de arena de río más una parte de

Compost base volumen (v/v), equivalente al 75% de arena de río más un 25% del Compost. La segunda mezcla consistió en cuatro partes de arena de río más una parte de Vermicompost base volumen (v/v), equivalente al 75% de arena de río más un 25% del Vermicompost. Para eliminar sales en los sustratos se saturaron las mezclas con agua de la llave (agua corriente), se dejaron durante seis minutos hasta que se observó drenado total del agua. Se realizaron perforaciones en la parte baja de las macetas para eliminar las sales contenidas en dichos sustratos. Se realizaron tres lavados más.

Para la elaboración de los te´s orgánicos de compost y Vermicompost se llevó a cabo una desalinización. Para ello se depositaron 10 kg de cada uno de los dichos materiales orgánicos en una malla formando un tipo saco-red y sumergidos en 20 litros de agua corriente durante 15 minutos, después de dicho tiempo el agua fue retirada, repitiendo el procedimiento en tres ocasiones para el material de Compost y en dos ocasiones para el material del Vermicompost. Al finalizar los lavados de los materiales en mención, el tambo (capacidad 200 litros) de plástico se llevó a 100 litros de agua corriente, colocando en el fondo del mismo el saco con el material orgánico correspondiente, donde se agregaron 500 mL de leche entera pasteurizada más 500 gramos de azúcar comercial, se realizó una agitación manual aforando hasta 200 litros, colocando enseguida una bomba de oxígeno con dos salidas para obtener un crecimiento de bacterias aeróbicas, donde después de 24 horas se utilizó como agua de riego en la planta.

La inoculación de micorrizas (inóculo comercial), se hizo al momento de la siembra, realizando un hoyo de entre ocho y 10 cm de profundidad, depositando al centro del mismo 4.0 gramos del inóculo micorrízico cubriendo con el sustrato dejando un cm. descubierto donde se depositó la semilla y posteriormente fue cubierta. El diseño experimental que se utilizó fue bloques completos al azar con ocho tratamientos y seis repeticiones para obtener 48 unidades experimentales. El genotipo de calabacita fue el cv “Grey Suchini tipo Squash, variedad de polinización abierta. Se utilizaran dos abonos orgánicos procesados de manera natural (Compost y Vermicompost), además de dos tés orgánicos de Compost y Vermicompost.

Los tratamientos de estudio en el presente trabajo de investigación fueron ocho descritos a continuación.

T1= 100% Arena de río + Micorrizas + Té de compost
T2= 100% Arena de río + Micorrizas + Té de vermicompost
T3= 75% Arena de río + 25% de compost + Micorrizas + Té de compost
T4= 75% Arena de río + 25% de compost + Micorrizas + Té de vermicompost
T5= 75% Arena de río + 25% de vermicompost + Micorrizas + Té de compost
T6= 75% Arena de río + 25% de vermicompost + Micorrizas + Té de vermicompost
T7= 100% Arena de río + Té de compost
T8= 100% Arena de río + Té de vermicompost

Los riegos se realizaron según la necesidad de la planta. Después de la emergencia de plantas se realizó el etiquetado de las mismas. Las variables evaluadas durante la etapa vegetativa-reproductiva fueron el número de hojas verdaderas (Nhvp), el número de botones florales (Nbfp), el número de flores hembra (Nfhp) y el número de flores macho (Nfmp). Los datos obtenidos fueron analizados con SAS, versión 9.0, con prueba de DMS al 0.05.

Resultados y Discusión

Para el número de hojas por planta a los 42 dds, se encontró significancia estadística en los tratamientos de estudio y los bloques. El Tratamiento 3, que refiere un 75% de arena de río, más el 25% de Compost más Micorrizas, más Té de Compost, presentó el valor medio más alto, igual a 18.50 hojas por planta. El Tratamiento 2, por su parte que refiere 100% de arena de río, más Micorrizas, más Té de vermicompost, con 11.66 hojas por planta (Figura 2.). El incremento obtenido del Tratamiento 3, respecto al Tratamiento 2, fue del 15.91%. El coeficiente de variación igual al 9.11%.

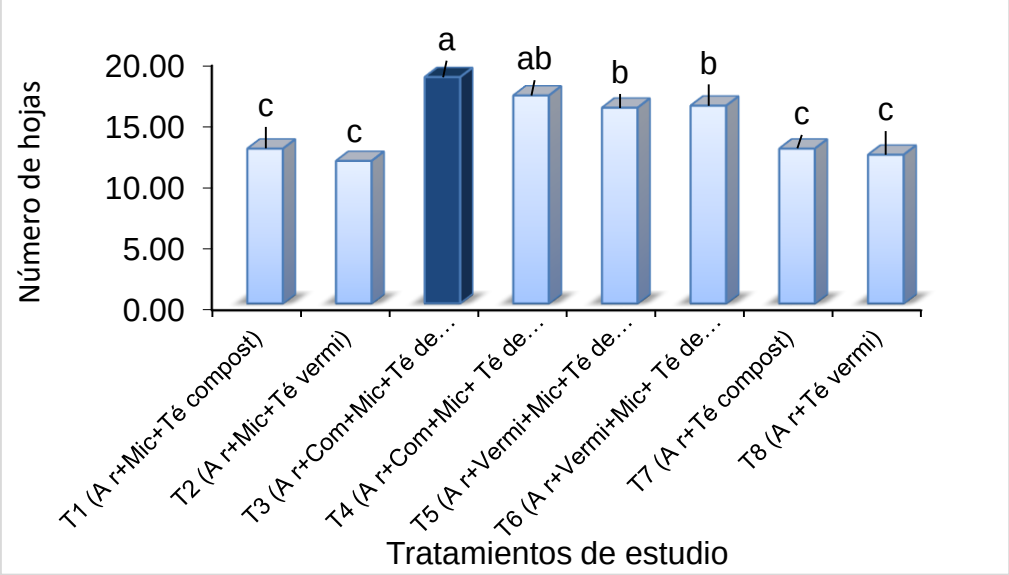


Figura 2. Número de hojas por planta a los 42 días después de la siembra en los tratamientos de estudio. UAAAN UL, 2018.

Para el número de botones florales por planta a los 42 dds, se encontró significancia estadística en los tratamientos de estudio y los bloques. El Tratamiento 3, que se refiere al 75% de arena de río, más el 25% de Compost, más Micorrizas, más Té de Compost, presentó el valor medio más alto igual a 9.16 botones florales por planta. Mientras que el Tratamiento 1, referente al 100% de arena de río, más Micorrizas, más Té de Compost, con un valor de 5.33 botones (Figura 3). El incremento del Tratamiento 3, respecto al Tratamiento 1, fue del 71.8%. Un coeficiente de variación igual al 11.91%.

En el número de flores hembra totales por planta a los 42 dds, el Tratamiento 4, que se refiere 75% de arena de río, más un 25% de Compost, más Micorrizas, más Té de Vermicompost, presentó la mayor cantidad de 5.8 flores hembra por planta. En contraste el Tratamiento 8, que se refiere a 100% de arena de río, más Té de Vermicompost, con una flor femenina por planta, (Figura 4). El incremento del Tratamiento 4, respecto al Tratamiento 8, fue del 1,066%.

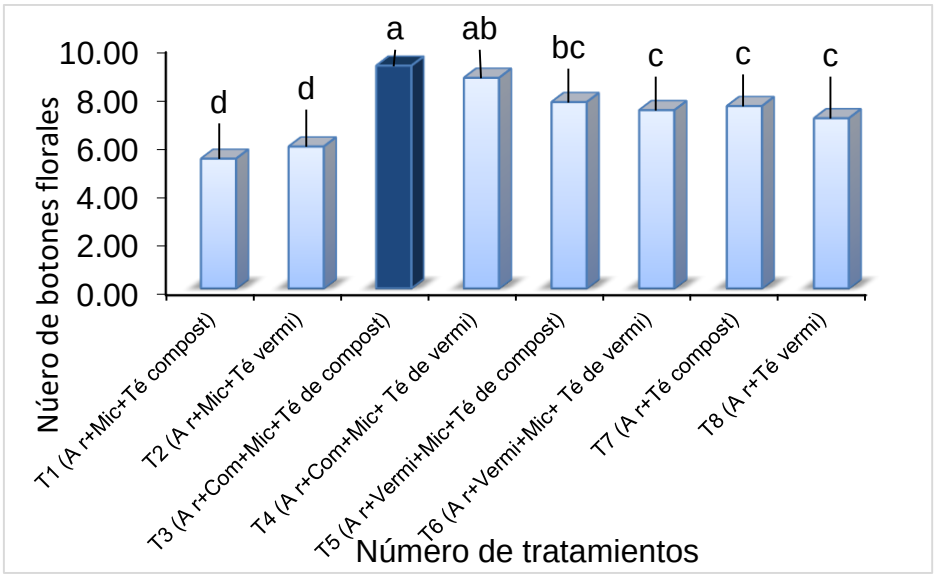


Figura 3. Número de botones florales por planta a los 42 días después de la siembra en los tratamientos de estudio. UAAAN UL, 2018

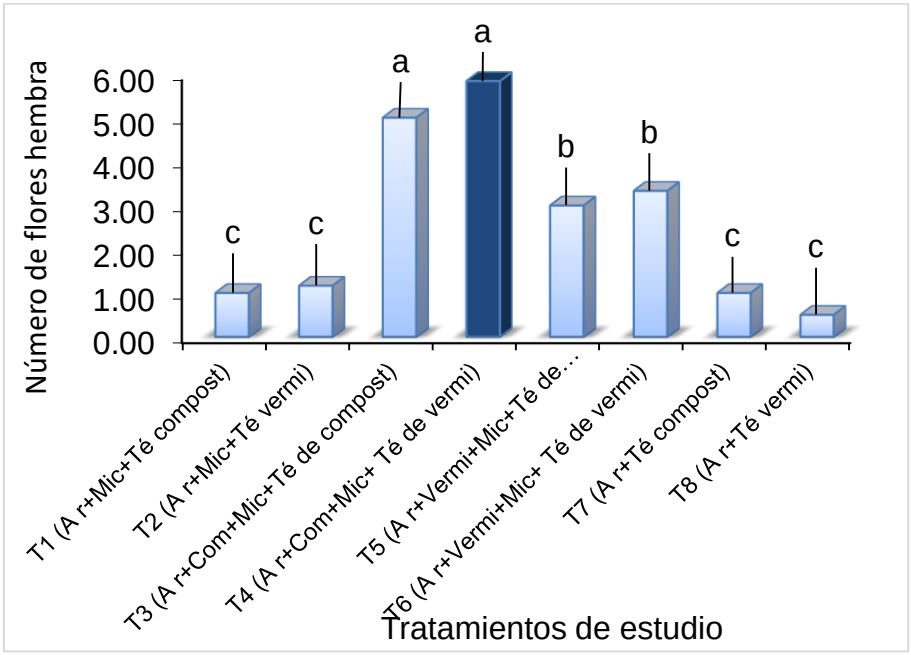


Figura 4. Número de flores hembra por planta a los 42 días después de la siembra en los tratamientos de estudio. UAAAN UL, 2018.

Finalmente para el número de flores macho por planta a los 42 dds, se encontró que el Tratamiento 4, que se refiere al 75% de arena, más el 25% de Compost, más Micorrizas, más Té de Vermicompost, presentó el mayor número de flores con 12.33 flores macho por planta. Por su parte el Tratamiento 1, que se refiere al 100% de arena de río, más Micorrizas, más Té de Compost, con un valor de 9.5, flores macho por planta (Figura 5). El incremento del Tratamiento 4, respecto al Tratamiento 1, fue del 29.78%. El coeficiente de variación igual al 18.73%.

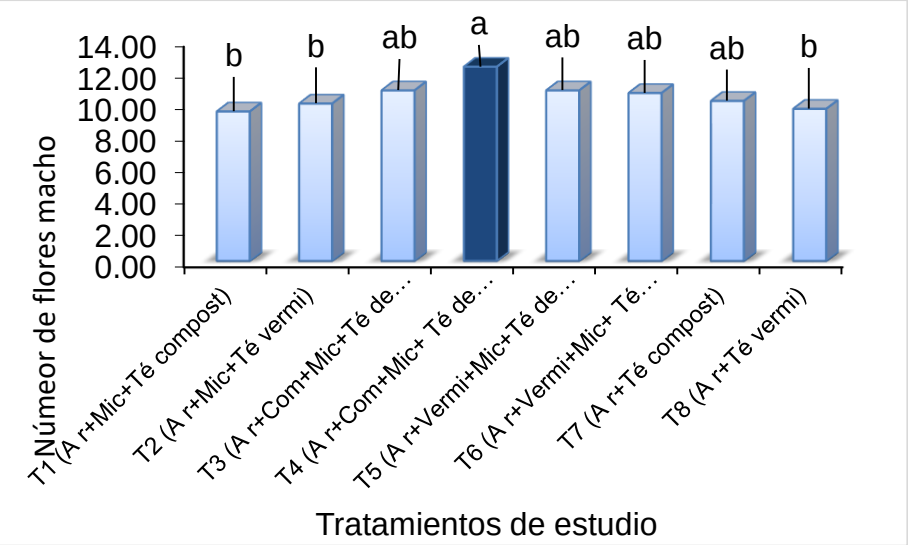


Figura 5. Número de flores macho por planta a los 42 días después de la siembra en los tratamientos de estudio. UAAAN UL, 2018.

Conclusiones

En la etapa vegetativa respecto al número de hojas totales y el número de botones florales por planta a los 42 días después de trasplante, resultó mejor el Tratamiento 3, que refiere al 75% de arena de río + 25% de Compost + Micorrizas + Té de compost.

En la etapa reproductiva respecto al número de flores hembra y el número de flores macho por planta a los 42 días después de trasplante, fue superior el Tratamiento 4, que refiere al 75% arena de río más 25% de Compost más Micorrizas más Té de vermicompost.

Referencias

Aguado Donaire E. 2015. Análisis del potencial partenocárpico de diferentes variedades de calabacín (Cucurbita Pepo L.), y su relación con la producción de etileno. Tesis. Licenciatura. Universidad de Almería, Escuela Politécnica Superior y Facultad de Ciencias Experimentales. Almería. España. 115p.

Altieri M.A. 1999. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Editorial Nordan. Montevideo, Chile. 325 p.

Barocio C., N.B. 2013. Evaluación de vermicomposta de gallinaza para el manejo de enfermedades de la raíz de jitomate. Tesis. Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Michoacán. Jiquilpan, Michoacán, México. 79 p.

Bautista Pérez L.J., (2014). Producción de semilla de calabaza (Cucurbita pepo L.) variedad (Zucchini grey) bajo dos densidades de siembra. Tesis. Licenciatura Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México. 61p.

Calucho Pucha E.M. 2017. Producción de Zucchini (Cucurbita pepo L.) con la aplicación de abonos orgánicos. Tesis. Licenciatura. Universidad Técnica de Cotopaxi; Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Cotopaxi Ecuador. 41 p.

Chipa Ramos, L. 2012. Evaluación de niveles de fertilización y densidad de siembra en tres variedades de zapallito italiano (Cucurbita pepo L.) en Santa Ana-La Convención. Tesis. Licenciatura. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Cusco Perú. 179 p.

Consulado de México 2018. Presencia de México en la feria de alimentos orgánicos BIOFACH 2018 en Núremberg. Frankfurt, Alemania. https://saladeprensa.sre.gob.mx/index.php/lista-de-consulados/frankfurt/8848-presencia-de-mexico-en-la-feria-de-alimentos-organicos-biofach-2018-en-nuremberg. 02/04/2018.

Cruz Lázaro E.M. De la., A. Estrada, B., V. Robledo, T., R. Osorio, O., C. Márquez, H., y R. Sánchez, H. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. Universidad y Ciencia. 25(1):59-67.

Díaz F. A., y M. Alvarado, C. 2005. Influencia de la fertilización inorgánica y biológica sobre las características de calabacita (Cucurbita pepo L.). Innovación Tecnológica para la Seguridad Alimentaria, (16)1:2016.

Flores J. R. T., A.P. González., J.C. Amaya., J.L. Martínez R., R.R. Ruvalcaba., y J.F. Casas. 2005. Niveles de fertilización orgánica mediante vermicomposta en el cultivo de la Jamaica. Avances de la investigación en CUCBA. XVI Semana de la investigación científica. 193-197 p.

García Albardado J., C., L.I. Trejo T., M.A. Velásquez H., A. Ruiz., y F.C. Gómez M. 2010. Crecimiento de petunia en respuesta a diferentes proporciones de composta en sustrato. Revista Chapingo. Serie Horticultura, 16(2):107-113.

Garzón L., P. Importancia de las micorrizas arbusculares (MA) para un uso sostenible del suelo en la amazonia colombina. Revista Luna Azul. Universidad de Caldas. Manizales Colombia. (42); 217-234 p.7.

Gejaño Hinostroza E.R. 2016. (2016). Efecto de abonos orgánicos e inorgánicos en la producción del cultivo de zapallito italiano (Cucurbita pepo L. Var. Zucchini) En condiciones de fitotoldo en K'ayra-Cusco. Tesis. Licenciatura. Universidad nacional de San Antonio Abad del Cusco Facultad de Ciencias Agrarias. Cusco Perú. 101 P.

Grimaldo C. R. 2015. Producción orgánica y certificación de la calabaza italiana (Cucúrbita pepo L.), en la empresa Inverucum. Residencia profesional. Licenciatura. Instituto Tecnológico de la Zona Maya. Ejido Juan Sarabia. Quintana Roo. 35p.

Hernández Rodríguez, O.A., D. L. Ojeda, B., J. C. López, D., A. M. Arras, V. 2010. Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Tecnociencia. Chihuahua, (4): 1-6.

Hernández de León, H. R., I. Lara, V., V.M. Ruíz, V., J.J. Villalobos, M., S. Enciso, S., J. H. Castañón, G. y M. Abud, A. 2017. Optimización de la producción de té de vermicomposta y su empleo para la germinación de semillas de Jatropha curcas L. Asociación Interciencia. Caracas. Venezuela. 42(7): 417-422 p.

Herrán J. A. F., R. S. Flores., A. D. A. Bojórquez., G. R. Quiroz., R. M. Ruiz., H. S.A. Rivero., y V.O. Portugal. 2010. Propiedades microbiológicas de compostas maduras producidas a partir de diferente materia orgánica. Ra Ximhai: Revista científica de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable, Universidad Autónoma Indígena de México Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. 6(1):105-113 p.

Hinojosa Z., y Bernardo, H. 2012. Influencia de aminoácidos en el rendimiento del cultivo de zapallito italiano (Cucurbita pepo L.). Tesis. Licenciatura. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Escuela Académico Profesional de Agronomía. Tacna. Perú. 70p.

INFOAGRO, 2018. El cultivo de calabacín. Consulta 03/04/2018 disponible en: http://www.infoagro.com/hortalizas/calabacin2.htm

Jara Martínez J.W., (2015). Evaluación de dos híbridos de Zucchini Cucúrbita pepo i. cultivados en cuatro sustratos, bajo el sistema hidropónico. Tesis Licenciatura. Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil. Guayaquil. Ecuador. 63 p.

Lira R., L, Eguiarte., y S. Montes. 2009. Proyecto recopilación y análisis de la información existentes de la especie de los géneros Cucurbita y Sechium que crecen y/o se cultiva en México. UNAM. INIFAP. Campo Experimental Bajío. 107p.

Márquez C., y P. Cano. 2005. Producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. Actas portuguesas de horticultura, 5(1):219-224.).

Martínez A. M. 2001. El cultivo de la calabacita (Cucurbita pepo L.) En México. Monografía. Licenciatura Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 67 p.

Méndez López, A., C. Villanueva, V., J. Sahagún, C., E. Avitia, G., T. Colinas, L., M. Jamilena, Q., y R. I. Rojas, M. 2010. Obtención, caracterización y agrupamiento de genotipos partenocárpicos de calabaza (Cucúrbita pepo L.) tipo" round

Zucchini". Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Revista Chapingo. Serie Horticultura, Texcoco. México. 16(2): 123-131

Monares Gallardo I. 2009. Tamaños de partícula y tiempos de aplicación de la harina de pescado (Plecostomus spp.) En la producción de calabacita. Tesis. Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Jiquilpan Michoacán, México. 114 p.

Moreno Reséndez A., D. Juanita A., G. Armando L. (2011). Características de la agricultura protegida y su entorno en México. Revista Mexicana de Agronegocios, sociedad Mexicana de Administración Agropecuaria A.C. Torreón, México. 29; 763-774p.

Nava Camberos, U., y P. Cano R. 2000. Umbral económico para la mosquita blanca de la hoja plateada en melón en la Comarca Lagunera, México. Agrociencia, 34 (2), 227-234.

Ochoa, M.E., U. Figueroa, V., P. Cano, R., P. Preciado, R., A. Moreno, R., y N. Rodríguez, D. 2009. Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (Lycopersicum esculentum Mill.) en invernadero. Revista Chapingo. Serie Horticultura, 15(3):245-250.

Payan O., S. y A. Morales M. 2010. Agricultura protegida. Invernaderos. Fundación Produce. INIFAP-Campo Experimental Valle de Mexicali. Boletín No. 20.

Pengue, W. 2005. La importancia de la agricultura familiar en el desarrollo rural sostenible. La Tierra. Federación Agraria Argentina. Tierra. 93(8):74-26.

Pérez C., L., A.P., L.E. Oviedo Z., y J.L. Barrera V. 2017. Efecto de la micorrización y el lombriabono sobre el crecimiento y desarrollo del Sacha inchi Plukenetia volubilis L. Temas Agrarios, 23(1):18-28.

PESA 2007. Programa Especial para la seguridad alimentaria. Producción de hortalizas a cielo abierto y bajo condiciones protegidas. México 2007. En línea http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/AsistenciaCapacitacion/Documents/red%20del%20conocimiento/manuales%20pesa/invernaderos.pdf

Pucha E.M. 2017. Producción de Zucchini (Cucurbita pepo L.) con la aplicación de abonos orgánicos. Tesis. Licenciatura. Universidad Técnica de Cotopaxi; Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Cotopaxi Ecuador. 41 p.

Ramírez H. R. R., Nava. P. E., W. V. Quiñónez., J. R. C. Báez., y G. Rodríguez, Q. 2014. Evaluación de cinco dosis de vermicomposta en el cultivo de tomate (Solanum lycopersicum) en Sinaloa, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-Unidad Sinaloa. Instituto Politécnico Nacional. Sinaloa. México. (8):1495-1500.

Rodríguez Dimas N., P. Cano, R., E. Favela, C., U. Figueroa V., V. Paul, Ál., A. P, G., C. Márquez, H., y A. Moreno, R. 2007. Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. Revista Chapingo Serie Horticultura, 13(2):185-192.

Ruiz Platt A.L. 2013. Comparación de la partenocarpia, la calidad postcosecha y la producción de etileno en el fruto de diferentes variedades de calabacín (Cucurbita pepo L.) morfotipo Zucchini. Tesis. Ingeniería. Universidad de Almería Escuela Politécnica Superior y Facultad de Ciencias Experimentales. Almería. España. 120 p.

Santos, B., H, Obregón O., y T. Salamé D., (2010). Producción de hortalizas en ambientes protegidos: Estructuras para la agricultura protegida. IFAS Extension, UF Department of Horticultural Sciences, University of Florida, Gainesville, FL. HS;1182.

Seguel F., A. 2014. El potencial de las micorrizas arbusculares en la agricultura desarrollada en zonas áridas y semiáridas. Idesia. Arica. 32(1): 3-8.

Sevilla Muñoz S.X. 2012. Evaluación de cuatro extractos botánicos para el control del Oidium sp., en el cultivo de Zucchini (Cucurbita pepo L) en la parroquia de San Antonio, provincia de Imbabura. Tesis. Licenciatura. Universidad Técnica de Babahoyo. El Ángel, Arichi Ecuador) 40 p.

SIAP 2016. Monografía de productos agroalimentarios Mexicanos. Calabacita. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166376/calabacita_monograf_a.pdf. 03/04/2018.

SIAP, 2017.Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Coahuila Avance de Siembras y Cosechas. [Resumen por ttp://infosiap.siap.gob.mx:8080/agrícola_siap_gobmx/ResumenDelegacion.do] cultivo Coahuila [10/abril/2017].

SIAP 2017. Sistema de Información Agropecuaria. Consultado el 04 de abril del 2018 del sitio http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do+

Victoriano M.F. 2015. Respuestas morfofisiológicas y rendimiento del cultivo de Cucurbita pepo Var. Zucchini grey por efecto de zeolita y acolchado plástico. Tesis. Maestría. Centro de investigación en química aplicada. Saltillo Coahuila México. 75 p.

Zaragoza Lira, M. M., P. Preciado, R., U. Figueroa V., J.L. García, H., M. Fortis, H., M.A. Segura, C., A. Lagarda M., y E.

Madero T., 2011. Aplicación de composta en la producción del nogal pecanero. Revista Chapingo. Serie Horticultura, 17(SPE1): 33-37.

ZAGARPA 2016. Delegación Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Avanza México en la Producción de Alimentos Orgánicos Certificados. Ciudad de México. Consulta En línea. 23http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/2016/junio/Documents/JAC0273-23.PDF 02/04/2018.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

PROPIEDADES FÍSICAS Y CALIDAD NUTRIMENTAL DE FRIJOL CAUPÍ COLECTADO EN EL ESTADO DE YUCATÁN

Morales-Morales A.E[1*]; Carlos Juan Alvarado-López[2]; Rubén Humberto Andueza-Noh[2]; César Márquez-Quiroz[3]; Adalberto Benavides-Mendoza[4]; José María Tun-Suarez[1]

[1]División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Conkal. Conkal, Yucatán, México.
[2]Conacyt - Instituto Tecnológico de Conkal. Conkal, Yucatán, México.
[3]Division Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa Centro, Tabasco, México.
[4]Departamento de horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista Saltillo, México.
*Autor responsable: amelio.morales@itconkal.edu.mx; Calle Avenida tecnológico s/n, Conkal, Yucatán, México. CP 97345; Tel. +52 (993)-2639995

Resumen
En la actualidad, la deficiencia de nutrimentos en la dieta humana genera problemas de salud en la población, especialmente en los países que basan su alimentación en cultivos básicos. En este sentido, el X´pelón una de las cinco leguminosas más importantes para consumo humano a nivel mundial, principalmente por ser rico en proteínas, carbohidratos, además de proporcionar vitaminas y minerales. En México, se cultiva en el sureste, el cual representa una fuente importante de ingresos, así mismo, en el sector agroalimentario es considerado un alimento básico. Sin embargo, a pesar de su importancia en el estado de Yucatán, los estudios con son relativamente escasos, por lo que el objetivo del trabajo fue caracterizar física y nutrimental por µ-fluorescencia de rayos-X de las variedades de X´pelón colectados en el estado de Yucatán. Las colectas se realizaron directamente con los productores y se aplicó una entrevista con preguntas adaptadas para el caupí, en los diferentes municipios del estado y posteriormente se determinaron las características físicas y nutrimentales por µ-fluorescencia de rayos-X. Se obtuvieron 10 accesiones, el cual se diferenciaron tanto en color, forma, tamaño y textura de las semillas. En cuanto al contenido nutrimental, ACC10 fue la que menor concentración de elementos se encontró en los granos, y por otro lado ACC02 fue el que presentó mejor concentración de calcio, manganeso, hierro y zinc.

Palabras clave
Calidad nutrimental; µ-fluorescencia de rayos-X; *Vigna unguiculata*;

Introducción
En la actualidad, la deficiencia de nutrimentos en la dieta humana genera problemas de salud en la población, especialmente en los países de menor desarrollo económico, que basan su alimentación en cultivos básicos (Sadeghzadeh, 2013). En este sentido, las deficiencias en el ser humano, en parte es atribuible al producir plantas en suelos pobres y así como la baja capacidad de las plantas para almacenar los nutrimentos en sus tejidos (Graham *et al*., 2007). Como resultado, se tiene más de 2 mil millones de personas en el mundo padeciendo desnutrición, principalmente de micronutrientes (Kumar *et al*., 2018), como el hierro (Fe) y zinc (Zn) que son considerados esenciales para el buen desarrollo de la población, sin embargo, se estima que el 60 % de la población mundial presenta deficiencia de Fe y 30% de Zn (Kromann *et al*., 2017), mientras que la deficiencia de manganeso

(Mn), aunque menos frecuente, también conduce a problemas graves de salud, como defectos de nacimiento (Bashir *et al.*, 2013).

El frijol X´pelón (*Vigna unguiculata* L. Walp) se cultiva en regiones tropicales y subtropicales del mundo y se considera una de las cinco leguminosas más importantes para consumo humano a nivel mundial (Smýkal *et al.*, 2014), principalmente por ser rico en proteínas (23 a 29%) y carbohidratos (50 a 67%) (Campbell, 2014), además de proporcionar vitaminas y minerales. En México, se cultiva en el sureste, principalmente en Tabasco, Campeche y Yucatán (SIAP, 2016), el cual representa una fuente importante de ingresos, así mismo, en el sector agroalimentario es considerado un alimento básico, que junto con el maíz representan la base de la alimentación, especialmente en comunidades rurales, donde además del grano seco, también se consume otras partes vegetativas de la planta como hojas tiernas para verdura, las vainas verdes como ejote y el grano seco son utilizados para la preparación de diferentes guisos (Márquez-Quiroz *et* al., 2015). Sin embargo, a pesar de ser considerado un cultivo importante en el estado de Yucatán, los estudios con el X´pelón son relativamente escasos, por lo que el objetivo del trabajo fue caracterizar física y nutrimental por µ-fluorescencia de rayos-X de las variedades de X´pelón colectados en el estado de Yucatán.

Materiales y Métodos

Lugar de la colecta

La colecta del material se realizó durante el periodo comprendido de octubre 2017 a enero 2018, en cuatro municipios del estado de Yucatán, obteniendo en total 10 accesiones (Cuadro 1). Las muestras fueron obtenidas de manera directa a los productores en sus domicilios o en sus parcelas, y se aplicó una entrevista con preguntas adaptadas para el caupí, relacionada principalmente con el manejo agronómico del cultivo, nombre común, caracteres morfológicos y fenológicos utilizados, criterios de selección de semillas, forma de conservación, propósito de producción y área cultivada (Martínez-Castillo *et al.*, 2004).

Cuadro 1. Lugar de colecta de las diferentes accesiones del frijol caupí en la península de Yucatán.

Clave colecta	Nombre común	Localidad	Municipio	Estado	Altura (msnm)
ACC01	Yax pelón	Xul	Oxcutzcab	Yucatán	89
ACC02	Paysin	Xul	Oxcutzcab	Yucatán	39
ACC03	Paysin	Xul	Oxcutzcab	Yucatán	89
ACC04	X´pelón perón	Kuxeb	Chemax	Yucatán	25
ACC05	X´pelón Domingo	Peto	Peto	Yucatán	35
ACC06	X´pelón blanco	Peto	Peto	Yucatán	35
ACC7	X´nuuc Pelón	Xoy	Peto	Yucatán	16
ACC8	X´pelón de guía	Mucel	Chemax	Yucatán	25
ACC9	Paysin	Halachó	Halachó	Yucatán	16
ACC10	Frijol chino	Peto	Peto	Yucatán	35

Variables Morfológicas de las semillas

Para la medición de las variables morfológicas de la semilla, se tomaron diez granos al azar de cada muestra obtenida. La determinación de las propiedades físicas, las dimensiones del tamaño de la semilla, es decir, la longitud de la semilla, el ancho y el grosor se determinaron siguiendo el procedimiento descrito por (Demooy y Demooy, 1990) con un vernier digital marca Truper Staninless steel®, mientras que el índice de la semilla se obtuvo dividiendo longitud de la semilla entre el ancho. Así mismo, se realizó el peso individual de la semilla y el peso de 100 semillas seleccionadas al azar por triplicado con una balanza digital. Por otra parte, las formas de las semillas se clasificaron usando descriptores para semillas de caupí según lo descrito por IBPGR (1983) el cual se midió tres variables cualitativas: forma del grano, textura de la testa y en forma visual se determinó el color de la testa.

Determinación de análisis nutrimental

El análisis de contenido mineral se realizó por µ-fluorescencia de rayos-X dispersivo de Micro-Energía (l-EDXRF) (M4 TornadoTM, Bruker, Alemania), siguiendo la metodología descrito por (Cardoso et al., 2018), con algunas modificaciones. El generador de rayos X para las mediciones de todos los elementos fue operado a 50 kV y 100 µA con un filtro de 12.5A. La detección de la radiación de fluorescencia se realiza mediante un detector de dispersión de silicio dispersor de energía, XFlashTM, con un área sensible de 30 mm2 y una resolución de energía de 142 eV para Mn Ka. Se cuantificó el potasio (K), calcio (Ca), manganeso (Mn), hierro (Fe) y zinc (Zn) de 10 granos por accesión y tres puntos de medición por grano.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se realizó un ANVA con las 10 accesiones y posteriormente se realizó una comparación de medias (Tukey= >0.05), con el programa estadístico SAS 9.2

Resultados y Discusión

Durante los recorridos de campo se observó que los agricultores disponían de diferentes parcelas de caupí, la mayoría lo producen como monocultivo y unos pocos lo utilizan en el sistema milpa basada en la rosa, tumba, quema de la vegetación y se siembran junto con el maíz y calabaza (Caamal *et al*., 2016). De las poblaciones obtenidas, se diferenciaron tres colores, el color negro fue el más predominante con ocho accesiones, sin embargo, estos son conocidos por diferentes nombre, por otra parte, se obtuvo una accesión de color blanco conocido como espelón blanco y uno rojo también llamado frijol chino.

En cuanto a las características físicas de la semilla (Cuadro 2) presentaron diferencias estadísticas (Tukey <0.05) en todas las variables, el peso individual y el peso de 100 semillas varió 0.06 a 0.17 y de 3.46 a 16.21 g, que corresponden al frijol chino (ACC10) y al Paysin (ACC03), respectivamente. De acuerdo con (Ogle *et al*., 1987) clasificaron las variedades de X´pelón en categorías de tamaño en función de su peso de 100 semillas. Las variedades con un peso de semilla menor a 15 g se describen como pequeñas; 15.1-20 g son semillas de tamaño mediano, mientras que las semillas grandes tienen 20.1-25 g. El peso de la semilla de más de 25 g se describe como semillas muy grandes. Por lo tanto, siente accesiones obtenidas se encuentran en la categoría de semillas pequeñas, mientras que ACC03, ACC07 y ACC08 son considerados de tamaño mediano. De acuerdo con la forma, las poblaciones varían de forma arriñonada, ovoide y romboidal, mientras que ocho accesiones tienen la textura de la

testa suave áspero (ACC01-ACC08) y dos de textura suave (ACC09 y ACC10). Con respecto a la forma de las semillas, nuestros resultados son similares a los reportados por (Henshaw, 2008) que menciona la forma de la semilla de X´pelón varía desde la forma típica de los riñones hasta las formas globosa, ovoide y romboidal, así mismo, el color de la testa es una propiedad importante que influye en la aceptación del consumidor. Con respecto a las dimensiones del grano, la longitud de semilla osciló entre 6.26 mm en ACC10 a 9.36 mm en ACC02. En ancho, las semillas varió de 3,65 mm en ACC10 a 7.05 mm ACC03. El grosor de la semilla fluctuó entre 2.87 mm en la ACC10 y 4.95 mm ACC03.

Cuadro 2. Variación de características físicas de la semilla de 10 accesiones obtenidas del estado de Yucatán

Descripción	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Grosor (mm)	Peso semilla (g)	Peso de 100 semillas (g)	Índice de semillas
Intervalo	6.26-9.36	3.65-7.05	2.87-4.95	0.06-0.17	3.46-16.21	1.63-2.18
Promedio	8.31	6.18	4.43	0.13	13.23	1.88
Desviación Estándar	1.07	1.00	0.57	0.03	3.95	0.16
Coeficiente de Variación	12.91%	16.19%	13.01%	25.76%	29.91%	8.62%

Cuadro 3. Contenido mineral de las colectas de X´pelón en el estado de Yucatán

ACCESIÓN	K	Ca	Mn	Fe	Zn
			mg kg^{-1}		
ACC01	562.5 ^{de}	289.8 ^{bc}	3.6 ^{cde}	20.3 ^{c}	11.2 ^{b}
ACC02	753.5 ^{b}	468.3 ^{a}	8.9 ^{a}	34.5 ^{a}	15.0 ^{a}
ACC03	999.6 ^{a}	293.7 ^{bc}	3.8 ^{cd}	27.5 ^{ab}	11.5 ^{b}
ACC04	369.1 ^{e}	176.1 ^{d}	2.5 ^{de}	11.8 ^{d}	5.8 ^{e}
ACC05	1004.6 ^{a}	315.0 ^{b}	4.3 ^{bc}	22.5 ^{bc}	8.8 ^{cd}
ACC06	839.8 ^{b}	442.6 ^{a}	5.3 ^{b}	16.6 ^{cd}	11.1 b ^{c}
ACC07	534.3 ^{cd}	323.0 ^{b}	3.3 ^{cde}	20.5 ^{bc}	9.9 b ^{c}
ACC08	577.5 ^{c}	194.4 ^{d}	2.4 ^{e}	18.2 ^{cd}	10.8 b ^{c}
ACC09	407.9 ^{d}	212.0 ^{cd}	2.7 ^{de}	17.5 ^{cd}	6.4 d ^{e}
ACC10	219.2 ^{f}	125.5 ^{d}	2.30 ^{e}	4.40 ^{e}	2.80 ^{f}

K=potasio; Ca=Calcio; Mn=Manganeso; Fe=Hierro; Zn=Zinc

La deficiencia nutrimental provoca desordenes que afecta a mujeres embarazadas y niños, y está relacionada con la dieta alimenticia (Bouis y Welch, 2010). En este sentido, las plantas son la principal fuente de minerales para la mayoría de las personas y en Yucatán el X´pelón es considerado un alimento importante, principalmente por familias de escasos recursos económicos en las que el grano es parte de la base alimenticia. En el análisis del contenido nutrimental de las colectas, el contenido de potasio osciló entre 219.2 y 1004.6 mg kg^{-1} de peso seco, siendo ACC10 la más baja y ACC05 con la concentración más alta, seguido por ACC03 y ACC06 con valores de 999.6 y 839 mg kg, respectivamente. Por otra parte, el calcio, presentó valores de 125.5 a 442.6 mg kg^{-1}, siendo

ACC10 la que presentó concentraciones más bajas con respecto al resto de poblaciones de X´pelon. Nuestros resultados obtenidos son inferiores a los reportados por (Araméndiz-Tatis *et al.*, 2016) que reportaron valores superiores a 450 mg kg^{-1} en variedades de X´pelón criollo en Colombia. En cuanto al manganeso ACC02 presentó la concentración más alta con 8.9 mg kg^{-1} de peso seco, seguido por ACC06 que obtuvo 5.3 mg kg^{-1} de peso seco, mientras que ACC10 fue el valor más bajo con 2.3 mg kg^{-1}, con respecto al resto. En cuanto al hierro ACC02, ACC03 y ACC05 obtuvieron los valores más altos con 34.5, 27.5 y 22.5 mg kg^{-1} respectivamente. El zinc los valores obtenidos van de 2.8 a 15.0 mg kg^{-1} de peso seco, el cual ACC02 y ACC03 presentan los valores más altos (Cuadro 3). Estos resultados son diferentes a los obtenidos por (De Paula *et al.*, 2016; Muranaka *et al.*, 2015) que obtuvieron valores de hasta 56.2 mg kg^{-1} en variedades criollas.

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos, podemos concluir que existe variabilidad en cuanto a las propiedades físicas de las colectas realizadas en el estado de Yucatán, así mismo sobre el contenido nutricional de la semilla de frijol X´pelón se concluye que existen diferencias genéticas entre los materiales evaluados, en relación con el potasio, calcio, manganeso, hierro y zinc; sin embargo, en comparación con otros resultados, los productores de Yucatán se alimentan de granos de baja calidad, por lo que es necesario buscar soluciones para solventar las deficiencias nutricionales de la población.

Referencias

Araméndiz-Tatis, H., Cardona-Ayala, C. E., & Combatt-Caballero, E. M. (2016). Contenido Nutricional de Líneas de Fríjol Caupí (Vigna unguiculata L. Walp.) Seleccionadas de una Población Criolla. *Información tecnológica*, *27*(2), 53-60.

Bashir, K., Takahashi, R., Nakanishi, H., & Nishizawa, N. K. (2013). The road to micronutrient biofortification of rice: progress and prospects. *Frontiers in plant science*, *4*, 15.

Bouis, H. E., & Welch, R. M. (2010). Biofortification A Sustainable Agricultural Strategy for Reducing Micronutrient Malnutrition in the Global South. *Crop Science*, *50*(Supplement 1), S-20-S-32.

Camal, J. B. C., Casso, R. B., y Lizama, W. T. (2016). las leguminosas. *Leguminosas y plantas silvestres en la alimentación y la agricultura*, *32*(2), 15.

Campbell, B. C. (2014). Just Eat Peas and Dance: Field Peas (Vigna unguiculata) and Food Security in the Ozark Highlands, U.S. *Journal of Ethnobiology*, *34*(1), 104-122.

Cardoso, P., Mateus, T. C., Velu, G., Singh, R. P., Santos, J. P., Carvalho, M. L., . . . Guerra, M. (2018). Localization and distribution of Zn and Fe in grains of biofortified bread wheat lines through micro- and triaxial-X-ray fluorescence spectrometry. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, *141*, 70-79.

De Paula, C. D., Jarma, S., & Aramendiz, H. (2016). Caracterización nutricional y sensorial de frijol caupí (Vigna unguiculata (L.) Walp.). *Agronomía Colombiana*, *34* (1Supl), S1131-S1134.

Demooy, B., & Demooy, C. (1990). Evaluation of cooking time and quality of seven diverse cowpea (Vigna unguiculata (L.) Walp.) varieties. *International journal of food science & technology*, *25*(2), 209-212.

Graham, R. D., Welch, R. M., Saunders, D. A., Ortiz-Monasterio, I., Bouis, H. E., Bonierbale, M., Liria, R. (2007). Nutritious subsistence food systems. *Advances in agronomy*, *92*, 1-74.

Henshaw, F. (2008). Varietal differences in physical characteristics and proximate composition of cowpea (Vigna unguiculata). *World Journal of Agricultural Sciences*, *4*(3), 302-306.

International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR) (1983) Cowpea descriptors. IBPGR, Rome (30 pp)

Kromann, P., Valverde, F., Alvarado, S., Vélez, R., Pisuña, J., Potosí, B., Devaux, A. (2017). Can Andean potatoes be agronomically biofortified with iron and zinc fertilizers? *Plant and Soil*, *411*(1), 121-138.

Kumar, S., Kumar, P., Singh, S. K., & Kumar, R. (2018). Effect of Drought and Elevated Temperature on Micronutrient Accumulation in Wheat (Triticum aestivum L.) Grain. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *7*(04), 2312-2318. doi: 10.20546/ijcmas.2018.704.265

Márquez-Quiroz, C., De-la-Cruz-Lázaro, E., Osorio-Osorio, R., & Sánchez-Chávez, E. (2015). Biofortification of cowpea beans with iron: iron´s influence on mineral content and yield. *Journal of soil science and plant nutrition* 15 (4), 839-847.

Martínez-Castillo, J., Zizumbo-Villareal, D., Perales-Rivera, H., & Colunga-GarcíaMarin, P. (2004). Intraspecific diversity and morpho-phenological variation in Phaseolus lunatus L. from the Yucatán peninsula, México. *Economic Botany*, *58*(3), 354-380.

Muranaka, S., Shono, M., Myoda, T., Takeuchi, J., Franco, J., Nakazawa, Y., Takagi, H. (2015). Genetic diversity of physical, nutritional and functional properties of cowpea grain and relationships among the traits. *Plant Genetic Resources*, *14*(1), 67-76.

Ogle, W., Witcher, W., & Barnett, O. W. (1987). Descriptors for the southern peas of South Carolina. *Bulletin/South Carolina Agricultural Experiment Station (USA). no. 659.*

Sadeghzadeh, B. (2013). A review of zinc nutrition and plant breeding. *Journal of soil science and plant nutrition*, *13*(4), 905-927.

SIAP (2016) Servicio de información Agricola y Pecuaria. Avance de siembras y cosechas resumen nacional por estado http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do.

Smýkal, P., Coyne, C. J., Ambrose, M. J., Maxted, N., Schaefer, H., Blair, M. W., . . . Varshney, R. K. (2014). Legume Crops Phylogeny and Genetic Diversity for Science and Breeding. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *34*(1-3), 43-104.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

FERTILIZACIÓN CON NANOPARTÍCULAS, SULFATOS Y QUELATOS DE ZINC EN FRIJOL EJOTERO CULTIVADO EN SUELO ÁCIDO *versus* ALCALINO

Cástor Omar Ponce-García[1], Juan Manuel Soto-Parra[1], Esteban Sánchez[2], Francisco Javier Piña-Ramírez[1], María Antonia Flores-Cordoba[1], Ramona Perez-Leal[1], Rosa María Yáñez-Muñoz[1]

[1]Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México.
[2]Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Delicias, Chihuahua. México.

*Autor responsable: esteban@ciad.mx; Av. Cuarta Sur. Núm. 3820. Fracc. Vendedores del Desierto. Delicias, Chihuahua. México. CP 33089; Tel. +52(639)-4748400.

Resumen

En el área agrícola, la nanotecnología ha desarrollado diversos productos que ayudan a mejorar la fertilidad de suelo, reducir enfermedades e incrementar la calidad y producción de los cultivos. Pruebas realizadas con nanofertilizantes de Óxido de Zinc (NfsOZn) han mostrado incrementos en producción, biomasa, tamaño de raíz, germinación y concentración de clorofila, sin embargo, aplicaciones excesivas pueden provocar daños en los cultivos. Esto podría deberse a la mayor reactividad de los Nfs con el medio. Por ello, es importante conocer el comportamiento de estas nuevas moléculas bajo diferentes condiciones. El objetivo del presente proyecto fue evaluar la eficiencia de las nanopartículas en comparación con los sulfatos y quelatos de zinc aplicados en frijol ejotero Strike, cultivado bajo condiciones de suelo ácido *versus* alcalino. Se encontró que los, el frijol ejotero cv. Strike cultivado en condiciones ácidas mostró que la aplicación de 50 ppm de $ZnSO_4$, 100 ppm DTPA-Zn y NfsOZn incrementaron la producción 13.7, 10.4 y 15.5 g con referencia al tratamiento control, para el suelo alcalino los mejores tratamientos fueron 25 ppm de DTPA-Zn y 100 ppm de NfsOZn, los cuales produjeron 14.2 y 13.8 gramos más que el control respectivamente. Para el suelo ácido, las mayores concentraciones en hoja por fertilizante se lograron con los tratamientos 100 ppm para sulfatos, 25 para los quelatos y 25 ppm para los nanofertilizantes. En el suelo alcalino, se encontró que la aplicación de 25 ppm de NfsOZn fue la que presentó una mayor concentrción en hoja, seguido por el sulfato a 25 ppm y quelato 100 ppm, sin embargo, los niveles de zinc, son muy similares al tratamiento control y bajos en comparación con el suelo ácido. Se llegó a la conclusión que el incrementó de pH baja la eficiencia de los fertilizantes de zinc, sin embargo, el NfsOZn, mostró un comportamiento interesante aplicado a 25

ppm. Se llegó a la conclusión que la aplicación de NfsOZn a dosis de 25 ppm fue más eficiente en un 50% que la forma ZnSO 4 y en un 75% que el Zn-DTPA en un suelo ácido. En el suelo alcalino, se encontró un menor rendimiento en comparación con el suelo ácido, sin embargo los tratamientos más eficientes fueron 100 mg Kg^{-1} de NfsOZn Y Zn-DTPA 25 Mg Kg^{-1}

Palabras clave

Eficiencia de la nutrición, micronutrientes, producción, pH.

Introducción

La nanotecnología es una ciencia emergente que está dirigida a comprender y crear materiales, dispositivos y sistemas que exploten las propiedades a nanoescala de diversos materiales (Solanki *et al*., 2015). En el área agrícola, la nanotecnología ha desarrollado diversos productos que ayudan a mejorar la fertilidad de suelo, reducir enfermedades e incrementar la calidad y producción de los cultivos (Servin *et al*., 2015). Dentro de estos productos se encuentran los nanofertilizantes (Nfs), los cuales, se producen a partir de fertilizantes convencionales tratados con diferentes procesos físicos, químicos o biológicos para generar moléculas con un tamaño menor a 100 nm (Liu y Lal, 2015; Naresh *et al*., 2018).

Estudios realizados con Nfs de óxido de zinc, han mostrado incrementos en producción, biomasa, tamaño de raíz, germinación y concentración de clorofila (Servin *et al*., 2015), sin embargo, se ha observado que aplicaciones excesivas de Nfs pueden afectar las proteínas, carbohidratos y ADN de las plantas (Rico *et al*., 2015). Esto podría deberse a que los Nfs tienen mayor área de contacto con la superficie, lo cual conduce a una mayor reactividad con el medio y mejor penetración en las plantas (Naresh *et al*., 2018).

En la actualidad existen pocos estudios que hablen sobre la interacción de las NpsOZn con el pH del suelo, por ello, el objetivo del presente proyecto fue evaluar la eficiencia de las nanopartículas en comparación con los sulfatos y quelatos de zinc aplicados en frijol ejotero Strike, cultivado bajo condiciones de suelo ácido *versus* alcalino.

Materiales y Métodos

Manejo del cultivo

Las plantas de frijol cv. Strike se germinaron y crecieron en bolsas de polietileno con 3 Kg de suelo ácido (pH 6.64) en un invernadero experimental ubicado en la ciudad de Chihuahua, Chihuahua a una temperatura media de 30±5 °C. Se aplicó una solución nutritiva con 6 mM de NH_4NO_3, 1.6 mM de K_2HPO_4, 2.4 mM de K_2SO_4, 4.0 mM de $CaCl_2 \cdot 2H_2O$, 1.4 mM de $MgSO_4$, 2 µM de $MnSO_4 \cdot H_2O$, 1.0 µM de $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.25 µM de $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, 0.3 µM de $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ y 0.5 µM de H_3BO_3 preparada con agua destilada (Sánchez et al., 2004). El pH de la solución osciló entre 5.5 y 6.0. La aplicación de los tratamientos comenzó 15 días después de la germinación y se realizó semanalmente con 200 mL de la solución de zinc correspondiente para cada planta.

Diseño experimental y variables analizadas

Se utilizó un diseño factorial 3x3x2; Factor 1: fuentes de fertilizante (Nanopartículas, sulfatos y quelatos de zinc); Factor 2: dosis (25, 50 y 100 mg kg^{-1}); Factor 3: dos tipos de suelo (ácido, pH 6.8 *versus* alcalino, pH 7.8), además se aplicó un control sin aplicación. Se consideró cada planta como unidad experimental y se realizaron 5 repeticiones por tratamiento. Las variables analizadas fueron producción y contenido de zinc total.

Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza ANOVA, para la comparación de medias se realizó la prueba LSD al 95 % con el programa estadístico SAS.

Resultados y Discusión

Estudios realizados con NfsOzn han mostrado que, aplicaciones de zinc al suelo o foliares pueden incrementar la productividad en diversos cultivos (Dimkpa, & Bindraban, 2016). En nuestro estudio, el frijol ejotero cv. Strike cultivado en condiciones ácidas mostró que la aplicación de 50 ppm de $ZnSO_4$, 100 ppm DTPA-Zn y NfsOZn incrementaron la producción 13.7, 10.4 y 15.5 g con referencia al tratamiento control (Figura 1.A). En el suelo alcalino los mejores tratamientos fueron 25

ppm de DTPA-Zn y 100 ppm de NfsOZn, los cuales produjeron 14.2 y 13.8 gramos más que el control respectivamente (Figura 1.B).

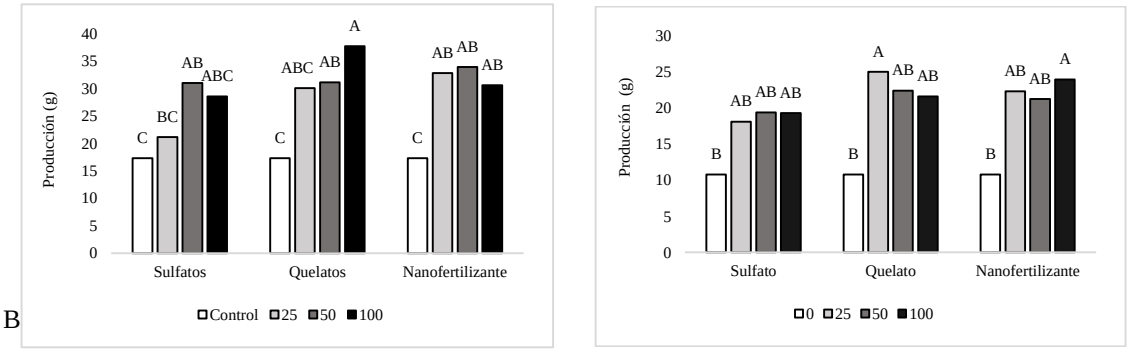


Figura 1. A) Efecto de la aplicación de nanopartículas, quelatos y sulfatos de zinc en la producción de ejote cultivado en un suelo ácido. B) Efecto de la aplicación de nanopartículas, quelatos y sulfatos de zinc en la producción de ejote cultivado en un suelo alcalino

En la Figura 2 se presenta la comparación entre la producción en el suelo ácido y alcalino por efecto de la aplicación del NfsOZn. Se encontró que la producción en el suelo alcalino se redujo para las aplicaciones de 25, 50 y 100 ppm en un 32.9, 31.8, y 35.3 % con respecto al suelo ácido. La mayor productividad se encontró con las aplicaciones de 25 y 50 ppm en suelo ácido.

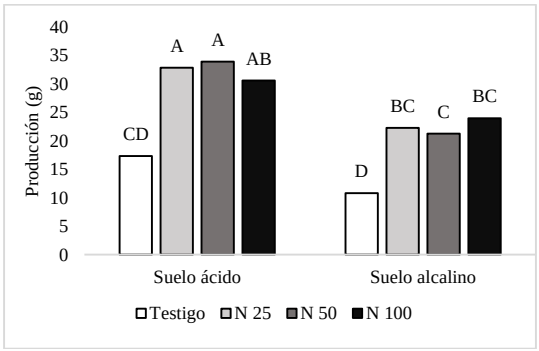


Figura 2. Efecto de la aplicación de nanofertilizante en la producción de frijol ejotero cultivado en pH ácido y alcalino.

La concentración de Zn cultivado en condiciones acidas se presenta en la figura 3.A, en la cual se observa que las mayores concentraciones en hoja por fertilizante se lograron con los tratamientos 100 ppm para sulfatos, 25 para los quelatos y 25 ppm para los nanofertilizantes. Para el suelo alcalino (Figura 3.B), se encontró que la aplicación de 25 ppm de NfsOZn fue la que presentó una mayor concentración en hoja, seguido por el sulfato a 25 ppm y quelato 100 ppm, sin embargo, los niveles de zinc, son muy similares al tratamiento control.

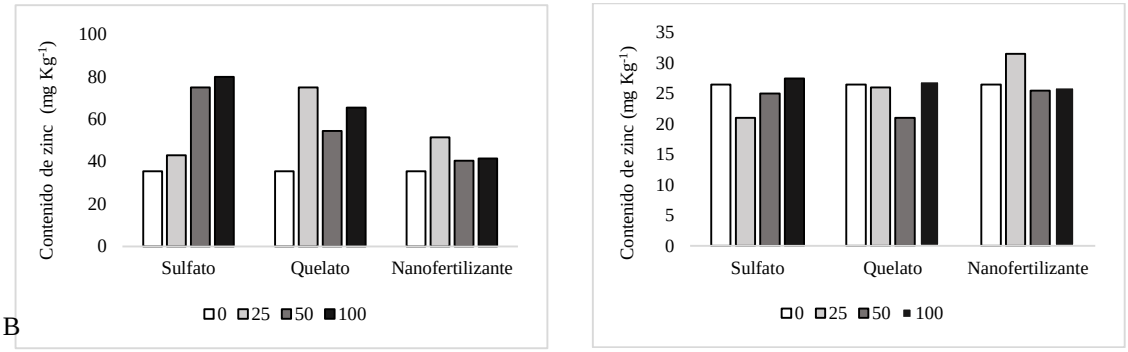


Figura 3. A) Concentración de zinc en planta de frijol ejotero Strike cultivado en un suelo con pH ácido. B) Concentración de zinc en planta de frijol ejotero Strike cultivado en un suelo con pH alcalino.

En la Figura 4, se presenta la comparación de la concentración de zinc en hoja de frijol por efecto de la aplicación de NfsOZn, se encontró una reducción en la concentración de zinc del 61.2, 63 y 62.7 para las aplicaciones 25, 50 y 75 ppm respectivamente.

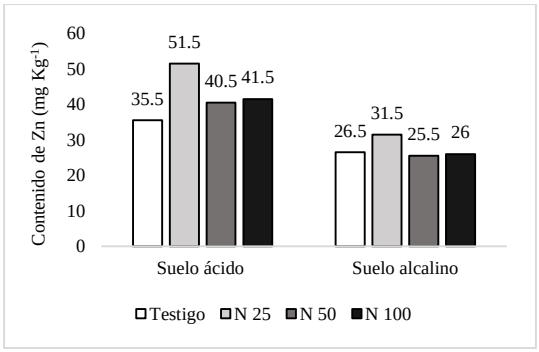


Figura 4. Efecto de la aplicación de nanofertilizante en el contenido de zinc cultivo en pH ácido y alcalino.

Conclusiones

Se llegó a la conclusión que la aplicación de NfsOZn a dosis de 25 ppm fue más eficiente en un 50% que la forma ZnSO 4 y en un 75% que el Zn-DTPA en un suelo ácido. En el suelo alcalino, se encontró un menor rendimiento en comparación con el suelo ácido, sin embargo los tratamientos más eficientes fueron 100 mg Kg^{-1} de NfsOZn Y Zn-DTPA 25 Mg Kg^{-1}

Referencias

Dimkpa, C. O., & Bindraban, P. S. (2016). Fortification of micronutrients for efficient agronomic production: a review. *Agronomy for sustainable development*, *36*(1), 7.

Liu, R., & Lal, R. (2015). Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the total environment*, *514*, 131-139.

Naresh, R.K., Kumar, M., Singh, S.P., Dwivedi, A. y Kumar, R. 2018. Enhancing nutrient use efficiency through next generation fertilizers in vegetable and field crops. En Kumar, M., Kumar-Singh, R., Singh, R., Kumar-Verna, R., Kumar, H. y Kumar-Rajput, R. (Ed.), Agricultural-based interventions for sustainable food security and climate change (pp 91 – 97). New Delhi, India. AkiNik.

Rico, C.M., Peralta-Videla, J.R. y Gardea-Torresdey. (2015). Chemestry, biochemistry of nanoparticles and their role in antioxidant defense system in plants. Siddiqui, M.H., Al-Whaibi, M.H. y Mohammadm F. (Ed.), Nanotechnology and plant sciences, (pp 19 – 37). Spinger.

Servin, A., Elmer, W., Mukherjee, A., De la Torre-Roche, R., Hamdi, H., White, J. C., & Dimkpa, C. (2015). A review of the use of engineered nanomaterials to suppress plant disease and enhance crop yield. *Journal of Nanoparticle Research*, *17*(2), 92.

Solanki, P., Bhargava, A., Chhipa, H., Jain, N. y Panwar, J. 2015. Nano-fertilizers and their Smart delivery system. Rai, M., Ribeiro, C. y Duran, N. (Ed.), Nanotechnologies in food and agriculture, (pp 81 – 90). Campinas, Brazil. Springer.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

CONTENIDO MINERAL EN MAÍZ Y QUÍNOA REGADA CON ART EN LA SIERRA JUÁREZ DE OAXACA

Ruiz-Luna, J.[1]; García-Martínez, F.F. [2]; Vásquez-Luis, H.[2]; Velasco-Velasco, V. A.[1*]; Velasco-Cruz, A. L.[3]; González-García, R[4].

[1]Profesor-Investigador, [2]Tesista de Ingeniería en Agronomía, [3]Tesista de posgrado y [4]Auxiliar del Laboratorio de Diagnóstico Ambiental. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca.

*Autor responsable: vicvel5@ hotmail.com; Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. C. P. 71230 Tel. (951) 5170781/5170444

Resumen

Los subproductos de las aguas residuales tratadas (ART) como las sales, nitrógeno y fósforo, tienen valor económico potencial que pueden utilizarse para mitigar gastos de nutrición de cultivos. El presente estudio se realizó con el objetivo de determinar las concentraciones de macroelementos en hojas de maíz (*Zea mays* L.) y quínoa (*Chenopodium quínoa* willd) regadas con ART y agua dulce, en Ixtlán de Juárez y Capulálpam de Méndez, Oaxaca. Los análisis químicos se realizaron en el laboratorio de Diagnóstico Ambiental del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Los cultivos se establecieron en un diseño Completo Aleatorio, enmarcados en un factorial 2 (ART y agua dulce) x 2 (maíz y quínoa). A los 90 días después de la siembra se realizó la obtención de las muestras. El N se determinó con un analizador orgánico elemental; el P mediante el método colorimétrico del vanadato-molibdato; el K, Ca y Mg mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica y $SO_4^=$ por el método turbidimétrico a 360 nm. El ART es una buena fuente de abastecimiento nutricional para las plantas. El maíz regado con ART en promedio presentó 1.5 veces mayor contenido de N que el regado con agua dulce y en la quínoa el contenido de N fue 1.8 veces mayor.

Palabras clave: Riego agrícola, Reúso, Nutrición.

Introducción

Aunque la irrigación con agua residual tratada (ART) para fines agrícolas, representa apenas el 10% del total del agua usada, la actividad agrícola es la de mayor consumo de agua dulce (78%) del planeta (FAO Y FIDA, 2006). La reutilización de las aguas residuales es una opción importante en la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (Salgot *et al*., 2013). El hecho de que las aguas residuales urbanas constituyan una fuente de agua confiable, de bajo costo y rica en nutrientes ha tenido poco impulso esta práctica. Los subproductos de las aguas residuales como las sales, nitrógeno y fósforo, tienen valor económico potencial que pueden utilizarse para mejorar los medios de subsistencia de las personas (WWWAP, 2017). Pérez y Hernández (2007) plantean que el uso de aguas residuales permitirá contribuir al ahorro de fertilizantes (60%). Lo anterior, debido al valor nutritivo de esta agua, así como al aumento de la disponibilidad de productos agrícolas frescos (20%) para el consumo. La quínoa (*C. quínoa* Willd.) presenta características nutricionales que la hacen un alimento de alto valor, tanto para el ser humano como para los animales (Ortiz 2009; Morillo-Coronado *et al*., 2017).

El maíz es uno de los cultivos más importantes del mundo debido a su riqueza en la nutrición humana y animal (Khalili *et al*, 2013). En muchos países se produce principalmente para forraje, por su alta producción de rastrojo (Muñoz *et al*., 2013). Por lo anterior, el presente estudio se realizó con el objetivo de determinar las concentraciones de macroelementos en hojas de maíz (*Zea mays* L.) y quínoa (*Chenopodium quínoa* willd) regadas con agua residual tratada (ART) y agua dulce, en dos localidades de la Sierra Juárez de Oaxaca.

Materiales y Métodos

Los cultivos se establecieron en el municipio de Ixtlán que se localiza en la región centro-norte del Estado de Oaxaca, en la longitud 96º 29´ 14"y latitud 17º 19´ 50" y con una altitud de 2030 m (Consejo Municipal de Desarrollo Rural Sustentable, 2009). El municipio de Capulálpam de Méndez se encuentra entre los paralelos 17°16' y 17°21' de latitud norte; los meridianos 96°17' y 96°29' de longitud oeste; altitud entre 1 100 y 3 200 m (INEGI, 2018). Las siembras se realizaron en surcos mediante un diseño completo aleatorio, enmarcado en un factorial 2 x 2 con cuatro repeticiones, estos es, el factor agua, (residual tratada y dulce), y el factor cultivos (maíz y quínoa). A los 90 días después de la siembra se realizó la obtención de las muestras de hoja, éstas se secaron en una estufa a 60 °C hasta peso constante y pulverizadas en un molino (Apex) en el Laboratorio de Diagnóstico Ambiental (LDA) perteneciente al Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO).

Análisis en laboratorio

Para evaluar el contenido de minerales, se pesaron 0.5 g de muestra por duplicado por tratamiento, se solubilizó por digestión ácida con una solución de ácido nítrico y acido perclórico ($HNO_3/HClO_4$, relación 2:1) en una parrilla de digestión (DIK-20, digestor kjeldahl). Posteriormente, se filtraron con papel Whatman 42 y se procedió al análisis con las metodologías indicadas en el cuadro 1, a excepción del nitrógeno, donde se utilizó la muestra molida directamente.

Cuadro 1. Variables evaluadas de las muestras de maíz y quínoa regadas con agua residual tratada y agua dulce, en Capulálpam de Méndez e Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

Variables	Unidad	Método utilizado	Equipo utilizado
N	%	Analizador orgánico elemental	Analizador orgánico Perkin Elmer series II CHNS/O Analizer 2400
P	%	Colorimetría por el método vanadomolíbdico	Espectrofotómetro UV GBC modelo CINTRA10
K, Ca, Mg	%	Espectrofotometría de Absorción Atómica	Espectrofotómetro ThermoScientific SSI modelo iCE 3000 series
$SO_4^=$	%	Método turbidimétrico	Espectrofotómetro UV GBC modelo CINTRA10

Análisis de datos

Se realizaron análisis de varianza de acuerdo al diseño experimental y tratamientos utilizados, con análisis de medias por el método de Tukey ($P<0.05$). Se utilizó el programa estadístico NCSS (Number Cruncher Statistical System) demo en internet 2018.

Resultados y Discusión

En ambas localidades, las concentraciones de N y $SO_4^=$ en maíz y quínoa cuya agua de riego fue ART, superaron significativamente a las que fueron regadas con agua dulce (Cuadro 2 y 3). Muñoz *et al*. (2017) obtuvieron concentraciones que oscilan entre 2.54 a 2.69% de N en hojas de maíz, dichos valores fueron menores a los obtenidos en Ixtlán (2.96%) y Calpulálpam (3.52%). De igual forma, en hojas de quínoa en Ixtlán y Capulálpam se obtuvo mayor concentración de N (6.027 y 5.301%, respectivamente) en comparación a lo reportado por González *et al.* (2016), quienes obtuvieron un valor de 4.3%. El maíz en Capulálpam mostró 19%, 2% y 18 % más contenido de N, K y $SO_4^=$ que en Ixtlán, ambos regados con ART; el mismo comportamiento lo tuvo el regado con agua dulce aunque en porcentajes diferentes. En general el maíz regado con ART en promedio presentó 1.5 veces mayor contenido de N que el regado con agua dulce y en la quínoa el contenido de N fue 1.8 veces mayor.

El Ca, K y Mg en ambas comunidades y en ambos cultivos tiende a ser mayor cuando los riegos se realizan con agua dulce. Quizás estos resultados se deban al efecto de dilución, ya que las plantas regadas con ART mostraron mayor crecimiento en altura y producción de materia seca respecto de las plantas regadas con agua dulce (Velasco, 2018).

Se observó que las hojas de maíz mostraron mayor concentración de P y $SO_4^=$ que las hojas de quínoa, superándolas en 13.68% y 78.06%, respectivamente. Las hojas de quínoa presentaron mayor concentracion de N, K, Ca y Mg, superando en 63.60%, 19.75%, 376.25% y 533.37%, respectivamente, en comparación con las hojas de maíz.

Cuadro 2. Macroelementos en hojas de maíz y quínoa regadas con agua residual tratada (ART) y agua dulce en Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

Macroelementos	Maíz		Quínoa	
(%)	ART	Dulce	ART	Dulce
N	2.967 c	1.645 d	6.027 a	4.073 b
P	0.459 a	0.289 ab	0.346 a	0.255 b
K	1.863 b	1.897 b	2.330 ab	0.962 a
Ca	0.668 c	0.664 c	1.737 b	3.129 a
Mg	0.210 c	0.149 c	0.765 b	1.287 a
$SO_4^=$	8.172 a	3.770 b	1.882 c	1.715 c

Valores con la misma letra para cada elemento, no son diferentes significativamente (Tukey, $\alpha=0.05$).

Cuadro 3. Macroelementos en hojas de maíz y quínoa regadas con agua residual tratada (ART) y agua dulce en Capulálpam de Méndez, Ixtlán, Oaxaca.

Macroelementos	Maíz		Quínoa	
(%)	ART	Dulce	ART	Dulce
N	3.522 b	2.726 bc	5.301 a	2.366 c
P	0.303 a	0.389 a	0.399 a	0.243 a
K	1.907 b	1.936 b	2.779 a	3.034 a
Ca	0.220 c	0.356 c	1.594 b	2.627 a
Mg	0.170 c	0.199 c	0.927 b	1.632 a
$SO_4^=$	9.663 a	6.718 a	1.541 b	1.075 b

Valores con la misma letra para cada elemento, no son diferentes significativamente (Tukey, α=0.05).

Conclusiones

Las plantas de maíz y quínoa regadas con agua residual tratada mostraron mayor concentración de N y $SO_4^=$. El ART es una buena fuente de abastecimiento nutricional para las plantas. La quínoa en general mostró 63.6% de N más que el maíz así como mayor concentración de K, Ca y Mg.

Agradecimientos

Se agradece las facilidades brindadas por los H. Ayuntamientos de Ixtlán de Juárez y Capulálpam de Méndez, Ixtlán, Oaxaca, localidades de la Sierra Juárez, para el establecimiento de los cultivos.

Referencias

Consejo Municipal de Desarrollo Rural Sustentable. 2009. Diagnóstico y plan de desarrollo municipal de Ixtlán de Juárez. Asesor municipal: Ing. Juan Carlos Morales Cruz. SAGARPA. Secretaria de Desarrollo Rural del Gobierno del Estado de Oaxaca.

FAO y FIDA. 2006. El agua para la alimentación, la agricultura y los medios de vida rurales. En: El agua, una responsabilidad compartida. 2o Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. Resumen ejecutivo. 47 p. En: www.unesco.org/water/wwap/index_es.shtml; consultado: septiembre de 2018.

González, J.A.; Martin, G.O.; Bruno, M. A. y Prado, E .F. 2016. La "quínoa" (*Chenopodium quinoa L.)* como alternativa forrajera en la zona de los Valles Calchaquíes (Noroeste Argentino). Lilloa 53 (1): 74–81.

INEGI. 2018. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Capulálpam de Méndez, Oaxaca Clave geoestadística 20247. Disponible en: http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/20/20247.pdf consultado en: septiembre del 2018.

Khalili, M.; Naghavi, M. R.; Aboughadareh, A. P. y Rad, H. N. 2013. Effects of drought stress on yield components in maize (*Zea mays* L.). International Journal of Agronomy and Plant Production. 4(4): 809 – 812.

Morillo-Coronado, A. C.; Castro-Roberto, M, A. y Morillo-Coronado, Y. 2017. Caracterización de la diversidad genética de una colección de quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 15(2): 49-56.

Muñoz, T. F.; Guerrero, R. J. de D.; López, P. A.; Gil, M. A.; López, S. H.; Ortiz, T. E.; Hernández, G. J. A.; Taboada, G. O.; Vargas, L. S. y Valadez, R. M. 2013. "Producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en condiciones de temporal en los valles altos de Libres Serdán, Puebla, México". Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 4 (4): 515-530.

Muñoz, V, J ; Macías, R, H; Delgado, R, G ; Rivera, G, M; Inzunza, I, M ;Jacobo, S, M. 2017.Niveles de nitrógeno y fosforo en maíz (*Zea mayz* L.) forrajero bajo riego con aguas resi¬duales tratadas. AGROFAZ .17 (2):45 -50

Ortiz, M. F. 2009. Evaluación nutricional de dos ecotipos de quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) como alternativa forrajera para el ganado caprino. Memoria para optar al título profesional de médico Veterinario. Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias .Escuela de Ciencias Veterinarias. Santiago de Chile.

Pérez, P. J. y Hernández, C. G. 2007. Valoración de la calidad del agua del arroyo Guachinango, con fines de riego. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 16 (3): 6-8.

Salgot, M.; Collado, J. y Koo-Oshima, S. 2013. Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?Informe sobre Temas Hídricos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma 2013

Velasco C., A. L. 2008. Uso de agua residual tratada para producción de forrajes, en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Tesis de Maestría en ciencias en productividad de agroecosistemas. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca.

WWWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. 2017. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: el recurso no explotado. París. UNESCO.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EVALUACIÓN DE CINCO CULTIVARES DE UVA PARA VINO TINTO EN LA COMARCA LAGUNERA DE DURANGO

Favela-Chávez, E.[1]. Rodríguez-Vázquez, J.A., [2] y Leos-Escobedo L. [3]

[1,2,3] Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", Torreón Coahuila, México.

*Autor responsable este_favela@hotmail.com; UAAAN UL Torreón Coahuila.

Resumen

El cultivo de la uva (*Vitis vinífera* L.), es uno de los más antiguos en el mundo. En México el cultivo ocupa una superficie de 28.9 mil hectáreas. El presente trabajo de investigación se llevó acabo en la huerta de vid, establecida en la finca denominada el Sauce, ubicada en la localidad de Monterreicillo en el Municipio de Lerdo, Durango, durante el ciclo primavera-verano del año 2017. El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con cinco tratamientos (variedades de uva para vino) y cinco repeticiones, obteniendo 25 unidades experimentales. El área experimental total se conformó por 10 m de largo y 15 m de ancho obteniendo 150 $m^{2.}$ El área de parcela experimental útil, se conformó por una línea de 2.0 m de ancho y 10.0 m de largo obteniendo un área de 20 m^2. Las variables evaluadas fueron, peso por racimo, número de bayas por racimo, número de racimos por planta, rendimiento experimental (kg $m^{2-1)}$), rendimiento comercial (t ha^{-1}), volumen de bayas, pH del fruto y contenido de solidos solubles (º Brix). En los resultados se encontró para el peso por racimo y el número de uvas por racimo, el tratamiento 2 (cv Merlot), fue el mejor. En el contenido de solidos solubles en grados Brix a los siete días antes y siete días después de cosecha, se encontró que el mejor Tratamiento fue el 1 (cultivar Cabernet sauvigon), el pH del fruto, el Tratamiento 3 (cv Malbec). En el volumen por 10 bayas de uva, el Tratamiento 1 (cultivar Cabernet Sauvignon), fue el que presentó el mayor valor de 8.6. Finalmente, en el volumen por racimo de uva, el Tratamiento 3 (cv Malbec), presentó el mayor valor Evaluar el comportamiento fenológico y productivo de cinco variedades de uva destinadas a la elaboración de inos tintos, fue el objetivo del presente trabajo de investigación.

Palabras clave: Vid, cultivares, Comarca Lagunera, Durango

Introducción

Por su importancia económica, cultural y religiosa el cultivo de la uva (*Vitis vinífera*), es uno de los más antiguos del mundo. Derivado de su consumo diversificado, la uva se caracteriza por su alto valor económico donde actualmente el 31 por ciento de la producción mundial es destinada al mercado en fresco, el 67 por ciento, a la elaboración de vinos y otras bebidas alcohólicas y finalmente un 2 por ciento es destinado al proceso como fruta seca. En 2015 los viñedos en México, ocuparon una superficie plantada de 28.9 mil hectáreas y generaron una producción de 375.3 mil toneladas, valuada en 7093 millones de pesos. El 71 por ciento de la producción de uva es destinada al mercado para su consumo en fresco, mientras que el 25 por ciento, empleada en la elaboración de vinos, jugos y concentrados y un 4 por ciento, destinada al consumo como fruto seco o uva pasa.

Portugal, en el sur de Francia, Argentina, los EEUU, Australia, Marruecos, Brasil, Venezuela, Uruguay, México y Tailandia. Se le conoce con varios nombres: Tinto del país, Tinto de toro, Tinta fino, entre otros.

El **objetivo** del presente trabajo fue: Evaluar el comportamiento fenológico y productivo de cinco variedades de uva destinadas a la elaboración de vinos tintos.

Hipótesis: Los cinco cultivares de uva en evaluación presentan buenas características para la elaboración de vinos tintos.

Importancia de la vid.

A nivel mundial, se estima que alrededor 31 por ciento de la producción mundial de uva es destinada al mercado en fresco, el 67 por ciento, a la elaboración de vinos y otras bebidas alcohólicas; y el 2 por ciento es procesada como fruta seca.

Existen antecedentes que, durante el año 2013, se obtuvieron 66´156,720 toneladas, siendo Italia, el país más productor con el 13 por ciento y los Estados Unidos, con el 11 por ciento, principalmente (Álvarez, 2014). Por otro lado a nivel nacional, la producción de la uva, tiene diferentes usos: como uva pasa, para la producción de vinos en el ámbito industrial y como fruta en fresco, con 348 mil 951 toneladas (SAGARPA, 2016)

La superficie sembrada con el cultivo de la vid en el país es de 31,500 hectáreas. Los principales estados productores son en Sonora, Zacatecas y Baja California. Además, también es cultivada en Coahuila, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Querétaro y San Luis Potosí, entre otros estados. El estado de Sonora, es considerado el principal estado con el mayor volumen de producción con 266,107 toneladas, principalmente como uva fruta, que representa una participación de 76.2 por ciento, Zacatecas con 43,931 toneladas, como uva fruta, además del proceso industrial, Baja California con 17,891 toneladas y Aguascalientes con 11,641 toneladas (SAGARPA, 2016).Así mismo; el municipio de Parras, con una superficie de 230 hectáreas cultivadas y una producción media de 2,042.40 toneladas. Obteniendo con ello un rendimiento medio para el estado de Coahuila de 8,9 toneladas por hectárea (SIAP, 2014).

Variedades de mayor importancia para la producción de vinos en México.

Cetto, (2007), describe, Tintas: Pinot Noir, Cabernet-sauvignon, Merlot Garnacha, Carignan, Salvador, Alicante, Barbera, Zinfandel, Mission, Shiraz, Cabernet Franc, etc. Blancas: Ungi Blanc, Chenin Blac, Riesling, Palomino, Verdona, FeherZagos, Malaga, Colombard, Chardonnay, etc.

Variedad Shiraz.; Galet, (1985) considera que no se conoce nada preciso sobre su origen, para algunos puede ser originario de la ciudad de Shiraz en Persia. Los sinónimos son: Schiras, Sirac, Syra, Syrac, Sirah, Shiraz, también llamado Petite Syrah.

Variedad Merlot ;(Galet, 1990; Salazar y Melgarejo, 2005), **me**ncionan que, **a**mpelográficamente su punta de crecimiento es abierta poco vellosa y sin pigmentación marcada, que si aparece ligeramente en los entrenudos. Las hojas adultas son de tamaño medio, grande, con haz muy oscuro, con lóbulo recortados, a veces con un diente en el fondo, con envés sin vellosidad y con muy poca vellosidad en las nervaduras, con seno peciolar de U abierta y amplia, con dientes ancho y lados rectilíneos.

Variedad Cabernet Suavignon; Weaver, (1976) y Winkler, (1970), mencionan que la variedad es bastante homogénea, con algunas diferencias en la forma del racimo y en las

Características típicas del vino. Variedad bastante vigorosa y de brotación medio-tardía, vegetación bastante erecta y entrenudos medio-cortos. Se adapta a climas templados y mejor en zonas secas o bien ventiladas, en el norte prefiere zonas bien expuestas al sol, en colinas y suelos ligeros sobre todo en los valles

Variedad Tempranillo; Martínez (1991) considera que esta variedad tuvo un importante auge en nuestro país a partir de la década del 50. En el censo de 1936 no se cita este cepaje, posiblemente agrupado como "francesas tintas varias" (Junta Reguladora de Vinos, 1936). Después, se comenzó a plantar aprovechando sus excelentes rendimientos. Tempranillo Español y se caracteriza por tener hojas grandes, pentalobadas, con senos laterales bien marcados y con el peciolo generalmente perforado. El envés de la hoja presenta abundante "telaraña". El racimo es cónico, alargado, bien lleno, grande, con bayas negro rojizas, esféricas y medianas (1.6 cm. de largo).

Variedad Malbec; Rodríguez, (1996) menciona que es la variedad de uva tinta más importante en la vitivinicultura argentina, especialmente en Mendoza, donde se produce más del 80% del total nacional.

Materiales y Métodos.

Localización del sitio experimental; El presente trabajo de investigación se llevó acabo en la huerta de vid, establecida en la finca denominada el Sauce, ubicada en la localidad de Monterreicillo en el municipio de Lerdo, Durango. La huerta de vid fue establecida hace cuatro años con cultivares dirigidos a la producción de vinos.

Clima de la región; El clima de la región según Koppen, (1884) es del tipo BWhw, que significa. Que son Subtipos muy secos semicálidos con Lluvias de verano con un porcentaje de precipitación invernal entre 5.0% y 10.2%.Los inviernos son suaves; en el interior las temperaturas pueden acercarse a los 0ºC, por la noche. Los veranos son cálidos o muy cálidos.

Tratamientos de estudio;

Los tratamientos de estudio para el presente trabajo de investigación fueron cinco con cinco repeticiones en cada uno de ellos. Cada una de las plantas conformó la unidad experimental.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos de estudio UAAAN UL. 2018

Tratamiento	Variedad
T1	Variedad Cabernet Suabiñon
T2	V. Merlot
T3	V. Malvec
T4	V. Shyras
T5	V. Tempranillo

Diseño experimental; El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con cinco tratamientos (variedades de vino) y cinco repeticiones, obteniendo 25 unidades experimentales.

Establecimiento del experimento; El trabajo de investigación se inició en el ciclo primavera-verano del año 2017.El área experimental total se conformó por 10 m de largo y 15 m de ancho

obteniendo 150 $m^{2.}$**Parcela experimental** El área de parcela experimental útil, se conformó por una línea de 2.0 m de ancho y 10.0 m de largo obteniendo un área de 20 m^2.

Variables evaluadas

- Peso por racimo;
- Número de baya por racimo;
- Número de racimos por planta;
- Rendimiento experimental (Kg m^{-2});
- Rendimiento comercial (t ha^{-1});
- Volumen por desplazamiento;
- pH del fruto
- Contenido de solidos solubles (º Brix);

Análisis estadístico: Para el análisis de los datos obtenidos se empleó el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System), versión 9.0, con prueba de medias LSD.

Resultados y Discusión.

Peso por racimo; Presentó alta significancia estadística al 0.05, en los tratamientos de estudio, no así para los bloques. Se encontró que el tratamiento 2 (cv Merlot), fue el mejor con un valor de 189.99 gramos por racimo, mientras que el Tratamiento 5 (cv Tempranillo), con el valor más bajo igual a 33.80 gramos por racimo.

Número de uvas por racimo; Para esta variable de estudio, el análisis de varianza presento alta significancia estadística al 0.05 **,** en los tratamientos de estudio y significancia en los bloques. Se encontró que el Tratamiento 2 (cv Merlot), con un valor de 232.4 bayas mostrándose como el valor más alto, mientras que el Tratamiento 5 (cv Tempranillo), con 42.8 bayas, encontrándose como el valor más bajo.

Contenido de solidos solubles (ºBrix), 7 días antes de cosecha; Para esta variable de estudio el análisis de varianza presento alta significancia estadística al 0.05, en los tratamientos de estudio y significancia en los bloques. Se encontró que el mejor Tratamiento fue el 1 (cv Cabernet sauvigon), con un valor de 25 º Brix, mientras que el valor más bajo lo presento el Tratamiento 5 (cv

pH del fruto;El análisis de varianza para la variable pH del fruto de la baya, presento alta significancia estadística al 0.05**,** en los tratamientos de estudio y no así para los bloques. Se encontró que el Tratamiento 3 (cv Malbec), fue el que presentó el mayor valor en el pH de la baya, con un valor de 4.6, mientras que el Tratamiento 1 (Cabernet sauvignon),

Volumen por 10 bayas de uva; En esta variable de estudio, el análisis de varianza presento alta significancia estadística al 0.05, para los tratamientos de estudio, no así para los bloques. Se encontró que el Tratamiento 1 (cv Cabernet sauvignon), fue el que presentó el mayor valor de 8.6 cm^3, donde cada baya presentó un volumen de 0.86 cm^3 por baya. Con respecto al Tratamiento 3 (cv Malbec), presentó el valor más bajo con 5.8 cm3, donde cada baya obtuvo un volumen de 0.58 cm^3.

Volumen por racimo de uva; El análisis de varianza, para esta variable de estudio presento alta significancia estadística al 0.05, en los tratamientos de estudio y significancia en los bloques. Se encontró que el Tratamiento 3 (cv Malbec), presentó el mayor valor con 137.54 cm^3, mientras que el Tratamiento 5 (cv Tempranillo), presento el menor valor igual a 32.8 cm^3.

Conclusiones.

1.- Para el peso por racimo y el número de uvas por racimo, Se encontró que el cultivar Merlot (Tratamiento 2), fue el mejor en ambas variables de estudio con 189.99 gramos por racimo y 232.4 bayas por racimo, respectivamente.
2.- En el contenido de solidos solubles (ºBrix) a los 7 días antes y 7 días después de cosecha, se encontró que el cultivar Cabernet sauvigon (Tratamiento 1), fue la mejor con un valor de 25 y 18.8 ºBrix.
3.- En el pH del fruto, se encontró que el cultivar Malbec (Tratamiento 3), fue el que presentó el mayor valor en el pH de la baya, con un valor de 4.6., considerado como el más idóneo para la producción de vinos suaves. El cultivar Cabernet sauvignon (Tratamiento 1), con el valor más bajo igual a 3.8.
4.- Para el volumen de 10 bayas de uva, se encontró que el cultivar Cabernet sauvignon (Tratamiento 1 sauvignon), fue el que presentó el valor más alto con 8.6 cm^3. El cultivar Malbec (Tratamiento 3), con el valor más bajo igual a 5.8 cm^3.
5.- Finalmente, para el volumen por racimo de uvas, se encontró que el cultivar Malbec (Tratamiento 3), presentó el valor más alto con 137.54 cm^3. El cultivar Tempranillo (Tratamiento 5), con el valor más bajo igual a 32.8 cm^3.

Referencias.

Álvarez G., 2014. Cultivo de la Vid. Agro banco. Área de Desarrollo. Tú banco Agrario. Perú. Pp., 14

Cetto, L. A., 2007. Los vinos en México. Viticultura. (En línea) http://jcbartender.blogspot.mx/2007/08/viticultura-5-los-vinos-en-méxico.html (consulta) 12/02/13.

Galet P., 1990. Uvas y viñedos de Francia ed 2ª. Montpellier, Francia: L´ ampelographie Francaise.

Galet, P. 1985. Precis d´Ampelographie Pratique. Imprimerie Ch. Dehan. Montpellier, France. 160 pag.

Martínez D., T. F.F. 1991. Biología de la vid, fundamentos biológicos de la viticultura. Ediciones Madrid, España Mundi-prensa,

Rodríguez, L. P. 1996. Plagas y Enfermedades de la Vid en Canarias. Sección de Sanidad Vegetal. 3ª edición. Pp. 8 y 9.

SAGARPA. 2016. Se reincorpora México a la organización internacional de la viña y el vino obtenido de. http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/2016/noviembre/ Documents/JAC0443-1.PDF [09-12-17]

Salazar D., M. Melgarejo P. 2005. Viticultura. Técnicas de cultivo de la vid, calidad de la uva y atributos de los vinos. Madrid, España: Mundi-prensa S.A.

SIAP. 2014. producción de uva. Obtenido de http://www.siap.gop.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/ [10-12-17]

Weaver R., J. 1976. Cultivo de la uva. Editorial Continental. México, D.F. Pp 34.

Winkler A., J. 1969. Effect of vine spacing in an irrigated vineyard on vine physiology, production and wine quality. Am. J. Enol. Vitic. Vol. 20. Pp.7-14

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

ILUMINACIÓN LED Y SU INFLUENCIA EN LA ABSORCIÓN MINERAL Y PROPIEDADES ANTIOXIDANTES EN LECHUGA CULTIVADA EN UN SISTEMA FÁBRICA DE PLANTAS

Avendaño-Abarca V.H.[1*]; Rodríguez-Fuentes H.[1]; Niño-Medina G.[1]; Munguía-López J.P.[2]; Luna-Maldonado A.I.[1]; Vidales-Contreras J.A.[1]; González-Sandoval D.C.[1]

[1]Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía. General Escobedo, Nuevo León, México.
[2]Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila, México.

*Autor responsable: victor_havendano@hotmail.com; Francisco Villa, s/n, Col. Ex−Hacienda "El Canadá, General Escobedo, Nuevo León. México. CP 66050; Tel. +52(811)-4864-887

Resumen
Se evaluó la influencia de la intensidad-calidad de luz en la absorción total de minerales y la concentración de compuestos antioxidantes a final del ciclo de producción del cultivo de lechuga romana cultivada bajo Sistema Fábrica de Plantas. Se establecieron tres tratamientos: t1=127.49 (rojo y azul), t2=147.32 (rojo y azul) y t3=235.69 (rojo, azul y suplemento de luz blanca) $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ respectivamente. Las variables evaluadas fueron: absorción de N, P, K, Ca, Mg, Cu y Zn y concentración de compuestos fenólicos totales (CFT), flavonoides (F) y capacidad antioxidante por el ensayo ABTS. Los resultados presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$), siendo el t3 el que presentó mayor absorción nutrimental por planta y t2 el que generó la mayor concentración de compuestos antioxidantes.

Palabras clave: *Lactuca sativa* L.; ambiente controlado; calidad de luz; hidroponía; metabolitos secundarios

Introducción
El Sistema Fábrica de Plantas (SFP) tiene como objetivo generar una mayor producción de biomasa optimizando el espacio mediante la aplicación del conocimiento en relación a los requerimientos óptimos climáticos y nutrimentales de cada especie vegetal (Kozai *et al*., 2015). De los 6 elementos principales que conforman este sistema (Kozai *et al*. 2006), la iluminación artificial es la que presenta uno de los mayores retos para la producción agrícola, debido a que la calidad, intensidad de luz y fotoperiodo tienen un efecto importante sobre crecimiento y calidad nutricional del cultivo (Kang *et al*., 2013). En este aspecto el diodo emisor de luz (LED) es la fuente que presenta las mayores ventajas en comparación a otros dispositivos, debido principalmente a la capacidad de emisión de espectros electromagnéticos específicos, permitiendo controlar las condiciones de luz para brindar a las plantas la energía necesaria para estimular la mayor concentración de pigmentos fotosintéticos, así como la producción de metabolitos secundarios de interés comercial como los compuestos antioxidantes y así obtener plantas de mayor calidad nutrimental (Fan y Jao, 2000; Mizuno *et al*., 2011; Žukauskas *et al*., 2011; Tarakanov *et al*., 2012).

Materiales y Métodos
El trabajo experimental se realizó en el Laboratorio de Sistema de Producción en Ambiente Controlado (*Plant Factory*) de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo

León, ubicada en el municipio de General Escobedo, Nuevo León, México.

En este estudio se emplearon semillas de lechuga romana (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia* Lam cv. Parris Island), sembradas en charolas de 200 cavidades usando roca volcánica como sustrato. El trasplante al sistema de producción se llevó a cabo a los 20 días después de la siembra considerando una densidad de población de 201 plantas·m^{-3}. La cosecha se realizó a los 24 días después del trasplante.

Para la nutrición del cultivo se empleó la solución nutritiva (SN) propuesta por Rodríguez *et al*. (2011) considerando la calidad del agua empleada para su elaboración. Los cálculos de las cantidades de fertilizantes comerciales a emplear para cumplir con las concentraciones establecidas en la SN se realizaron mediante el software de Hidroponia versión 14.7.0.2 de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, considerando un volumen final de 200 L. La solución nutritiva fue renovada completamente cada 5 días. Los valores de temperatura, CE, oxígeno disuelto y pH de la solución se monitorearon diariamente (una lectura cada 24 horas) tomando una muestra de 200 mL y medidos mediante un sensor pH (Modelo FE20-ATC Kit FiveEasy de Mettler Toledo S.A. de C.V., México), un sensor de CE (modelo HI98300 de HANNA Instruments, UK) y un sensor de oxígeno disuelto (HANNA modelo HI 9143 de HANNA Instruments, UK).

Tratamientos

Se establecieron tres tratamientos de intensidad de luz: t1=127.49, t2=147.32 y t3=235.69 µmol·m^{-2}·s^{-1} con 5 repeticiones bajo un diseño completamente al azar. La unidad experimental fue de 9 plantas. El fotoperiodo establecido para cada uno de los tratamientos fue de 24 horas luz para cumplir los requerimientos de luz integral diaria del cultivo, haciendo un total de luz acumulada (del trasplante a la cosecha) igual a 694.0; 801.9 y 1282.9 mol·m^{-3} respectivamente.

Variables Ambientales

Los valores de temperatura y humedad relativa establecidos en el experimento fueron de 22 °C y de 60 % respectivamente (Choi *et al*., 2000; Kang *et al*., 2013), mediante un Minisplit (Carrier UP modelo 53UPQ183A de Carrier, EUA), un deshumificador (Delonghi modelo DD50PE de De'Longhi America Inc, EUA) y un humificador (Bionaire modelo BUL7923-CN de Bionaire® Canada).

La iluminación artificial fue proporcionada por medio de lámparas tubulares LED T8 color blanco frio (DLM, modelo ML-TU-CR1 de DLM S de R. L. de C. V., México) y lámparas LED T8 color rojo y azul (DUBAI, modelo 21019); Las características de calidad de luz de cada tratamiento se presentan en el Cuadro 1, las cuales fueron obtenidas mediante un espectroradiómetro (Apogge modelo PS-300 de Apogge Instruments, Inc, EUA).

Variables evaluadas

La cosecha se realizó a los 24 días después del trasplante debido a que el crecimiento de la planta cubrió el espacio disponible para el cultivo, realizando un solo muestreo al final del ciclo de producción para determinar la absorción total (por planta) de N, P, K, Ca, Mg, Cu y Zn (Rodríguez-Fuentes y Rodríguez-Absi, 2015) y la concentración de compuestos fenólicos totales (CFT), flavonoides (F) y capacidad antioxidante (CA) por el ensayo ABTS (Niño-Medina *et al.* 2017) basados en una muestra de 18 plantas.

Cuadro 1. Composición de radiación electromagnética emitida por la fuente de iluminación artificial para la producción de lechuga romana bajo el SFP.

		Intensidad de luz ($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)		
Color	Longitud de onda	t1	t2	t3
Violeta	380-450	32.07	28.36	48.51
Azul	450-495	18.07	23.99	28.91
Verde	495-570	0.00	0.00	29.82
Amarillo	570-590	0.00	0.00	10.07
Naranja	590-620	2.29	3.57	15.74
Rojo	620-750	68.98	84.38	91.42
Proporción Rojo:Azul		3.18:1	3.51:1	3.16:1
	Total	121.41	140.31	224.47

Análisis Estadístico

El análisis estadístico de los datos obtenidos de las variables evaluadas se realizó con el software InfoStat 2017 en su versión estudiantil de la Universidad Nacional de Córdoba mediante un análisis de varianza y prueba de comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$) para los tratamientos que presentaron diferencias significativas.

Resultados y Discusión

Los tratamientos mostraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) en la absorción total de nutrimentos por planta de lechuga (Cuadro 2), destacando el t3 con los mayores valores de N, P, K, Ca, Mg, Cu y Zn en comparación a los observados en el t1 y t2, esto posiblemente debido a un mayor crecimiento radicular y parte aérea estimulado por el tipo y cantidad de luz irradiada al cultivo (Johkan *et al*., 2012). Shin (2012) coincide que en el cultivo de lechuga la absorción de nutrimentos está influenciada por la calidad de luz, reportando una mayor acumulación de nutrimentos con espectros electromagnéticos específicos como: la presencia de luz blanca, luz monocromática roja y azul o su combinación lo cual estimula el incremento en la absorción de P, Ca, Mg y N respectivamente.

La proporción entre los espectros electromagnéticos rojo:azul fue de 3:1 aproximadamente en todos los tratamientos (Cuadro 1), Morewane (2014) reporta que bajo esta relación se promueve una mayor absorción de Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn y B; por lo que la mayor acumulación de nutrimentos en el tratamiento t3 (Cuadro 2) fue debido principalmente a la presencia de luz blanca y a una mayor intensidad de luz de los espectros electromagnéticos rojo y azul.

Cuadro 2. Absorción total nutrimental (raíz + parte aérea) por planta de lechuga romana (Base seca) a los 24 días después de trasplante cultivada bajo el Sistema de Producción Fábrica de Plantas; (media ± DE, n =5).

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn
				($mg \cdot planta^{-1}$)			
t1	100.7±21.0c	7.1±1.4c	123.9±25.9c	23.1±4.8c	4.6±0.9c	0.04±0.009b	8.7±1.9c
t2	125.4±19.6b	14.6±2.3b	171.7±26.9b	27.9±4.4b	5.7±0.9b	0.050±0.008b	12.7±1.9b
t3	163.7±21.4a	19.2±2.5a	244.9±32.1a	44.0±5.8ª	9.0±1.2a	0.09±0.01a	16.7±2.2a

Medias de columnas con letra igual no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p > 0.05$).

Los resultados de CFT, F y CA presentaron diferencias significativas *($p \leq 0.05$)* entre los tratamientos (Cuadro 3). El t2 generó la mayor concentración de compuestos antioxidantes en comparación al t1 y t3 con valores de concentración de hasta 255.55 (CFT), 98.73 (F) mg EAG·kg^{-1} y 2221.20 µmol ET·kg^{-1} (CA).

Aunque en el t3 correspondió a la mayor intensidad del espectro rojo y azul en comparación al t1 (Cuadro 1) la CA fue estadísticamente igual, posiblemente debido a que el estímulo de incremento fue inhibido por la presencia de espectros de luz con longitudes de onda intermedias (verde: 29.82 µmol·m^{-2}·s^{-1}, amarillo: 10.07 µmol·m^{-2}·s^{-1} y naranja: 15.74 µmol·m^{-2}·s^{-1}); Samouline *et al.* (2012) mencionan que la luz suplementaria verde (520 nm), amarilla (595 nm) y naranja (622 nm) no presenta un efecto promotor en la CA en el cultivo de lechuga romana; por otro lado Folta y Maruhnich (2007) reportan que la luz verde puede tender a inhibir los efectos promotores establecidos por luz roja y azul.

Cuadro 3. Concentración de compuestos fenólicos (CFT), flavonoides y capacidad antioxidante (ensayo ABTS) en hojas de lechuga romana a los 24 días después de trasplante (media ± DE, n =5).

Tratamiento	CFT (mg EAG·kg-1)	Flavonoides	ABTS (µmol ET·kg^{-1})
t1	219.0±10.2b	66.73±4.8b	1669.8±194.0b
t2	295.6±16.2a	98.7±6.8a	2221.2±99.9a
t3	210.2±6.8b	72.4±3.1b	1698.6±65.7b

Medias de columnas con letra igual no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p > 0.05$).

La concentración de CFT (Cuadro 3) obtenida en el t2 (295.55 mg EAG·kg^{-1}) fue superior al valor reportado por Cano y Arnao (2005) de 85 mg EAG·kg^{-1} en hojas externas del cultivo de lechuga romana cultivada bajo invernado; sin embargo, fueron inferiores a los valores encontrados por Li y Kubota (2009) de 2590 mg EAG·kg^{-1} en el cultivo de lechuga "Red Cross" bajo una intensidad de 305 µmol m^{-2} s^{-1} en un SFP; esto posiblemente debido a que la variedad evaluada fue lechuga de hoja roja (mayor concentración de antocianinas).

Conclusiones

La luz blanca proporcionó espectros electromagnéticos que incrementaron ($p \leq 0.05$) la absorción de todos los nutrimentos evaluados.

Los espectros de luz rojo y azul a una relación de 3.51:1 incrementan significativamente *($p \leq 0.05$)* la concentración de compuestos fenólicos (34.9 %), flavonoides (47.9%) y capacidad antioxidante (33.2 %) en comparación a la relación 3.18:1.

Agradecimientos

El autor agradece al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica (PAICYT) de la Dirección General de Investigación de la Universidad Autónoma de Nuevo León por el financiamiento otorgado para la realización de estudios de posgrado y desarrollo de este proyecto de investigación y al Centro de Investigación en Química Aplicada por el apoyo en la caracterización del espectro electromagnético emitido por la fuente de iluminación artificial.

Referencias

Cano, A. and M.B. Arnao. 2005. Hydrophilic and lipophilic antioxidant activity in different leaves of three lettuce varieties. International Journal of Food Properties. 8(3): 521-528.

Choi, K.Y., K.Y. Paek and Y.B. Lee. 2000. Effect of air temperature on tipburn incidence of butterhead and leaf lettuce in a plant factory. En: Transplant Production in the 21st Century (Eds. Kubota C, Chun C), pp. 166-171. Springer.

Fang, W. and R.C. Jao. 2000. A review on artificial lighting of tissue cultures and transplants. En: Transplant Production in the 21st Century (Eds. Kubota C and C. Chun), pp. 108-113. Springer.

Folta, K.M. and S.A. Maruhnich. 2007. Green light: a signal to slow down or stop. Journal of Experimental Botany. 58(12): 3099-3111

Johkan, M., K. Shoji, F. Goto, S.N. Hahida and T. Yoshihara. 2012. Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in Lactuca sativa. Environmental and Experimental Botany. 75: 128-133.

Kang, J.H., S. KrishnaKumar, S.L.S. Atulba, B.R. Jeong and S.J. Hwang. 2013. Light intensity and photoperiod influence the growth and development of hydroponically grown leaf lettuce in a closed-type plant factory system. Horticulture, Environment and Biotechnology. 54: 501-509.

Kozai, T., G. Niu and M. Takagaki. 2015. Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production. Ed. Academic Press, Reino Unido, London. 405 pp.

Kozai, T., K. Ohyama and C. Chun. 2006. Commercialized closed systems with artificial lighting for plant production. Acta Horticulturae. 711: 61-70.

Li, Q., and C. Kubota. 2009. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. Environmental and Experimental Botany. 67: 59-64.

Mizuno, T., W. Amaki and H. Watanabe. 2011. Effects of monochromatic light irradiation by LED on the growth and anthocyanin contents in leaves of cabbage seedlings. Acta Horticulturae. 907: 179–184.

Morewane, M.B. 2014. Effects of LED spectrum combinations on the absorption of mineral elements of hydroponic lettuce. Spectroscopy and Spectral Analysis. 34(5): 1394-1397.

Niño-Medina, G., J.D. Romo-Longoria, I.V. Ramírez-González, O.O. Martínez-Reyna and V. Urías-Orona. 2017. Phenolic Content and Antioxidant Capacity Level in Commercial Mexican Lager Beers. Journal of the American Society of Brewing Chemists. 75(2): 156-158.

Rodríguez-Fuentes, H. y J. Rodríguez-Absi. 2015. Métodos de análisis de suelo y plantas Criterios de interpretación. Ed. Trillas S. A. de C. V., México, D. F. 239 pp.

Rodríguez-Fuentes, H., J. Rodríguez-Absi, P. Almaguer-Sierra y J.C. Rodríguez-Ortiz. 2011. Cultivo hidropónico del Nopal. Ed. Trillas S.A. de C.V., México, D. F. 62 pp.

Samuolienė, G., R. Sirtautas, A. Brazaitytė and P. Duchovskis. 2012. LED lighting and seasonality effects antioxidant properties of baby leaf lettuce. Food Chemistry. 134(3): 1494-1499.

Shin, Y.S., M.J. Lee, E.S. Lee, J.H. Ahn, J.H. Lim, H.J. Kim, H.W. Park, Y.G. Um, S.D. Park and J.H. Chai. 2012. Effect of LEDs (light emitting diodes) irradiation on growth and mineral absorption of lettuce (Lactuca sativa L. 'Lollo Rosa'). Protected Horticulture and Plant Factory. 21(3): 180-185.

Tarakanov, I., O. Yakovleva, I. Konovalova, G. Paliutina and A. Anisimov. 2012. Light-emitting diodes: on the way to combinatorial lighting technologies for basic research and crop production. Acta Horticulturae. 956: 171-178.

Žukauskas, A., Z. Bliznikas, K. Breivė, A. Novičkovas, G. Samuolienė, A. Urbonavičiūtė, A. Brazaitytė, J. Jankauskienė and P. Duchovskis. 2011. Effect of supplementary pre-harvest LED lighting on the antioxidant properties of lettuce cultivars. Acta Horticulturae. 907: 87-90.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

PRODUCCIÓN DE TRES TIPOS DE CHILE EN SUELO CON ACOLCHADO PLÁSTICO COLOR VERDE Y GRIS

García-Álvarez, L.[1]; Lara-Herrera, A.[1*]; Avelar-Mejía, J.J.[1]; Lozano-Gutiérrez, J.[1]; Fierros-Rojo, J.L.; Hernández-Muñoz, C.A.[2]; España-Luna, M.P.[1]; Llamas-Llamas, J.J.[1]

[1]Unidad Académica de Agronomía de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Zacatecas, Zac., México.
[2]Empresa Peralta Produce. Gral. Pánfilo Natera, Zacatecas, México.

*Autor responsable: alara204@hotmail.com; Calle Jardín Juárez Núm. 147, Col. Centro, Zacatecas, Zacatecas. México. CP 98000; Tel. +52(492)-924-4147

Resumen

Con el fin de evaluar el rendimiento de tres tipos de chile (Ancho, Guajillo y Pasilla) y diversos cultivares criollos e híbridos de cada tipo de chile, en condiciones de un suelo con acolchado plástico color verde respecto a uno gris-plata, se llevó a cabo el presente trabajo de investigación. Se evaluaron ocho variedades criollas e igual número de cultivares híbridos, en cada tipo de color de acolchado. El experimento se llevó a cabo en Morelos, Zacatecas. En promedio entre los chiles del tipo guajillo y pasilla no presentaron diferencias en el rendimiento entre los cultivares criollos e híbridos, sin embargo, los cultivares de chile ancho híbridos presentaron mayor rendimiento que los criollos. En cada tipo de chile, se presentaron variedades criollas con cualidades destacadas y rendimiento comparable al de los híbridos. Respecto al efecto del acolchado plástico, no hubo diferencias en el rendimiento por efecto del color del acolchado, aunque en la etapa vegetativa se presentaron propiedades favorables en la temperatura del suelo en la zona de la raíz, durante el día el incremento de temperatura fue menor y en la noche el descenso fue menor.

Palabras clave: *Capsicum annuum*; Variedades de chile; Temperatura en la zona de la raíz

Introducción

En el estado de Zacatecas se cultivan 32,398.50 ha de chiles, con un rendimiento promedio de 7.94 t ha^{-1} y un valor de esa producción de 2,727,145,470 pesos (SIAP, 2018). Zacatecas es la entidad que ocupa el primer lugar en la producción de chile seco, los principales tipos de chile seco son: guajillo (61%), ancho (24%), pasilla (8%) y puya (6%). El valor de la producción de chile seco es de 3,865 millones de pesos, que representa 33% del PIB del sector primario de Zacatecas (Muñoz-Hernández, 2016). Las variedades de chile utilizadas en su gran mayoría han sido nativas, también llamadas criollas, pero en los años recientes se ha incrementado el uso de cultivares híbridos. Una alternativa para reducir la incidencia de maleza, tener mejor control en la humedad del suelo e incrementar el rendimiento, es el uso del acolchado plástico del suelo. Además de esos beneficios, el acolchado puede favorecer las condiciones ambientales del suelo en la zona de la raíz, particularmente la temperatura, mediante la cual se puede incrementar la actividad de las raíces y con ello favorecer el desarrollo de las plantas (Ramakrishna *et al*., 2006; Pramanik *et al*., 2015), adelantar la producción, incrementar el rendimiento y mejorar la calidad de los frutos de chile (Díaz-Pérez, 2010).

El color de los plásticos para acolchado influye en las condiciones térmicas del suelo (Díaz-Pérez, 2010; Quezada-Martín *et al*., 2011). En años recientes las empresas que suministran plásticos para acolchado ofertan nuevos colores de los plásticos, entre ellos el de color verde, al respecto Abu-Bakr y El-Balla (2003) reportan mayor temperatura del suelo con este color del plástico, el cual puede ser favorable para regiones templadas, como Zacatecas.

Con base en lo anterior, los objetivos de esta investigación fueron comparar el rendimiento de las variedades nativas de los principales tipos de chile guajillo, pasilla y ancho que se producen en el estado de Zacatecas, respecto a los cultivares híbridos, y evaluar el efecto del color del plástico para acolchado del suelo (verde respecto al gris-plata), en el desarrollo de las plantas y la producción de frutos.

Materiales y Métodos

El experimento se llevó a cabo en Morelos, Zacatecas, con coordenadas geográficas 22°52'21.1" latitud norte y 102°38'09.0" longitud oeste y una altitud de 2,348 m. En un suelo con textura franco-arcillo-arenosa, pH ligeramente alcalino (7.4), muy pobre contenido de materia orgánica, sin problemas de salinidad, contenido bajo de N, P, S y B y contenido medio de los demás nutrientes.

Fueron evaluadas ocho variedades de chile criollas (Cabañas, Toribio, Karenina, Vical, Loro, Romerillo1, Romerillo2 y Villa de Cos) versus ocho cultivares híbridos (Cardenal, Castillo, Edén, Impulso, Apatzeo, Ébano, Mosquetero y Sequoia), tres tipos de chile: guajillo, pasilla y ancho; los 16 cultivares (ocho criollos y ocho híbridos) en dos colores del acolchado plástico del suelo: color verde versus color gris-plata. Cada tratamiento se llevó a cabo por duplicado. Cada tratamiento consistió de una cama de 5 m, en la cual se encontraban 25 plantas. En un experimento en bloques completos al azar, con un arreglo en parcelas divididas, donde la parcela grande fue el color del acolchado plástico. Las plántulas de los 16 cultivares ensayados se desarrollaron en invernadero. El trasplante se llevó a cabo el día 11 de mayo de 2017, en suelo con acolchado plástico, la distancia de centro de cama a cama fue de 2 m, la distancia entre plantas fue de 40 cm, con dos hileras por cama distribuidas en tresbolillo, lo ancho de la cama que se cubrió con plástico fue de 70 cm. Los plásticos usados tuvieron 1.20 m de ancho y calibre 80, equivalente a 20 µm de grosor. Se instalaron censores de temperatura a 5, 10 y 20 cm de profundidad a lo largo de una hilera de las plantas.

Las variables evaluadas fueron porcentaje de plantas enfermas, porcentaje de plantas muertas, diámetro de la base del tallo principal, número de hojas, número de flores, número de frutos, peso por fruto, rendimiento de frutos y temperatura del suelo.

Resultados y Discusión

Se encontraron diferencias significativas para el factor cultivares de chile, se presentaron materiales híbridos sobresalientes en cada tipo de chile (guajillo, pasilla y ancho), así como cultivares nativos, en diversas variables (Cuadro 1), las cuales indican que son opciones recomendables para los productores de chile del estado de Zacatecas, en cada tipo de estos chiles ensayados, por lo menos un cultivar nativo (criollo) presentó adaptabilidad y rendimiento comparable a los cultivares híbridos.

Cuadro 1. Número de frutos por planta, peso fresco por fruto y rendimiento de frutos en fresco de chiles guajillos, pasillas y anchos de cultivares criollos e híbridos, en Morelos, Zac., en acochado plástico. Ciclo agrícola 2017.

Cultivares	Número de frutos	Peso por fruto (g)	Rendimiento de fruto (t ha^{-1})
Mosquetero (A/H) †	8.0 fg ‡	70.65 b	22.70 a
Ébano (A/H)	11.25 dfg	79.67 ab	18.76 ab
Sequoia (A/H)	6.5 g	91.64 a	17.48 abc
Loro (P/C)	11.5 defg	53.43 cd	17.36 abcd
Apatzeo (P/H)	13.5 defg	39.88 d	15.81 abcd
Romerillo 2 (A/C)	7.75 fg	72.72 b	13.68 bcd
Toribio (G/C)	21.3 abc	19.40 e	12.40 bcd
Cabañas (G/C)	19.5 abcd	21.39 e	12.30 bcd
Romerillo 1 /A/C)	6.25 g	72.58 b	12.16 bcd
Castillo (G/H)	22.3 ab	18.47 e	11.90 bcd
Cardenal (G/H)	22.8 ab	17.22 e	11.52 bcd
Villa de Cos (A/C)	5.5 g	93.58 a	11.43 bcd
Edén (G/H)	21.5 abc	18.34 e	11.32 cd
Impulso (G/H)	25.3 a	16.22 e	11.24 cd
Vical (G/C)	18.8 abcde	19.98 e	10.82 cd
Karenina (G/C)	15.3 bcdef	22.63 e	10.06 c

† A/H=Ancho/Híbrido; A/C=Ancho/Criollo; P/H=Pasilla/Híbrido; P/C=Pasilla/Criollo; G/H=Guajillo/Híbrido; G/C=Guajillo/Criollo.

‡ Medias con la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes (P≤ 0.05).

Los cultivares criollos tuvieron menor número de frutos por planta que los híbridos; el número de chiles tipo guajillo criollos fueron 18.7, mientras que los híbridos 23.0; la variedad de chile pasilla criolla tuvo 11.5 y el híbrido 13.5; en los chiles anchos criollos el número de frutos fue de 6.5 y en los híbridos de 8.6. Respecto a los pesos por fruto de chile, los mayores fueron los anchos con 79.6 g para los criollos y 80.7 g para los híbridos; le siguieron los chiles pasilla con 53.4 g para los criollos y 39.9 g para los híbridos; los guajillos tuvieron menor peso, los criollos pesaron 20.9 g y los híbridos 17.6. Los cultivares de chile ancho híbridos tuvieron un 44% de incremento respecto a los criollos, lo cual se debió al mayor número de frutos, no influyó el peso por fruto; sin embargo, en los chiles pasilla se tuvo un incremento de 10% con la variedad criolla; entre los cultivares híbridos y criollos de chiles guajillo no hubo diferencias en el rendimiento, es decir, el menor peso por fruto en los chiles híbridos se compensó con el mayor número de frutos (Cuadro 1).

El contraste entre el rendimiento de los cultivares criollos versus los hibridos de todos los tipos de chile ensayados, fue altamente significativo, los chiles híbridos tuvieron mayor rendimiento que los criollos.

El contraste que relaciona el rendimiento de los chiles guajillos criollos respecto a los guajillos híbridos no presentó diferencias estadísticas. Lo que indica que es más recomendable la producción de chiles guajillos criollos debido a que los productores cuentan con esa semilla, lo cual reduce los costos por este concepto y además, esas variedades están más adaptadas a las condiciones del lugar.

Entre los chiles anchos criollos y los híbridos, el contraste arrojó diferencias altamente significativas, con mayor rendimiento para los cultivares híbridos.

Entre los cultivares de chile pasilla criollo respecto al híbrido no hubo diferencia significativa en el rendimiento. Por lo cual es más recomendable producir variedades criollas, por razones prácticas y económicas, debido a que la semilla criolla la produce el productor y ha tenido mejor adaptación a esas condiciones donde se produce.

El acolchado plástico verde presentó propiedades más favorables para el desarrollo de las plantas, las cuales consistieron en menor cambio térmico entre el día y la noche, es decir, en el día el incremento de temperatura fue menor y en la noche el descenso de temperatura fue menor (Figura 1) que en el acolchado gris-plata; esto se observó principalmente en la etapa vegetativa, sin embargo, en la etapa reproductiva y principalmente al final del ciclo no hubo diferencias en el desarrollo de las plantas ni en número de flores ni de frutos, tampoco en el peso por fruto, ni en el rendimiento, por efecto del color del acolchado plástico del suelo. Las plantas desarrolladas en el acolchado verde presentaron mayor incidencia de insectos plaga, y específicamente de paratrioza (*Bactericera cockerelli* Sulc) (Lozano-Gutiérrez *et al*., 2018), lo cual pudo influir en la reducción del rendimiento.

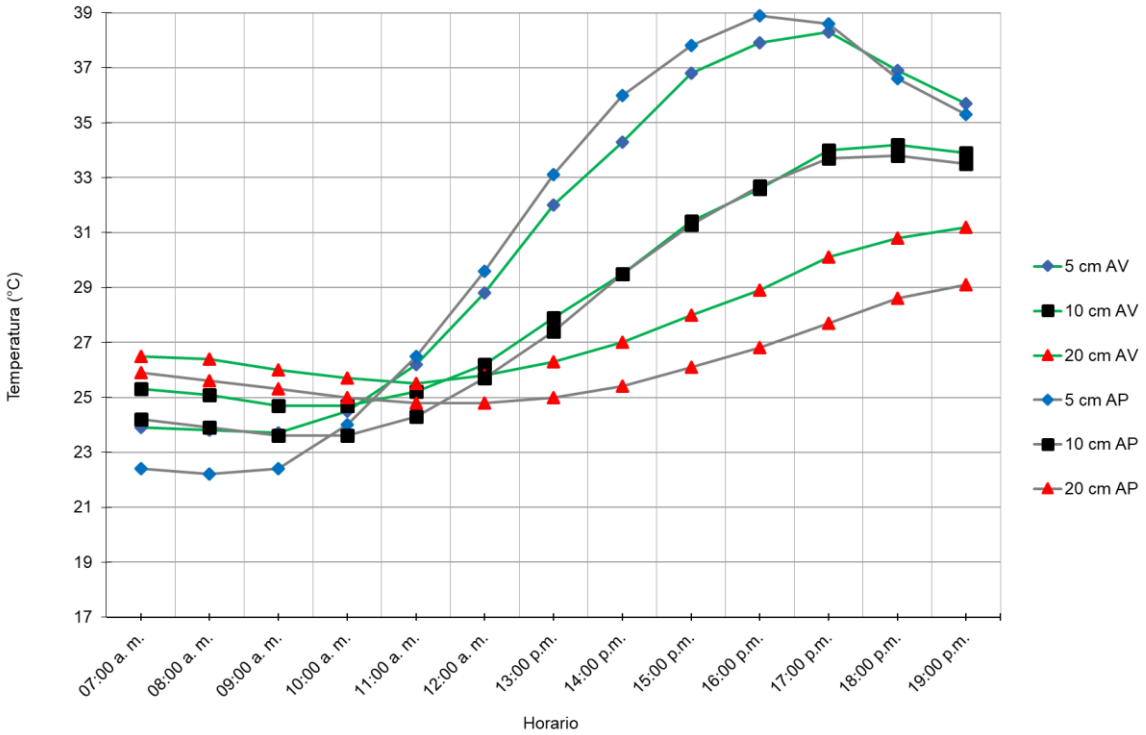


Figura 1. Temperatura del suelo por efecto del acolchado plástico color verde respecto al color gris-plata a 5, 10 y 20 cm de profundidad, en la tercera semana después del trasplante.

.

Conclusiones

Existió una variedad de chile guajillo y otra de pasilla criollas que presentaron rendimientos iguales a los cultivares híbridos. En los chiles anchos, los cultivares híbridos presentaron mayor rendimiento que los criollos. El acolchado plástico del suelo color verde presentó temperatura en la zona de la raíz más favorable para las plantas respecto al plástico gris-plata, pero al final del ciclo no se reflejó en mayor rendimiento de frutos de chile.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo brindado por parte del Consejo Estatal de Productores de Chile (CEPROCH) de Zacatecas A.C. y al Comité Estatal del Sistema Producto Chile A.C. para llevar a cabo el presente trabajo de investigación y al Sr. Israel Robles Cid por proporcionar sus tierras y agua de riego.

Referencias

Abu-Bakr, A., and M.M.A. El-Balla. 2003. Use of plastic mulch for better performance and yield of okra during winter in Sudan. U. of K. J. Agric. Sci. 11(2): 165-177.

Díaz-Pérez, J.C. 2010. Bell pepper (Capsicum annum L.) grown on plastic film mulches: effects on crop microenvironment, physiological attributes, and fruit yield. Hort Science. 45(8): 1196-1204.

Lozano-Gutiérrez, J., K.Y. Salas-López, A. Lara-Herrera, M.P. España-Luna, J. Balleza-Cadengo y C.A. Hernández-Muñoz. 2018. Bactericera cockerelli Sulc. 1909 (Hemiptera: Triozidae) en doce cultivares de chile en acolchados de color verde y gris-plata, en Morelos, Zacatecas, México. Revista Entomología Mexicana. 5: 354-357.

Muñoz-Hernandez, A. 2016. Competitividad de red chile seco en Zacatecas. El Economista. Consultado en línea en: https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Competitividad-de-Red-Chile-Seco-en-Zacatecas-I-20160525-0008.html

Pramanik, P., K.K. Bandyopadhyay, D. Bhaduri, R. Bhattacharyya, and P. Aggarwal. 2015. Effect of mulch on soil termal regimes – A review. International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology 8(3): 645-658.

Quezada-Martín, M.R., J. Munguía-López, L. Ibarra-Jiménez, M.A. Arellano-García, L.A. Valdez-Aguilar, B. Cedeño-Ruvalcaba. 2011. Fisiología y producción de pimiento morrón cultivado con diferentes colores de acolchado. Terra Lationoamericana. 29(4): 421-430.

Ramakrishna, A., H.M. Tam, S.P. Wani, and T.D. Long. 2006. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam. Field Crops Research. 95(2-3): 115-125.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2018. Crops data. [En línea] Disponible en: http://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119 (Consultado el 4 de Julio de 2018).

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

IMPACTO HIDROLÓGICO DEL SISTEMA MIAF EN EL ESTADO DE VERACRUZ

Arriaga-Vázquez, A.M.[1*]; Martínez–Menez, M.R.[2]; Fernández–Reynoso, D.S.[1], Delgadillo-Martínez, J.[1]; Vázquez-Alarcón, A. [2]

[1] Colegio de postgraduados-Montecillos. Texcoco, Estado de México. México.
[2]Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México.

* Ana Arriaga: arriaga.ana@colpos.mx; Km 36.5, Texcoco 5, México-Texcoco, Montecillos, Texcoco, Estado de México. México. CP 56230; Tel. 55 4278 2498

Resumen
El manejo agrícola del suelo en zonas de laderas del trópico húmedo de México, es responsable de los procesos erosivos e influye en las propiedades físicas y química del suelo que están relacionadas con las propiedades hídricas de los suelos y con los escurrimientos superficiales. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el impacto hidrológico en el Sistema de Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF) y compararlo con el sistema de manejo agrícola tradicional. Se muestrearon los suelos de las partes donadoras y receptoras del MIAF y de la milpa tradicional para determinar el tamaño de partículas y de agregados, las propiedades hidrodinámicas de los suelos y la velocidad del agua en el suelo. Los resultados indican que el sistema MIAF mejoró el estado de agregación de los suelos, el índice de estabilidad de agregados, la capacidad de retención del agua en el suelo y la velocidad inicial del agua en la zona de recepción y filtro de sedimentos, en comparación con la zona media y donadora de sedimentos de la zona de agricultura de temporal.

Palabras clave: estabilidad de agregados; infiltración; propiedades hídricas del suelo

Introducción
El Sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF) con su filtro de residuos de cosecha y los arboles establecidos a curva a nivel, permiten un aprovechamiento integral del suelo, el agua, la luz solar, la mano de obra familiar, la captura de carbono, reducción de la erosión de suelos y la actividad microbiana que es básica para mejorar la calidad de los suelos (Cortés *et al*., 2010; Ruiz *et al.*, 2012). El sistema MIAF se conforma de las zonas donadoras y receptoras de sedimentos y de un filtro de residuos de cosecha aguas arriba de los árboles frutales que permiten el paso de los escurrimientos y retención de los sedimentos que con el tiempo tienden a conformar un bancal (Cortés et., 2010). En el MIAF se espera que existan diferencias de los suelos de la zona donadora y receptora de sedimentos por la acumulación de material fino, materia orgánica, la formación de agregados estables a los procesos de secado y humedecimiento que se asocia con la estructura del suelo ya que favorece el flujo de aire, de agua (infiltración) y de nutrientes entre los espacios porosos, que ofrecen una mayor resistencia a las prácticas de laboreo, al impacto de la lluvia y del viento y a la compactación del suelo por el uso de maquinaria agrícola (Meza y Geissert, 2003). Algunos factores que afectan la estabilidad del suelo es el contenido de materia orgánica, ya que a mayor es la cantidad de materia orgánica los agregados tiendes a ser más estables (Zeng *et al*., 2018) y la estabilidad de agregados se considerada un indicador sensible de tendencias a la recuperación o degradación de los suelos y un mejorador de las propiedades hídricas de los suelos (Gabioud *et al*., 2011).

La pérdida de estabilidad estructural en los suelos del sistema MIAF está relacionada con los efectos del laboreo del suelo, debido a que los agregados del suelo están sujetos a múltiples fuerzas disruptivas relacionadas con la labranza, la abrasión por el flujo del agua y del viento, el golpeteo de las gotas de lluvia y los ciclos de humedecimiento y secado (Collis-George y Figueroa, 1984), así como a la posición de los suelos dentro del sistema MIAF. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la distribución del tamaño de partículas, el tamaño y estabilidad de agregados en húmedo y en seco de los suelos y la variación de la capacidad de infiltración y de retención del agua en el suelo en las zonas donadoras y receptoras del MIAF y compararlos con la zona de maíz tradicional después de 14 años de establecido el sistema en el trópico húmedo.

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en la comunidad Axochío en el municipio de San Andrés Tuxtla, Veracruz, entre las coordenadas 95º 17´ 57.7´ O y 18º 20´ 50.5´´ N a 63 msnm, el clima de la región es cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw2) con una precipitación media anual de 2000 mm (Turrent *et al.*, 1995), suelo es un Cambisol con textura franco arcillosa.

Se tomaron muestras de suelo de parcelas con diferente manejo establecidos en el ciclo primavera-verano de 2003: a) sistema MIAF, con hileras de frutal de chicozapote y cultivo intercalado maíz-frijol, labranza mínima con tracción mecánica y b) labranza tradicional con patrón de cultivo maíz-maíz, labranza mínima con tracción mecánica. El muestreo de los suelos del sistema MIAF se realizó en junio de 2017, en tres transectos de cuatro zonas dentro del sistema MIAF; zona receptora (ZR), zona media (ZM), zona donadora (ZD) y el filtro de escurrimiento (F), tomadas en sentido perpendicular a la pendiente (Figura 1). En la parcela con labranza tradicional (LT) considerada como testigo se tomaron tres puntos muestreo (parte alta, media y baja de la parcela).

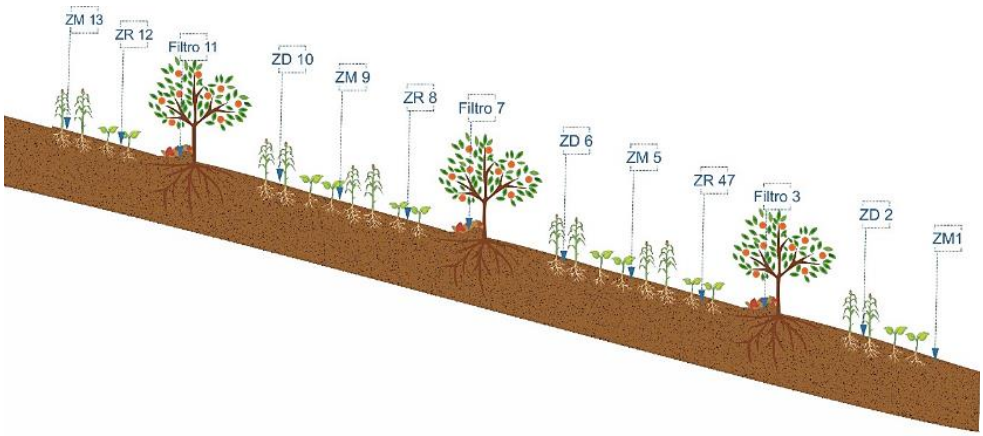


Figura 1. Posición de los sitios de muestreo en el módulo MIAF, San Andrés Tuxtla, Veracruz.

La distribución de tamaños de partículas se realizó con el método de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962), el tamaño de agregados se determinó con el método de tamizado en seco (Savinov, 1936) y las estabilidad de agregados en tamizado en húmedo (Yoder, modificado por Kemper y Rosenau, 1986), la capacidad de retención de humedad, a capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) (33>1500 kPa) se determinaron con el método de la olla y membrana de presión (Richards,

1948) y la velocidad de infiltración y la infiltración acumulada se estimó con el método del doble cilindro.

Resultados y Discusión

La distribución del tamaño de partículas muestra que en el MIAF predomina la fracción de limos que son las partículas más fáciles de transportar por el escurrimiento (Wischmeier y Smith, 1979) y no se aparecía un cambio en la fracción de arcilla y las arenas predominan en la labranza tradicional. En las zonas de muestreo del sistema MIAF (F, ZM, ZD y ZR) no se muestra una clara tendencia de los cambios de contenidos de arenas, limos y arcillas, ya que se esperaría que en la ZR y F predominaran las fracciones más finas y en la ZD las más gruesas (Cuadro 1), sin embargo, esta información coincide con lo reportado por Salinas S, R (2015).

Cuadro 1. Tamaños de partículas en los diferentes sitios de muestreo del MIAF

Sitio de muestreo	% Arena	% Limo	% Arcilla
Zona filtro (F)	31.07	24.32	44.61
Zona media (ZM)	31.98	20.14	47.89
Zona donadora (ZD)	28.66	22.36	48.97
Zona receptora (ZR)	34.80	22.10	43.09
Labranza tradicional (LT)	36.64	16.79	46.57
MIAF (promedio)	31.63	22.23	46.14

El tamaño promedio de los agregados del suelo en seco y en húmedo es mayor en el MIAF en comparación con el testigo y en el sistema MIAF es claro que en la zona F se tienen los diámetros medios ponderados (DMP) tanto en seco con húmedo lo cual se explica por la acumulación de materia orgánica en esta zona (Cuadro 2).

Los resultados de DMP del suelo muestran que que existen diferencia significativa en cada uno de los sitios de muestreo. Para el DMP en la prueba en seco indican que los suelos son muy estables, mientras que los resultados de la prueba en humedo indican que los suelos son estables a excepcion de F que es muy estable con un DMP de 2.51 mm según la clasificación de Le Bissonnais (Le Bissonnais, 1996), es decir son suelos capacidad de resistir la infiltracion de agua (Barthes y Roose, 2002).

El indice de estabilidad estructural promedio de los sitios de muestreo del sistema MIAF es mayor que el obtenido en los suelos del sistema tradiccional lo que indica que los suelos se vuelven mas estables. Sin embargo, en la ZM y ZD el indice de establidad pormedio tiende a disminuir y solo en el caso de la zona F alcnaza su mayor valor (Cuadro 2). La estabilidad estructural de los suelos es un indicador de una alta capacidad de infiltración del agua en suelos que se explica por la acumulación de material fino y de materia organica como zona de acumulación de sedimentos como fue reportado por Sanchez, S, R (2015).

Cuadro 2. Diamétro medio ponderados de agregados secos y húmedos y el indice de estabilidad

Sitio de muestro	DMP		Índice de estabilidad estructural
	Seco	Húmedo	
Zona filtro (F)	2.93b	2.51a	2.39
Zona media (ZM)	2.62ba	1.56cb	0.95
Zona donadora (ZD)	2.92a	1.84b	0.93
Zona receptora (ZR)	2.09b	1.20b	1.12
Labranza tradicional (LT)	2.34ba	1.36cb	1.02
MIAF (promedio)	**2.64**	**1.78**	**1.35**

Las propiedades hidrodinámicas promedio de los suelos bajo el sistema MIAF muestran una mayor capacidad de retención del agua en relación con los suelos con labranza tradicional y fue el sitio F que reporto los valores de capacidad de campo más altos dentro del sistema MIAF (Cuadro 3).

Cuadro 3. Propiedades hidrodinámicas de los suelos del sistema MIAF y Tradicional

Sitio de muestreo	PMP	CC	*CRAS ($cm.m^{-1}$)
Zona Filtro (F)	23.32	38.09	19.20
Zona media (ZM)	21.52	33.73	15.87
Zona donadora (ZD)	25.17	38.27	17.02
Zona receptora (ZR)	17.42	30.38	16.84
Labranza Tradicional (LT)	23.40	31.77	10.89
MIAF promedio	**21.86**	**35.12**	**17.24**

La velocidad de infiltración inicial más alta se presentó en la zona F, seguida de la zona de ZR de los árboles frutales y fue la zona ZD la que reporto los valores más bajos aun que los suelos de la agricultura de temporal (Figura 2). La infiltración básica de los suelos es muy similar en todos los sitios de muestreo, lo que indica que hay una tendencia a ser un constante. Esto sugiere que, para tormenta de alta intensidad inicial, el sistema MIAF tiene la capacidad de propiciar la infiltración del agua del suelo (Figura 2).

La infiltración acumulada del agua en el suelo muestra que la zona F y la labranza de tradicional fue muy similar y ligeramente menor que la reportada para la zona ZR que es donde se acumula la materia orgánica y las partículas más finas de sedimentos (Figura 2).

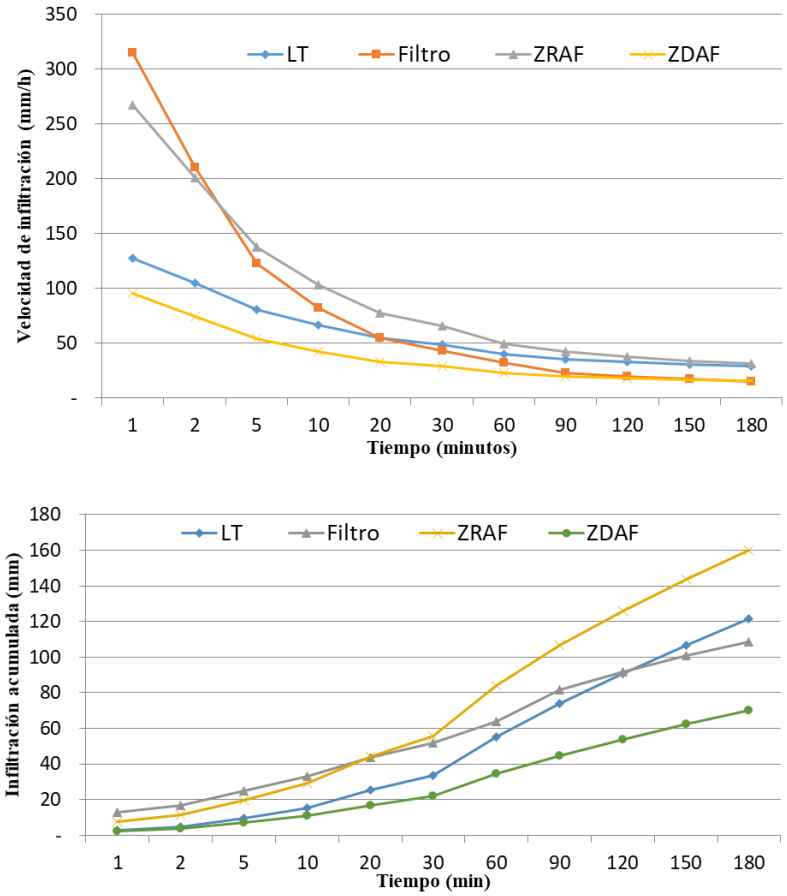


Figura 2. Velocidad de infiltración e infiltración acumulada en los diferentes sitios de muestreo

Las propiedades hidrodinámicas de los suelos bajo el sistema MIAF muestran su capacidad para retener y desalojar los escurrimientos a través del filtro colocado aguas arriba de los árboles frutales y de la estabilidad estructural de los suelos que permite las altas tasa de infiltración del agua en el suelo.

Conclusiones

El sistema MIAF es eficiente para mejorar las propiedades hidrodinámicas de los suelos con una alta capacidad de almacenamiento del agua en el suelo y paso del agua a través del perfil del suelo.
El MIAF propicia la formación de agregados estables la zona de recepción de sedimentos y del filtro que contrasta con la zona media y donadora, por lo que es necesario realizar prácticas de manejo para uniformizar las propiedades de los suelos del sistema.

Referencias

Barthes, B. and Roose, E., 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. Catena 47: 133-149

Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils1. Agronomy Journal, 54(5): 464.

Cortés, J. I.; Torres, J.P.; Turrent, A.; Hernández E.; Ramos A. y L. Jiménez, (2012) Manual actualizado para el establecimiento y manejo del sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en laderas. Colegio de Postgraduados, México.

Collis-George, N. and Figueroa, B.S. 1984. The use of soil moisture characteristics to assess soil stability. Australian Journal of Soil Research. 22:349-356.

Gabioud, E. A., Wilson, M.G., Sasal, M. C. 2011. Análisis de la estabilidad de agregados por el método de le bissonnais en tres órdenes de suelos. Ciencia del suelo, 29 (2):129-13

Kemper, W. D. and R. C. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. pp. 425–442. In: A. Klute (ed.). Methods of soil analysis. Agronomy 9. American Society of Agronomy. Madison, WI, USA.

Le Bissonnais, 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology European Journal of Soil Science 47:425-437

Meza P., E., Geissert K., D. 2003. Estructura, agregación y porosidad en suelos forestales y cultivados de origen volcánico del Cofre De Perote, Veracruz, México. Foresta Veracruzana 5(2):57-61

Richards, L.A., 1948. Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. Soil Science, 66(2): 105–110.

Ruiz, A., Jiménez, L., Figueroa, O. y Morales, M. Adopción del sistema milpa intercalada en árboles frutales por cinco municipios mixes del estado de Oaxaca. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 3 (8): 1605-1621, 2012.

Salinas, S,R. 2005. Caracterización topográfica, física y de fertilidad de un suelo de ladera manejado con el Sistema de Milpa Intercalado con Árboles Frutales durante cinco años. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados.

Savinov, N. O. 1936. Soil physics. Sielchozgiz Press. Moscow, URSS.

Velásquez, V., M. A., Sánchez C., I., Gutiérrez L., R., Muñoz V, J. A., and Macías R., H. 2014. Hydrological impact of land-use change from rangeland to buffelgrass -(*Pennisetum ciliare L.*) pasturer. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas 8(2): 47 - 58.

Zeng, Q., Darboux F., Man C., Zhu Z. and An S. 2018. Soil aggregate stability under different rain conditions for three vegetation types on the Loess Plateau (China). Catena 167:276-283

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

SIMULACIÓN DE LA ALTURA Y LA BIOMASA DE TALLOS DE TOMATE MEDIANTE DINÁMICA DE SISTEMAS

López-Aguilar, Kelvin[1]; Morelos-Moreno, Alvaro[2*]; González-Morales, Susana[2]; Benavides-Mendoza, Adalberto[3]; Juárez-Maldonado, Antonio[3]; Chiñas-Sánchez, Pamela[4]

[1]Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. [2]CONACYT-UAAAN. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. [3]Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. [4]COMIMSA-CONACYT.
*Autor responsable: amorelosmo@conacyt.mx; Calzada Antonio Narro, No. 1923, Col. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. CP 25315; Tel. +52(844)-411-0304

RESUMEN
Se describe la dinámica de sistemas para simular la altura y la biomasa de tallos de tomate cultivado en un invernadero de mediana tecnología en sustrato de turba con perlita 50:50 (V/V) y en suelo calcáreo. Se construyó un modelo de simulación en el software Stella V.10, compuesto por un submodelo de clima que considera los grados día a partir de las temperaturas acumuladas, y un submodelo de cultivo que incluye las variables de altura y peso seco de tallos. El modelo se alimentó con ecuaciones obtenidas, de relacionar las variables de altura y peso seco de tallos con la variable independiente grados días de desarrollo. Los datos simulados se relacionaron con los datos experimentales con coeficientes de determinación de 0.94 en sustrato y 0.92 en suelo para la altura, y para el peso de tallos de 0.97 y 0.87, respectivamente. El modelo simuló aceptablemente la altura y la acumulación de materia seca en tallos durante el ciclo del cultivo.
Palabras clave: Modelo; simulación; crecimiento.

INTRODUCCIÓN
Un modelo de simulación es un conjunto de ecuaciones que representa procesos, variables y relaciones entre las variables de un fenómeno del mundo real y proporciona indicios aproximados de su comportamiento bajo diferentes manejos de sus variables (Pérez-Maqueo *et al*., 2006). Los modelos de simulación de cultivos integran el conocimiento de varias disciplinas y pueden ser aplicados a una amplia gama de ambientes agrícolas para simular el crecimiento del cultivo, predecir rendimiento potencial y adaptar sistemas de manejo, de tal manera que pueden ser usados como herramienta de investigación, ayuda en la toma de decisiones y en las labores de planeación (Naab *et al.*, 2004; Hernández *et al*., 2009). La mayoría de los modelos empleados en agricultura cuando se comparan con datos reales muestran un aceptable desempeño, como es el caso de Castellaro *et al*. (2007), quienes obtuvieron resultados predichos similares a los valores reales cuando modelaron diferentes alternativas pratenses con diferentes sistemas de manejo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para construir el modelo dinámico de crecimiento se utilizó el software Stella V.10 y se alimentó con ecuaciones que se obtuvieron al relacionar la variable grados días de desarrollo con las variables de altura y peso seco de tallos.

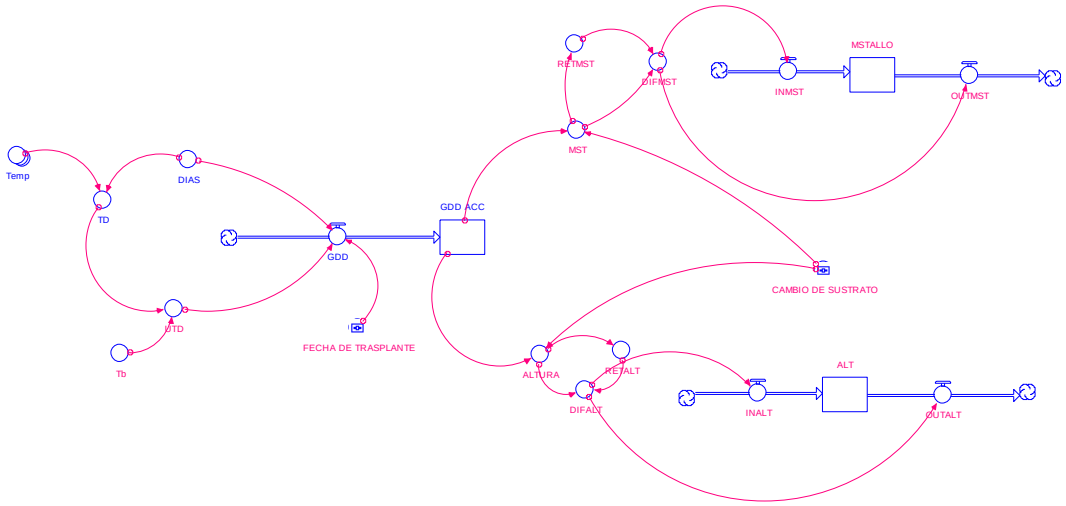


Figura 1. Modelo dinámico para predecir la altura y peso seco de tallos: (izquierda) clima, (derecha) cultivo.

Altura: Esta variable de estado acumula el crecimiento de la planta en (m) por día con la siguiente ecuación:

$$ALT(t+1) = ALT(t) + (INAL - OUTALT)*dt \quad (1)$$

Para calcular la altura se relacionó la variable independiente GDD_AC con la variable ALT para encontrar las ecuaciones de mejor ajuste (modelo de modificación geométrica) que describen el incremento de la altura del cultivo (Cuadro 1).

Materia seca de tallos: Para estimar la cantidad de materia seca en tallos se utilizó la ecuación 2, a partir de la fecha de trasplante del cultivo, el modelo estima día con día el incremento de materia seca.

$$MST(t+1) = MST(t) + (INMST - OUTMST)*dt \quad (2)$$

donde MST es la variable de estado donde se acumula la cantidad de materia seca en tallos e INMST-OUTMST es la diferencia del incremento de materia seca respecto al tiempo (t), MST se calculó al relacionarla con la variable independiente GDD_AC obteniendo como resultado ecuaciones no lineales (modelo de modificación geométrica) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Ecuaciones utilizadas por el modelo para estimar la ganancia de altura y peso seco de tallos.

Tratamiento	Ecuación	r^2
Sustrato	ALT = 3.25E-04*GDD_AC^1.205	0.92
Suelo	ALT = 4.96E-05*GDD_AC^1.45	0.85
Sustrato	MST = 50127.349*GDD_AC^(-650.834/GDD_AC)	0.96
Suelo	MST = 51624.523*GDD_AC^(-662.586/GDD_AC)	0.81

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura: La predicción de la altura del cultivo se presenta en la Figura 2. es la comparación entre valores simulados con los valores observados. La altura del cultivo establecida en sustrato fue quien presentó una mayor elongación celular teniendo una altura máxima de 2.48 m (Figura 2a), datos similares encontró Núñez-Ramírez *et al*. (2012) con una altura de 2.86 bajo condiciones de invernadero; y el cultivo establecido en suelo calcáreo mostró una altura de 2.43 m (Figura 2b). Se observa que el modelo subestima los valores experimentales en el tratamiento de sustrato, y simula correctamente la altura del cultivo en el tratamiento con suelo calcáreo.

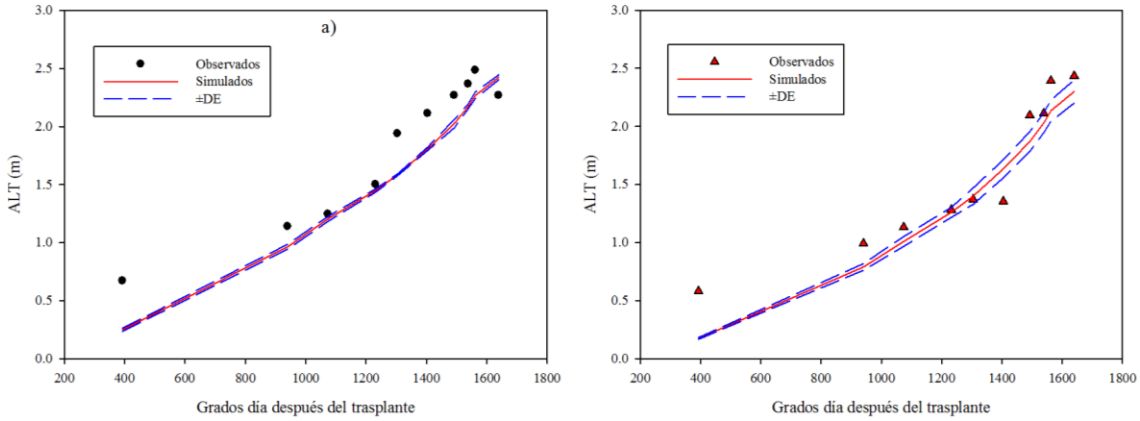


Figura 2. Altura del cultivo en (m) de acuerdo a datos observados y simulados: (a) sustrato, (b) suelo.

Cuadro 2. Valores máximos de la altura simulada y observada.

Tratamiento	Observado	Simulado	r^2
Sustrato	2.48	3.06	0.94
Suelo	2.43	2.82	0.92

Peso seco de tallos: Esta variable se caracterizó por presentar baja acumulación hasta después de los 1040 GDD, después la planta empezó de manera acelerada acumular masa seca en tallo llegando a obtener un máximo de 2575.15 $kg.ha^{-1}$ (Cuadro 3) a los 1569 GDD (304 día juliano) esto fue para el cultivo en sustrato (Figura 3a), donde el modelo simuló correctamente con respecto a los datos experimentales ajustándose con un coeficiente de determinación de 0.97, y para el cultivo en suelo (Figura 3b) la acumulación de materia seca

en tallo se incrementó hasta 2820.07 kg.ha^{-1} (Cuadro 3) con 1639 GDD que fue hasta el final del ultimo muestreo que se llevó a cabo el 311 día juliano, donde el modelo ajustó aceptablemente con un coeficiente de determinación de 0.87.

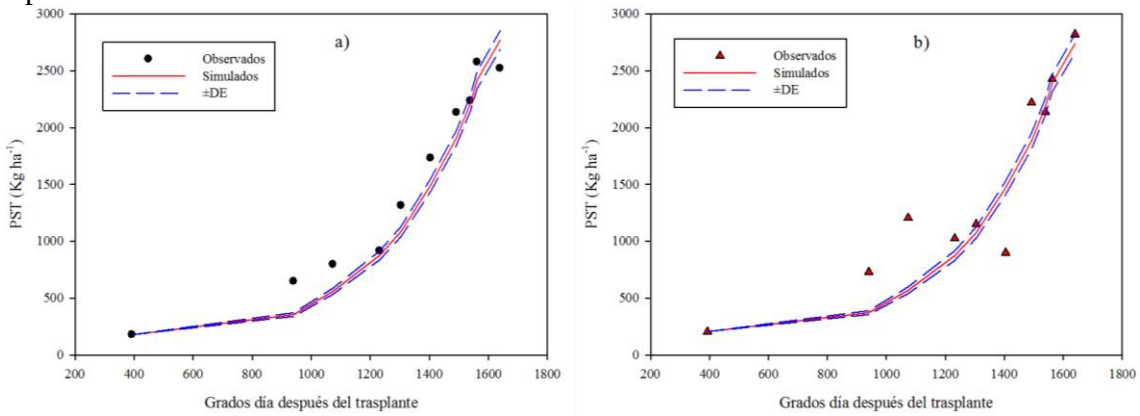


Figura 3. Peso seco de tallos (kg.ha^{-1}) de acuerdo a datos observados y simulados: (a) sustrato, (b) suelo.

Cuadro 3. Valores máximos del peso seco de tallos simulado y observado.

Tratamiento	Observado	Simulado	r^2
Sustrato	2575.15	2768.27	0.97
Suelo	2820.08	2738.69	0.87

CONCLUSIONES

El modelo dinámico simuló aceptablemente la altura del cultivo y el incremento de materia seca en función de los grados días de desarrollo que se calcularon durante el ciclo del cultivo a partir de las temperaturas diarias promedio.

REFERENCIAS

Castellaro GG, Klee GG y Chavarría RJ. 2007. Un modelo de simulación de sistemas de engorda de bovinos a pastoreo. Agricultura Técnica, 67: 163-172.

Hernández N, Soto CF, y Caballero CA. 2009. Modelos de simulación de cultivos: Características y usos. Cultivos Tropicales, 30(1): 73-82.

Naab JB, Singh P, Boote KJ, Jones JW and Marfo KO. 2004. Using the CROPGRO-Peanut model to quantify yield gaps of peanut in the Guinean Savanna Zone of Ghana. Agron. J. 96: 1231-1234.

Núñez-Ramírez F, Grijalva-Contreras RL, Macías-Duarte R, Robles-Contreras F y Ceceña-Duran C. 2012. Crecimiento, acumulación y distribución de materia seca en tomate de invernadero. Biotecnia, 14(3): 25-31.

Pérez-Maqueo O, Delfín C, Fregoso A, Cotler H y Equihua M. 2006. Modelos de simulación para la elaboración y evaluación de los programas de servicios ambientales hídricos. Gaceta Ecológica, 78: 65-84.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

DISEÑO DE PLAN DE MANEJO A ESCALA DE PREDIO PARA MAIZ DE TEMPORAL EN LOS ALTOS DE JALISCO

Alfaro-Hernández, L.[1]; Flores-López, H.E.[*2]; De La Mora-Orozco, C.[2]; Pérez-Domínguez, J.F.[2]; Piña Avalos, M.S.[3]

[1]**Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez. Campus Arandas, Arandas, Jalisco. México.**
[2]**Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Tepatitlán de Morelos, Jalisco. México.**
[3]**Syngenta Agro SA de CV, Guadalajara, Jalisco.**

*Autor responsable: flores.hugo@inifap.gob.mx; Av. Biodiversidad # 2470, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. CP 47600; Tel. +52(01800)-088-2222 ext. 84530

Resumen

La tecnología actual recomendada para maíz es con base en paquetes tecnológicos para amplias zonas agrícolas con alto uso de insumos y rendimiento variables en tiempo y espacio, con aumento en el costo de producción e impacto al medio ambiente. El presente trabajo plantea integrar los elementos agroecológicos en un predio sembrado con maíz de temporal, donde se diseña el plan de manejo agronómico de maíz que permita la producción sustentable y el logro del rendimiento meta en los Altos de Jalisco. E plan de manejo agronómico fue diseñado para maíz de temporal con tres tipo de información: 1) información agroecológica disponible a escala de predio en los altos de Jalisco, 2) la selección del hibrido de maíz a sembrar y 3) Análisis de suelos, recomendación de fertilización y prueba del plan de manejo. El método se evaluó con la comparación del rendimiento de parcelas con dos fechas de siembra (FS) y tres rotaciones de cultivo (RC): maíz-maíz, maíz-agave tequilero y maíz-pasto, con meta de rendimiento de 9 t/ha. En la primera FS se superó el rendimiento meta, pero en la segunda FS sobre en la RC maíz-pasto se logró. Este resultado se atribuye a la menor cantidad de lluvia en la segunda FS y las propiedades físicas del suelo en estas RC. Es necesario hacer ajustes a la selección del hibrido para FS retrasadas, mejorar el contenido de MO, utilizar prácticas de manejo que permitan la conservación de agua y la meta de rendimiento de 10 a 12 t/ha.

Palabras clave:

Desarrollo sustentable, maíz, modelo agroecológico.

Introducción

El estado de Jalisco es el principal productor de maíz de temporal en México, con más 540 mil hectáreas sembradas y un rendimiento promedio de 5.37 t/ha (SIAP-SAGARPA, 2018). Sin embargo, el rendimiento muestra alta variación año tras año, causada principalmente por efectos climáticos como la cantidad y distribución de la lluvia (Flores-López *et al.*, 2011). Aunque esta condición es común en la agricultura de temporal hace del maíz un cultivo de alto riesgo de producción. Dada la complejidad de la agricultura de temporal se requiere del diseño de planes de manejo a escala de predio que involucren condiciones del clima, características de suelo, maíces adaptados a la zona agrícola y tecnología de producción, con el mínimo de factores abióticos que limiten el rendimiento y se controlen los factores bióticos que lo reducen. En este contexto, la caracterización de los genotipos de maíz y las condiciones abióticas (clima y suelo) son fundamentales para el diseño del plan de manejo agronómico del cultivo de maíz a escala de predio.

La caracterización del clima requiere la disponibilidad de Grados-Día de Desarrollo (GDD) en la estación de crecimiento (EC) por disponibilidad de humedad y temperatura para genotipo de maíz

adaptados a zona productora (FAO, 1981). Al respecto Flores-López *et al.* (2017) presentan la caracterización con GDD de híbridos de maíz sembrados en Jalisco, con resultados mostrados en el Cuadro 1. La aplicación de los Grados Día de Desarrollo para híbridos comerciales de maíz permite mejorar el desarrollo de planes de manejo en sistemas de cultivo acorde a las condiciones ambientales a que se sujeta el predio de producción, con la que se puede seleccionar el híbrido, la fecha de siembra, la localidad más adecuada al maíz, la fecha de cosecha, la predicción de actividades de operación agrícola, estimar la duración del ciclo del cultivo, el control de organismos dañinos de acuerdo con las recomendaciones del plan de manejo recomendado para el sitio.

Cuadro 1. Grados Día de Desarrollo (GDD) promedio de tres fechas de siembra, para 15 híbridos comerciales de maíz obtenidos en la Barca, Jalisco. PV-2017 (Flores-López *et al.*, 2017).

HIBRIDO	VE	V4	V8	V12	VT	R1	R2	R3	R4	R5	R6
ARTILLERO	76	296	496	628	778	785	919	1002	1139	1271	1405
CRM-28	76	297	479	629	734	748	888	978	1088	1227	1380
CRM-52	76	297	474	626	799	810	913	1003	1126	1301	1406
DK-2027 Y	76	296	487	629	763	777	903	975	1093	1226	1384
DAS- 3359	76	293	489	628	776	780	908	998	1104	1233	1408
H-375	76	293	484	615	822	827	921	1014	1111	1289	1413
H-377	76	285	466	618	809	816	952	1052	1123	1270	1391
H-380 A	76	308	496	582	799	805	923	990	1098	1262	1405
H-384 A	76	300	468	628	807	815	933	999	1127	1300	1415
H-386 A	76	306	515	632	813	820	930	1023	1119	1263	1388
NB-21	76	296	477	622	774	778	896	961	1207	1231	1403
OCELOTE	76	293	500	620	713	717	850	932	1038	1183	1348
P-3164W	80	302	490	606	781	785	880	1000	1100	1221	1354
XR-45	76	293	500	617	778	789	916	998	1118	1260	1404
XR-49	76	308	480	628	776	780	915	987	1121	1275	1389

Las características edáficas de los predios de maíz requieren un análisis de suelo para identificar las características físicas, químicas y de fertilidad de suelo del sitio. Esta información es importante para identificar factores limitantes del suelo y la recomendación de la dosis de fertilización para maíz. La recomendación de la fertilización en dosis, oportunidad de aplicación, colocación del producto y selección del producto, para lo cual puede utilizarse el modelo de balance para determinar la dosis de fertilizante requerida en el sitio. Desde un punto de vista sustentable, se recomienda utilizar las fuentes de nutrientes locales, como son los estiércoles de bovino y gallina, que localmente son abundantes (FAO, 2003).

Es necesario amortiguar las influencias negativas del ambiente y una manera es el uso de prácticas de manejo agronómicas asociadas con los criterios de eficiencia del productor (Villarreal *et al.*, 2000). Una de estas prácticas es la labranza de conservación (Verhulst *et al.*, 2015), identificada como opción viable para mantener la sustentabilidad del sistema de maíz de los Altos de Jalisco.

El objetivo del presente trabajo fue integrar los elementos agroecológicos a que está sujeto un sitio para la producción de maíz de temporal, para diseñar un plan de manejo que permita la producción sustentable del cultivo y lograr el rendimiento meta propuesto, en predios de los Altos de Jalisco.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio. Los Altos de Jalisco se localizan al noreste de Jalisco, como se muestra en la Figura 1.

Clima. La región de los Altos de Jalisco tiene una altitud promedio de 1841 msnm. En el periodo de mayo a octubre y anual, la temperatura máxima fue de 27.8°C y 26.7°C, respectivamente; la

temperatura mínima fue de 12.4°C y 9.2°C, respectivamente. La lluvia promedio en el periodo de mayo a octubre es de 605.5 mm y anual es de 671.8 mm (Flores-López *et al*., 2012).
Suelo. La distribución de las principales unidades de suelo, de acuerdo con la clasificación edafológica de FAO son Planosoles, Feozem, Luvisol y Litosol, los cuales representan el 79% de las unidades edafológicas en la región.

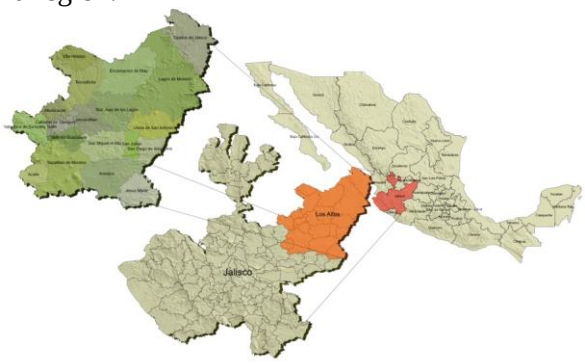


Figura 1. Localización de los Altos de Jalisco.

Metodología

Diseño del plan de manejo agronómico para maíz de temporal. El modelo de diseño para el plan de manejo agronómico para maíz de temporal integró tres tipos de información: 1) información agroecológica disponible a escala de predio en los altos de Jalisco, 2) la selección del hibrido de maíz a sembrar y 3) Análisis de suelos, recomendación de fertilización y prueba del plan de manejo.

1) Disponibilidad de condiciones agroecológicas para la producción de maíz. Esta información requirió la caracterización agroclimática del sitio en la EC; se utilizó datos decenales de temperatura máxima y mínima, lluvia y evaporación de la estación climatológica más cercana al predio para definir la estación de crecimiento por disponibilidad de humedad y temperatura. Con esta información se elaboró un balance hídrico decenal, descrito por Flores y Ruíz (1998). Este balance hídrico requiere conocer la evapotranspiración potencial (ETP) estimada con el método del tanque de evaporación (Allen *et al.*, 1998), la profundidad del suelo que fue obtenido de la base de datos con los perfiles de suelo de INEGI, la capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente del suelo para calcular la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo del sitio. El balance hídrico permitió calcular un índice de humedad que relacionó la evapotranspiración real (ETR) con la ETP, en la expresión $IH = \frac{ETR}{ETP}$.

2) Selección del híbrido a sembrar. En la EC se estimaron los GDD efectivos cada decena del mes, con el método residual en la expresión: $GDD = \left[N\left(\frac{T_{max}-T_{min}}{2} - Tb\right)\right] IH$, donde N es la duración de la decena en el mes, Tmax es la temperatura máxima y Tmin es la temperatura mínima de cada decena, Tb es la temperatura base del maíz considerada de 10°C. La EC consideró la probabilidad de ocurrencia de la primera helada al 90 por ciento de excedencia. Esta información agroecológica y el cálculo del balance hídrico se concentra en hoja de cálculo EXCEL, con la que se plantea el plan de manejo de maíz.

3) Análisis de suelos, recomendación de fertilización y prueba del plan de manejo. Los resultados del análisis de suelos pata cada parcela de prueba con los parámetros más importantes se presentan en el Cuadro 2.

Recomendación de la dosis de fertilización. Se utilizó el Sistema de Recomendación de Fertilización parta el maíz de temporal. Este sistema se basa en el modelo de balance de nutrientes con base en la meta de rendimiento meta a obtener y el análisis de suelo del sitio.

Prueba del plan de manejo para maíz de temporal. En el ciclo del temporal de 2017 se establecieron parcelas de aproximadamente 3,000 m^2 cada una; fueron sembradas con el hibrido NB-21, en dos fechas de siembra (11 y 23 de junio). La localidad de prueba fueron terrenos del Campo Experimental Centro Altos de Jalisco de INIFAP, en Tepatitlán, Jalisco. Se utilizó información climatológica de la estación La Red, de la red climática de la CNA. Al final del ciclo del maíz, se midió el rendimiento de grano en cada parcela de prueba. El control biótico se realizó con el programa Incrementa de Syngenta.

Cuadro 2. Resultados de análisis de suelos utilizados en tres parcelas sembradas con maíz en el ciclo de temporal 2017. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco.

Parámetro analizado	Rotación maíz-maíz	Rotación maíz-agave	Rotación maíz-pasto
pH	6.43	6.26	6.52
CE (dS/m	0.68	0.44	0.75
CC (%)	25.6	22.8	27.1
PMP (%)	15.2	13.6	16.1
Da (g/cm3)	0.89	1.03	0.88
MO (%)	2.26	1.6	5.58
NO3 (ppm)	24.2	26.9	29.9
P Bray (ppm)	88.1	23.9	28.4
K (ppm)	416	335	481
Meta de rendimiento (t/ha)	9	9	9
Dosis recomendada NPK	162-72-72	141-72-72	97-72-72

Análisis de información. Se utilizó estadística descriptiva con los rendimientos obtenidos en cada parcela en EXCEL.

Resultados y discusión

Rendimiento de grano. El resultado de rendimiento de grano logrado en la parcela de prueba del Plan de manejo agronómico para maíz de temporal en dos fechas de siembra, se presenta en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Rendimiento de grano, densidad de población a la cosecha e índice de cosecha, logrado en la parcela de prueba del Plan de Manejo Agronómico para maíz de temporal en dos fechas de siembra y tres sistemas de cultivo en Tepatitlán, con meta de rendimiento de 9 t/ha, Jalisco, en el ciclo PV-2017.

Tratamientos	Rendimiento de grano (kg/ha)	Densidad de población (Pl/ha)	Índice de cosecha
Rotación maíz-pasto (primera fecha de siembra)	11922	71184	0.49
Rotación maíz-agave (primera fecha de siembra)	10070	68026	0.48
Rotación maíz-maíz (primera fecha de siembra)	9950	61711	0.49
Rotación maíz-pasto (segunda fecha de siembra)	9216	67763	0.44
Rotación maíz-agave (segunda fecha de siembra)	7772	71579	0.39
Rotación maíz-maíz (segunda fecha de siembra)	6561	63684	0.39

El rendimiento en las primera FS fue superior a la meta de rendimiento de 9 t/ha. Para la segunda FS el rendimiento se redujo a valor inferior a la meta de rendimiento en la rotación maíz-agave tequilero y maíz–maíz. Este resultado es atribuido a la cantidad y distribución de la lluvia a que estuvo expuesto el cultivo (Verhulst *et al.,* 2011; Ting-Hui *et al.,* 2006) y la fuente de nitrógeno (fertilizante nitrogenado y materia orgánica del suelo) (Abbasi *et al.,* 2013), con fuerte efecto por la fecha de siembra (Gul *et al.,* 2015). Durante la primera FS de 11 de junio al 31 de noviembre se acumularon

665.9 mm mientras en la segunda FS del 23 de junio al 30 de noviembre solo fueron 646.3 mm. Por otro lado, la recomendación de fertilización para el sur de los Altos de Jalisco es 180-69-00 sin definir la meta de rendimiento (Agenda Técnica Agrícola Jalisco, 2017). Esto implica que posible reducir la fertilización según la condición de fertilidad del predio y propiedades físicas de suelo y lograr el rendimiento meta de 10 a 12 t/ha, con una potencial mejora económica. Es necesario hacer ajustes al plan de manejo, como la selección del hibrido en FS retrasadas, mejorar las propiedades físicas del suelo, como aumento en el contenido de MO, utilizar prácticas de manejo que permitan la conservación de agua, entre otras. El control biótico fue adecuado, con efecto imperceptible de plagas y malezas.

Conclusiones

El plan de manejo agronómico para maíz de temporal propuesto a escala de predio es posible reducir el uso de insumos y producir los rendimientos metas propuestos. Es necesario hacer ajustes al plan de manejo en la selección del hibrido, aumento de la materia orgánica del suelo, utilizar prácticas que permitan la conservación de agua, entre otras.

Referencias

Abbasi, M.K., M.M. Tahir and N. Rahim. 2013. Effect of N fertilizer source and timing on yield and N use efficiency of rainfed maize (Zea mays L.) in Kashmir–Pakistan. Geoderma 195–196:87–93.

Agenda Técnica Agrícola JALISCO. 2017. Maíz. Pp. 159-176. Tomado de: http://www.inifap.gob.mx/SitePages/inifap2015/Inicio/Agendas_Tec.aspx Accesado el 20 de julio de 2018.

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italia.

FAO. 1981. Informe del proyecto de zonas agroecológicas. Metodología y resultados para América del Sur y Central. Vol. 3. FAO, Roma, Italia.

FAO. 2003. Reporte de la iniciativa de la ganadería, el medio ambiente y el desarrollo – Integración por zonas de la ganadería y de la agricultura especializadas (AWI) - Opciones para el manejo de efluentes de granjas porcícolas de la zona centro de México Tomado de: http://www.fao.org/wairdocs/LEAD/X6372S/x6372s00.htm Accesado el 20 de julio de 2018.

Flores, L.H.E., Chávez, D.A.A., De La Mora, O.C., Ruíz, C. J.A. 2012. Zonificación agroclimática de los altos de Jalisco, México. Folleto técnico núm. 1. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco. pág. 60.

Flores, L.H.E., Paredes, M.R., Ruvalcaba, G.J.M., De La Mora, O.C., Pérez, D.J.F. y M.J. Ireta. 2011. Metodología para la evaluación del valor agregado del programa de maíz de alto rendimiento (PROEMAR) 2010 en Jalisco y Guanajuato. Libro Técnico Núm. 2. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jal. México. 162 p.

Flores-López, H.E., J. Ireta-Moreno, Pérez-Domínguez, J.F., Chávez-Durán, A.A. y C. de la Mora-Orozco. 2017. Grados Día de Desarrollo para híbridos comerciales de maíz. Ejemplo de aplicación en la agricultura. Desplegable para productores Núm. 3. Instituto Nacional De Investigaciones Forestales Agrícolas Y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.

Gul, S., M.H. Khan, B.A. Khanday and S. Nabi. 2015. Effect of Sowing Methods and NPK Levels on Growth and Yield of Rainfed Maize (Zea mays L.). Scientifica, Pag 1-6.

SIAP-SAGARPA. 2018. Estadística de producción. Tomado de: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do Accesado el 20 de julio de 2018.

Srivastava, R.K., R.K. Panda, A. Chakraborty and D. Halder. 2018. Enhancing grain yield, biomass and nitrogen use efficiency of maize by varying sowing dates and nitrogen rate under rainfed and irrigated conditions. Field Crops Research 221:339–349.

Ting-Hui', D., C. Gui-Xin, G. Sheng-Lil, H. Ming-De and L. K. Heng. 2006. Effect of Nitrogen Management on Yield and Water Use Efficiency of Rainfed Wheat and Maize in Northwest China. Pedosphere 16(4):495-504.

Verhulst, N., I. François and B. Govaerts. 2015. Agricultura de conservación, ¿mejora la calidad del suelo a fin de obtener sistemas de producción sustentables? Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo, CIMMYT. Apdo. Postal 6-641, 06600 México, D.F., México.18 pág.

Verhulst, N., V. Nelissen, N. Jespers, H. Haven, K. D. Sayre, D. Raes, J.Deckers, and B. Govaerts. 2011. Soil water content, maize yield and its stability as affected by tillage and crop residue management in rainfed semi-arid highlands. Plant Soil, 344:73–85.

Villarreal, F.E. 2000. Guía para la aplicación del Modelo Productor Experimentador. SAGARPA-Coordinación General de Extensionismo y Desarrollo Tecnológico. México, D.F.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

MINERALES EN AGUA RESIDUAL TRATADA UTILIZADA EN RIEGO AGRÍCOLA EN CAPULÁLPAM DE MÉNDEZ, IXTLÁN, OAXACA

Velasco-Velasco, V. A.[1*]; Enriquez-Enriquez, A.[2]; Ruiz-Luna. J.[1]; Velasco-Cruz, A. L.[3]; González-García, R[4].

[1]Profesor-investigador, [2]estudiante residente de la Licenciatura en Biología, [3]tesista de posgrado y [4]auxiliar del Laboratorio de Diagnóstico Ambiental. Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca.

*Autor responsable: vicvel5@ hotmail.com; Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. C. P. 71230 Tel. (951) 5170781/5170444

Resumen

El agua residual tratada es aquella que mediante procesos individuales o combinados de tipo físico, químico, biológico u otro, se ha adecuado para su reuso en servicios al público. El uso de aguas residuales tratadas en el riego, reduce la necesidad del uso de fertilizantes inorgánicos, con la consiguiente disminución de los gastos de energía y de la contaminación. En el presente estudio se analizaron algunas características físicas y químicas del agua de tres "plantas de tratamientos de agua residual" en la localidad de Capulálpam de Méndez, Ixtlán, Oaxaca, para uso agrícola. Se realizaron tres muestreos de febrero a abril del 2018, para obtener cuatro muestras de cada planta. Los sólidos totales se determinaron por el Método gravimétrico, el pH y C.E. por determinación directa; Pb, Mg, K, Zn, Na, Ca, Fe, Cu, Mn por Espectrofotometría de Absorción Atómica. El pH y los minerales Cd, Pb, Zn y Cu en el ART se encontraron dentro de los límites máximos permisibles de la Norma NOM-001-ECOL-1996. La C.E. (0.588 dS cm^{-1}) según el Comité Asesor Técnico de los Estados Unidos (NTAC) y utilizada actualmente por la FAO, el agua es de buena calidad, su uso no representa riesgo de salinización del suelo. Las fechas de muestreo influyeron significativamente en los valores obtenidos de las variables.

Palabras clave: PTAR, ART, Sierra Juárez

Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que para el 2025, la mitad de la población mundial vivirá en zonas de escasez de agua, hoy en día la principal consumidora de este recurso es la agricultura, pues consume más del 70% del agua disponible en el mundo, de manera simultánea y aunque no és una práctica reciente, el uso de agua residual sin tratar o cruda para riegos agrícolas es cada vez más frecuente (OMS, 2015). El uso de aguas residuales trae beneficios asociados al mejoramiento de la fertilidad de los suelos agrícolas ya que aporta, macronutrientes (N y P) y oligoelementos, como Na y K, permitiendo reducir, y en algunos casos eliminar, la necesidad del uso de fertilizantes químicos, lo que genera beneficios económicos al sector (Hussain *et al*., 2002). La localidad de Capulálpam de Méndez, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, cuenta desde hace más de 10 años, con plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de tipo anaerobio (tratamiento secundario), con un flujo de 0.99 lps, la cual es utilizada para riego agrícola por algunos productores. Por lo

anterior, en el presente estudio se cuantificaron minerales en agua residual tratada con la finalidad de conocer los posibles efectos sobre el suelo y si cumple con los límites máximos permisibles establecidos en la Norma NOM-001-ECOL-1996 (1996).

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el municipio de Capulálpam de Méndez, ubicado en las coordenadas latitud Norte 17° 18', longitud Oeste 96° 27', a una altitud de 2 040 m al noroeste de la ciudad de Oaxaca, en la Sierra Juárez que es subprovincia de la Sierra Madre del Sur (Consejo Municipal de Desarrollo Rural Sustentable, 2009).

Obtención de las muestras de agua

Se recolectaron cuatro muestras de agua en cada una de las tres PTAR. Se realizaron 3 muestreos de febrero a abril del 2018, en total se obtuvieron 36 muestras de agua residual tratada. Estas se transportaron en botellas de polietileno limpias y etiquetadas previamente, y colocadas en una hielera hasta el Laboratorio de Diagnóstico Ambiental (LDA) del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, para su análisis.

Análisis en el laboratorio

Una vez en el LDA, se procedió a realizar los análisis con base a las metodologías establecidas por American Public Health Association, American Water Works Association y Water Pollution Control Federation (1963). El pH y C.E se determinaron directamente, al igual que los sólidos totales. Para el resto de las variables, fue necesario filtrar las muestras con papel whatman 42 mediante vacío, para su posterior análisis en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Cuadro 1).

Cuadro 1. Variables evaluadas en Laboratorio de las muestras de agua dulce y agua residual tratada provenientes de Capulálpam de Méndez, Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

Variables	Unidad	Método utilizado	Equipo Utilizado
pH	Unidad	Potenciométrico	Potenciómetro conductronic 1020
C.E	dS cm^{-1}	Conductímetro	Conductímetro PC45
Sólidos totales (S.T.)	mg L^{-1}	Método gravimétrico	Cápsulas de porcelana, parrilla eléctrica ACM-10206
Na, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, Cd y Pb	mg L^{-1}	Espectrofotometría de absorción atómica (EAA)	Espectrofotómetro de Absorción atómica (EAA) Thermo Scientific Estándares primarios de 1000 ppm Sigma Aldrich

Análisis de datos

Los datos obtenidos se analizaron en un Diseño Completo Aleatorio (DCA) con un factorial de 3 (PTAR) x 3 fechas de muestreo (28 de febrero, 4 y 26 de abril del 2018), con cuatro repeticiones. Se realizaron las pruebas de medias de Tukey (α=0.05) con el programa estadístico NCSS (Number Cruncher Statistical System) demo en internet 2018. Los resultados se interpretaron y compararon

con la NOM-001-ECOL-1996 (1996).

Resultados y Discusión

Los análisis de varianza en los factores "PTAR", "fecha de muestreo" y la interacción de estos, todas las variables mostraron significancia, a excepción del Pb que sólo mostró significancia para el factor fecha de muestreo, y Zn fue significativo únicamente en fecha de muestreo y la interacción PTAR-fecha de muestreo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de varianza para agua residual tratada, con las variables evaluadas, en Capulálpam de Méndez, Ixtlán, Oaxaca.

Fuente de variación	Grados Libertad	pH	C.E	S.T	Cd	Pb	Mg	K	Zn	Na	Ca	Fe	Cu	Mn
						Agua Residual Tratada								
PTAR	2	**	**	**	*	NS	**	**	NS	**	**	**	**	**
Fecha Muestreo	2	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**	**	**	**
PTAR x Fecha	4	**	**	*	*	NS	**	**	*	**	**	**	**	**
Error	27													
Total	35													

C.E: Conductividad Eléctrica, S.T: sólidos totales, PTAR: Plantas de Tratamiento de Agua Residual.

En el Cuadro 3 se indican los valores promedio obtenidos en los diversos parámetros evaluados en el ART; el pH se encuentra dentro del rango establecido, la concentración de Cd, Pb, Zn y Cu, se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la Norma NOM-001-ECOL-1996 (1996). La C.E. (0.588 dS cm^{-1}) al igual que el resto de las determinaciones, según el criterio de clasificación de las aguas de riego por el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, se identifica como "clase C2", esto es, "agua de salinidad media", por lo que se recomienda que su uso se lleve a cabo en Suelos provistos de buen drenaje (Richards, 1954); por otra parte, según el Comité Asesor Técnico de los Estados Unidos (NTAC) y utilizada actualmente por la FAO, el agua es de buena calidad, su uso no representa riesgo de salinización del suelo (Ayers y Westcot, 1976; Frenkel, 1984). Se observó que las fechas de muestreo influyeron significativamente en los valores obtenidos de las variables; sin embargo, dichos valores estuvieron dentro de las Normas.

El sector agrícola consume cerca de 78% de agua (INEGI, 2015), por lo tanto, para reutilizar el agua tratada en la agricultura, es indispensable garantizar que cumpla con las características establecidas por las normas oficiales correspondientes (SEMARNAT, 2012; Escalante *et al*., 2013). Por lo anterior, el riego con agua residual tratada se presenta como una alternativa para mitigar la escasez de ésta, sobre todo, en aquellas regiones donde existe escasez de lluvias que conducen a obtener rendimientos bajos (Tejeda *et al*., 2001).

Cuadro 3. Características del agua residual tratada (ART) de Capulálpam de Méndez, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, y su comparación con la NOM-001-ECOL-1996 (1996).

Características	Tres Planta ART	NOM-001-ECOL 1996, (1996)
pH unidad	6.89	5-10
C.E dS cm^{-1}	0.588	
S.T mg L^{-1}	454.276	
Cd mg L^{-1}	0.026	0.05
Pb mg L^{-1}	0.099	5
Mg mg L^{-1}	4.2	
K mg L^{-1}	13.4	
Zn mg L^{-1}	0.0233	10
Na mg L^{-1}	42.192	
Ca mg L^{-1}	7.6	
Fe mg L^{-1}	0.248	
Cu mg L^{-1}	0.028	4
Mn mg L^{-1}	0.053	

Conclusiones

Las plantas de tratamiento de agua residual tratada mostraron diferencias significativas (tukey, α=0.05) entre las características físicas y químicas, así como las fechas en las que se realizaron los muestreos. El ART presenta concentraciones en sus características físicas y químicas por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por las normas oficiales mexicanas y por lo sugerido por investigadores extranjeros, por lo que se consideran aptas para su uso en la agricultura.

Referencias

American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 1963. Métodos estándar para el examen de aguas y aguas de desecho incluyendo sedimentos bentales y lodos. Undécima edición. Traducido por Pedro J. Caballero, I. Q. Editorial Interamericana, S. A.

Ayers, R.S. y D.W. Westcot. 1976. Calidad del agua para la agricultura. FAO, Roma.

Escalante, V.; Cardoso, L.; Moeller, G.; Mantilla, G.; Montecillos, J.; Servín, C., y Villavicencio, F. 2013. "El reúso del agua residual tratada en México". En Seminario internacional sobre sistemas naturales para el tratamiento de aguas residuales. Recuperado de http://sistemamid.com/panel/ uploads/biblioteca /2018-20-03-18-54111051.pdf.

Frenkel, H. 1984. Reassessment of water quality criteria for irrigation. En: I. Shainberg y J. Shalhevet (eds.), Soil salinity under irrigation. Springer-Verlag, Berlin.

Hussain I., L. Raschid, M.A. Hanjra, F. Marikar, W. Van der Hoek. 2002. Wastewater use in agriculture: Review of impacts and methodological issues in valuing impacts. Working Paper 37. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.

INEGI 2015. Instituto Nacional de Estadística y geografía. Anuario estadístico y geográfico de Oaxaca, México.

OM-001-ECOL-1996-1996 (Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1996). 1998. Que Establece los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes para las Aguas Residuales Tratadas que se Reúsen en Servicios al Público. Diario Oficial de la Federación. 21 de septiembre de 1998.

OMS. 2015. Agua, nota descriptiva No. 391.Organización Mundial de la Salud. Disponible en: http://www .who.int/ mediacentre /factsheets/fs391/es/. Consultado el 08 de marzo del 2018

Consejo Municipal del Desarrollo Rural Sustentable. 2009. Plan de Desarrollo Municipal de Capulálpam de Méndez Distrito de Ixtlán de Juárez Oaxaca 408 pp.

Richards, L.D. (ed.). 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S.DA. Handbook 60.

SEMARNAT 2012. Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Aguas Residuales. México. Recuperado de http://www.semarnat.gob.mx/leyes-y-normas/nom-aguas-residuales.

Tejeda, H., M. Sadzawka, y J. Araos. 2001. Análisis de suelo, foliar y de agua para el diagnóstico nutricional y de uso de fertilizantes y enmiendas. *In*: Agenda del Salitre. Pp: 197-230.

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LAS PRÁCTICAS AGRONÓMICAS DEL MAÍZ DE TEMPORAL SOBRE LA EROSIÓN HÍDRICA CON EL MODELO EPIC

López-Hernández, S.O.[1]; Flores-López, H.E.[*2]; De La Mora-Orozco, C.[2]; Pérez-Domínguez, J.F.[2]

[1]Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez. Campus Arandas, Arandas, Jalisco. México.
[2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Tepatitlán de Morelos, Jalisco. México.

*Autor responsable: flores.hugo@inifap.gob.mx; Av. Biodiversidad # 2470, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. CP 47600; Tel. +52(01800)-088-2222 ext. 84530

Resumen

La tecnología actual utilizada en el cultivo de maíz ha favorecido la erosión hídrica del suelo con la consecuente pérdida de productividad. El modelo de simulación EPIC es una herramienta de planeación que ha permitido identificar las prácticas agrícolas que producen degradación del suelo. En zonas como Tepatitlán, donde parte del suministro de agua para lo población es parcialmente el uso del agua superficial almacenada en embalses, como la presa El Jihuite, requiere propuestas de manejo adecuado en las tierras agrícolas para mejorar la calidad de agua, por lo que es necesario identificar las prácticas agrícolas que realiza el agricultor y contribuyen al problema de erosión hídrica y calidad del agua de la cuenca hidrográfica. Durante el 2010, se monitorearon 47 predios cultivados con maíz localizados en la cuenca hidrográfica El Jihuite, en Tepatitlán, Jalisco. Se utilizó el modelo de simulación EPIC, calibrado con mediciones de erosión hídrica en lotes de escurrimiento con diferente manejo de los sistemas de maíz, los cuales fueron instalados para estimar la erosión hídrica de los 47 predios. Los resultados mostraron que las prácticas de labranza de suelo son causantes de la erosión hídrica estimada, pero es sobresaliente el efecto de la fecha de siembra realizada en suelo seco, que favorece el proceso erosivo, mientras que la siembra en suelo húmedo lo favorece. El retraso en la fecha de siembra mostró tendencia a incrementar la erosión hídrica. Se recomienda utilizar la labranza de conservación para reducir la pérdida de suelo.

Palabras clave:

Pérdida de suelo, calidad del agua, modelo de simulación.

Introducción

La erosión hídrica del suelo es un proceso que integra el desprendimiento, transporte y depósito de partículas por agentes erosivos, como las gotas de lluvia, el escurrimiento superficial o el viento (Meyer y Wishmeier, 1969), que a escala de cultivo se ha evaluado con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Figueroa *et al.*, 1991).

En la actualidad la disponibilidad de tecnología agrícola ha permitido incrementar la producción en los sistemas de cultivo, como es el caso del maíz de temporal en Jalisco, que tiene el rendimiento promedio de los más elevados de México (SIAP-SAGARPA, 2018). Este rendimiento ha sido posible por las condiciones ambientales de las zonas productoras y la disponibilidad de métodos e insumos para el control de factores abióticos y bióticos que limitan y reducen el rendimiento (Flores-López *et al.*, 2011). No obstante, el maíz junto a otros cultivos, se han identificado como fuentes de contaminación difusa y degradación ambiental, originadas principalmente por prácticas agrícolas

inadecuadas (SEMARNAT, 2016). Revertir este problema ambiental causado por la agricultura se dificulta, porque las acciones requeridas deben enfocarse a revalorar la actividad agrícola, revertir la descapitalización del campo, combatir efectivamente la pobreza, e impulsar la educación (Ceja-Mena, 2008).

En este contexto el uso de los modelos de simulación que reproduzcan los procesos asociados con cultivos como maíz, se ha desarrollado el modelo Erosion Productivity Impact Calculator (EPIC), herramienta que ha permitido identificar las prácticas agrícolas que reducen la degradación del suelo y la erosión hídrica (Williams *et al.*, 1990), donde se incluyen los criterios utilizados por el productor con la posibilidad de corregirlos de manera económica y con mayor rapidez que la investigación tradicional (Figueroa *et al.*, 1991). Es aún más importante en zonas donde parte del suministro de agua para lo población es parcialmente usada el agua almacenada en embalses, como la presa El Jihuite, en Tepatitlán, Jalisco. Estas razones motivaron la realización del presente estudio para identificar las prácticas agrícolas que realiza el agricultor y contribuyen al problema de erosión hídrica de la cuenca hidrográfica el Jihuite, en Tepatitlán, Jalisco, México a través del modelo EPIC.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio. La cuenca en estudio se ubica entre los 20°50'57" a 20°55'50" de latitud norte, los 102°36'50" a 102°43' de longitud oeste, a una altitud de 1900 a 2280 m, como se muestra en la Figura 1. Dentro de esta área se localiza el Campo Experimental Centro Altos de Jalisco (CECEAJAL), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Clima. El área de estudio tiene una precipitación promedio anual es de 822 mm con 88 días de lluvia apreciable; la estación de crecimiento con el 70% de probabilidad de excedencia de lluvia es de 135 días, que comienza el 16 de junio y termina el 28 de octubre. El promedio de temperaturas máxima, mínima y media durante la estación de crecimiento es de 25.1, 10.5 y 17.8°C, respectivamente (Flores *et al*., 1996).

Suelo. De acuerdo con la cartografía de INEGI, el suelo en gran parte de la cuenca es Luvisol férrico, de textura arcillosa o migajón arcilloso, con profundidad de hasta 1 m. En la parte norte es Planosol éutrico, de textura arcillosa con profundidad de 40 cm o menos. La forma de relieve predominante son lomeríos los cuales presentan pendientes entre 1 y 58 %, con mayor superficie de 2 a 4% (Flores *et al*., 1996).

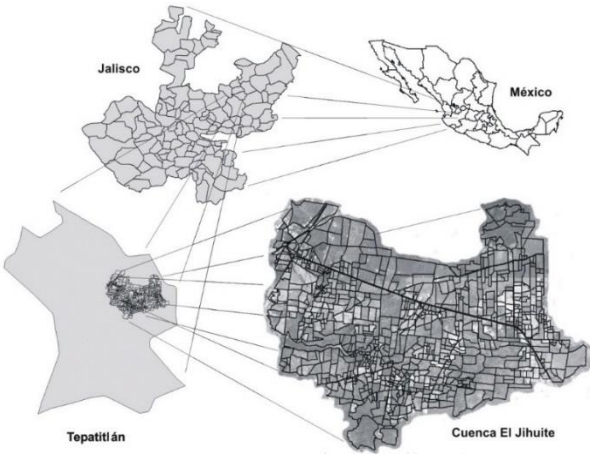


Figura 1. Localización de la cuenca hidrográfica El Jihuite, Tepatitlán, Jalisco.

Metodología. Se utilizó el modelo participativo Productor – Experimentador, como método de diagnóstico para caracterizar el sistema de producción de maíz (SPM) y obtener los criterios de eficacia del productor en la cuenca el Jihuite (Villarreal, 2000). El modelo se simulación EPIC se utilizó para estimar la perdida de suelo de cada SPM monitoreado.

Caracterización del sistema de cultivo de maíz. Durante el 2010 se seleccionaron 47 sistemas de producción de maíz (SPM) con al menos una hectárea. Se aplicó una encuesta para identificar los criterios de eficacia en la toma de decisiones del productor y caracterizar el SPM. Se requirió saber el cuándo, cuánto y cómo, se realizaron las actividades agrícolas, así como los insumos, oportunidad y la cantidad aplicada. Con esta información se creó una base de datos, a la que se agregó la pérdida de suelo estimada con el modelo EPIC. Se utilizaron los registros climatológicos de la estación del CECEAJAL del año en estudio.

Calibración del modelo EPIC. En los terrenos del CECEAJAL se estableció un lote de escurrimiento (LE) con dimensiones de 2x25 m, sembrados con maíz, donde se midió la pérdida de suelo en cada evento de lluvia. El manejo del LE con maíz se realizó con labranza convencional, siembra manual y sin utilizar surcos. Se instaló un colector de lluvia conectado a un registrador automático de datos para medir la cantidad e intensidad de cada evento de lluvia. La calibración del modelo EPIC se realizó con la comparación de las mediciones de pérdida de suelo medida en el LE con la estimada con la USLE del modelo EPIC.

Análisis de información. Con la información del monitoreo de cada uno de los SPM y la erosión estimada con el modelo EPIC se creó una base de datos. Esta información se examinó en SAS y EXCEL con análisis de correlación y regresión, para identificar las prácticas de manejo de maíz con mayor pérdida de suelo.

Resultados y discusión

El sistema de producción de maíz. El modelo conceptual del sistema de producción de maíz de temporal en la cuenca El Jihuite expresado con simbología de Forrester, se muestra en la Figura 2. En esta Figura se muestra la estructura del SPM, con las principales actividades que el productor realizó. Se detectaron cambios en el uso de semilla mejorada y mayor uso de maquinaria en la preparación de suelo y aplicación de insumos (Flores *et al.*, 1996)

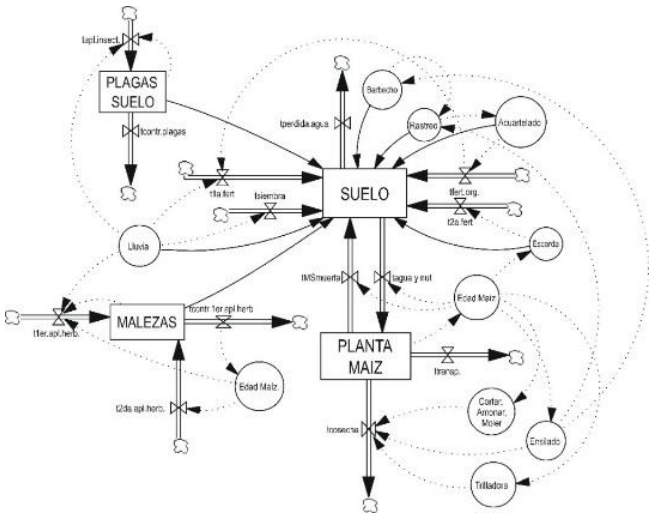


Figura 2. Sistema de producción de maíz de temporal, en la cuenca el Jihuite.

Calibración del modelo EPIC. En la Figura 3 se muestra la relación entre la erosión hídrica estimada en el SPM con las mediciones de pérdida de suelo medidas en el LE con maíz. De acuerdo con la Figura 3, la correlación observada en la erosión en maíz de temporal con la del modelo EPIC es de 85%, con valores de pendiente próxima a la unidad e intercepto cerca de cero.

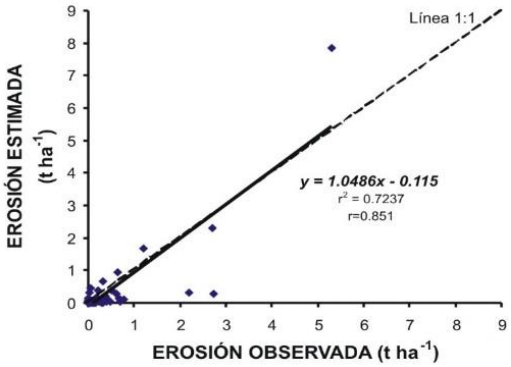


Figura 3. Relación entre la erosión estimada con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo del modelo EPIC con la estimada en el lote de escurrimiento con maíz.

Efecto de las prácticas de manejo en maíz sobre la erosión hídrica. De acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson, las prácticas de manejo más asociadas con la pérdida de suelo a un nivel de probabilidad ≤10 % de significancia fueron la fecha de barbecho (-0.335), la fecha de segundo rastreo (-0.362), la fecha de siembra (0.896), la cantidad de semilla utilizada (-0.250), la fecha de fertilización orgánica (-0.418), la fecha de la primera fertilización química (0.851), la fecha del primer control de malezas (0.390), la fecha de emergencia de la planta de maíz (0.933), la fecha del segundo control de malezas (0.962), la cantidad de producto utilizado en el segundo control de malezas (0.939), la fecha de control de plagas de suelo (0.835), la cantidad de productos utilizado en el control de plagas de suelo (0.399), la fecha de ensilado (-0.405), la fecha de corte de maíz para molerlo (0.546) y el amone de maíz (0.352).

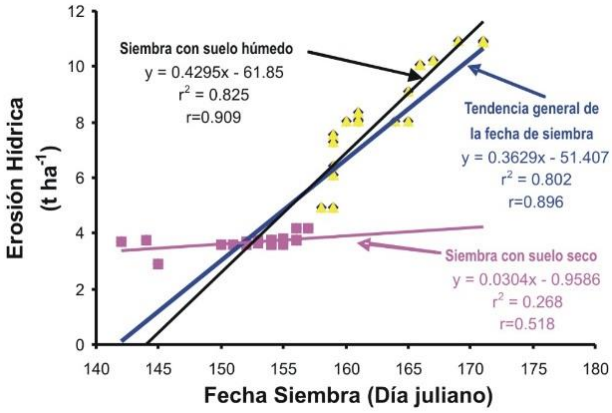


Figura 4. Relación entre la pérdida de suelo con la fecha de siembra de maíz, en predios de la cuenca El Jihuite, durante el temporal de 2010.

Es sobresaliente el efecto de la fecha de siembra sobre la erosión hídrica, como se muestra en la Figura 4. En esta figura se observa que el retraso en la fecha de siembra favorece la erosión hídrica. Sin embargo, la pérdida de suelo es diferente según la condición de humedad; en condiciones de

siembra en suelo seco se reduce de manera importante la pérdida de suelo y es más acentuada en condiciones de suelo húmedo. Es recomendable modificar esta práctica de labranza en el área de estudio hacia el uso de labranza de conservación con al menos 30 % de cobertura con residuos de cosecha anterior (Verhulst *et al.*, 2015).

Conclusiones

La calibración del modelo de simulación EPIC y la parametrización de USLE, permitió su aplicación en la estimación de la erosión hídrica del cultivo de maíz en el área de estudio.

Se identificaron prácticas de manejo en el cultivo de maíz de la cuenca hidrográfica El Jihuite asociadas con la pérdida de suelo, particularmente las que requieren mover el suelo. Fue sobresaliente el efecto de la fecha de siembra en la pérdida de suelo, particularmente la realizada en seco que reduce la erosión hídrica y con suelo húmedo que tiende a incrementarla.

Se recomienda utilizar la labranza de conservación para reducir la pérdida de suelo.

Referencias

Ceja-Mena, M.C. 2008. Degradación de los suelos y pobreza en México. Economía Informa, 350:89-93.

Figueroa, S.B., O.A. Amante, T.H.G. Cortés, L.J. Pimentel, C.E.S. Osuna, O.J.M. Rodríguez y F.F.J. Morales. 1991. Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. SARH-Colegio de Posgraduados. Salinas, S.L.P., México. 150 pág.

Flores, L.H.E., S.J.A. Martínez, V.H. Ramírez, M.V. Alemán, M.P. Díaz y C.J.A. Ruíz. 1996. Diagnóstico agroclimático y edafológico de la cuenca hidrológica "El Jihuite", México. *In*: Resúmenes del III Congreso Interamericano sobre el medio ambiente: Avances y aplicación a la solución de problemas ambientales. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Flores, L.H.E., M.R. Paredes, G.J.M. Ruvalcaba, O.C. De La Mora, D.J.F. Pérez y M.J. Ireta. 2011. Metodología para la EVALUACIÓN DEL VALOR AGREGADO DEL PROGRAMA DE MAÍZ DE ALTO RENDIMIENTO (PROEMAR) 2010 EN JALISCO Y GUANAJUATO. Libro Técnico Núm. 2. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jal. México. 162 p.

Meyer, L.D. y W.H. Wishmeier. 1969. Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. Trans. ASAE, 12:754-758, 762.

SEMARNAT. 2016. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015. SEMARNAT. México. 470 pág.

SIAP-SAGARPA. 2018. Estadística de producción. Tomado de: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do Accesado el 20 de junio de 2018.

Verhulst, N., I. François and B. Govaerts. 2015. Agricultura de conservación, ¿mejora la calidad del suelo a fin de obtener sistemas de producción sustentables? Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo, CIMMYT. Apdo. Postal 6-641, 06600 México, D.F., México.18 pág.

Villarreal, F., E. 2000. Guía para la aplicación del Modelo Productor Experimentador. SAGARPA-Coordinación General de Extensionismo y Desarrollo Tecnológico. México, D.F.

Williams, J.R., C.A. Jones y P.T. Dyke. 1990. The EPIC Model. En: EPIC-Erosion/Productivity Impact Calculator. 1. Model Documentation. USDA-ARS. Tech. Bull. No. 1768.

Wischmeier, W. H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook no. 537. USA.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

RIQUEZA DE LA NEMATOFAUNA EDAFICA EN MAIZ, EN SUSTRATO SUELO-VERMICOMPOSTA BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

González-Cortés J.C.[1*]; Cortés-Sereno, J.I.[2]; Granados-García, M.E.[3]; Ramírez-Mandujano, C.A.[4]; Alcalá-de Jesús, María.[5]

[1]Universidas Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. México.

*Autor responsable: jcgonzalezcortes@yahoo.com.mx; Calle Francisco J. Múgica SN, Col. Felicitas del Río, Morelia, Michoacán. México. CP 58130; Tel. +52(443)-316-7412

Resumen

La biota edáfica en nuestro país es poco estudiada, incluyendo a los nemátodos asociados a los cultivos y su potencial importancia en la disminución del rendimiento. El cultivo de maíz es uno de los cultivos más importantes en el estado de Michoacán, consumido en la dieta diaria y por su uso forrajero. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la riqueza de nematodos en condiciones de invernadero, en 7 combinaciones suelo-vermicomposta, e identificar nematodos fitoparásitos asociados. Se establecieron 105 macetas en invernadero, en diseño de bloques completamente al azar con 3 repeticiones. Evaluándose en tres periodos cada 30 días. La extracción se llevó a cabo por el método de centrifugación en sacarosa. El montaje se realizó en laminillas semipermanentes con lactofenol claro y se identificaron a nivel género. Los resultados mostraron la presencia de un total de 23 géneros: 12 son fitoparásitos, 10 de vida libre y un depredador. La riqueza de nematodos se incrementó al avanzar el desarrollo de la planta. Los tratamientos con mayor riqueza variaron para cada periodo evaluado, lo cual sugiere mayor influencia del desarrollo vegetativo, más que la combinación de sustrato suelo-vermicomposta. Los machos solo se observaron en el 22% de los géneros y parece depender de cada género en particular, tomando en cuenta que la proporción de fitoparásitos y de vida libre fue muy similar. Se concluye que el potencial de parasitismo para el maíz es alto (52%), siendo importante evaluar las poblaciones de los fitoparásitos en campo y determinar su control.

Palabras clave

Fitoparásitos; productividad; maíz

Introducción

Los nematodos son microorganismos en forma de gusano que se encuentran prácticamente en todos los hábitats de la tierra. Es uno de los grupos más numerosos del reino animal, pues pueden encontrarse hasta 20 millones de individuos por metro cuadrado de suelo. Actualmente se conocen 26 646 especies de nematodos, de vida libre 10 681, parásitos de invertebrados 3 501, de vertebrados 8 359 y de plantas 4 105 (Hugot *et al*., 2001).

Los nematodos tienen gran impacto en la economía mundial, ya que son parásitos de cultivos productores de alimento, fibra, madera, así como plantas de uso ornamental, otros nematodos de vida libre contribuyen a la sostenibilidad de la biosfera manteniendo la fertilidad de los suelos a través del reciclaje de nutrientes (Guzmán *et al*., 2012). Los nematodos fitoparásitos pueden atacar raíces, tallos, troncos, yemas, hojas, flores y semillas el tejido atacado varía de acuerdo con la especie de fitonematodo y el hospedante (Agrios, 2005).
El maíz es un cultivo importante ya que en México es considerado como producto básico de alimentación y ayuda a la economía del país a través de la importación y exportación, el 57 % de este cereal es utilizado para el consumo humano, 29 % es para el consumo animal y el 20 % para la industria (SIAP, 2015). Dada la importancia del cultivo en el país y en nuestro estado, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de combinaciones suelo-vermicomposta sobre la riqueza de nematodos en tres periodos del crecimiento vegetativo del maíz, bajo condiciones de invernadero, e identificar los géneros potencialmente fitoparásitos, en una primera etapa.

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en un invernadero, ubicado en la proximidad del edificio B-4, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en la ciudad de Morelia con las coordenadas 19°41′29″ latitud Norte y 101°12′25″ longitud Oeste a una elevación 1900 msnm. El invernadero ocupó una superficie de 2x3 m (ancho, largo), cubierto con malla-sombra y plástico translucido.
Para estimar la riqueza de nematodos se establecieron 105 macetas de plástico de (15) cm X (15) cm, en 7 tratamientos: T1(100% suelo, S), T2(100% vermicomposta, V), T3(85:15, S:V), T4(70:30), T5 (60:40), T6 (50:50), T7 (100% suelo+ fertilizante). El acomodo de las macetas fue de bloques completamente al azar con 5 repeticiones. El suelo utilizado como sustrato se obtuvo de la localidad de Joya de la Huerta, municipio de Morelia. La vermicomposta se obtuvo a partir de estiércol bovino y desechos de jardín, en camas con lombriz roja californiana.
La técnica que se utilizó para la extracción de nematodos fue la de centrifugación, modificada de Cepeda (1995). Los especímenes extraídos se tiñeron con azul de metileno, fijados en lactofenol claro para las laminillas semipermanentes y en glicerina para laminillas permanentes. Las laminillas para la colección se hicieron de acuerdo con las recomendaciones de Thorne (1961), tanto en su preparación como en la información que deberá tener cada una de ellas. Para la identificación de los nematodos fitoparásitos se utilizaron las claves de Thorne (1961) y Mai y Lyon (1980).

Resultados y Discusión

La identificación de los nematodos se llevó a cabo hasta el nivel de género obteniendo como resultado 23 géneros reportados 9 son de vida libre, 12 son fitoparásitos y 1 depredador. Los que aparecen con mayor frecuencia son: *Acrobeloides* (Fig.1) y *Helicotylenchus* (Fig. 2), con una frecuencia de aparición del 100% al encontrar por lo menos un ejemplar en cada tratamiento. Seguido de los géneros *Aphelenchus, Cephalobus* y *Cruznema* con una frecuencia del 95%. Los géneros con menor frecuencia fueron *Criconemoides con 5%, Panagronaimus* con 19%, *Aphelenchoides* y *Mononchus* con 10% de frecuencia.

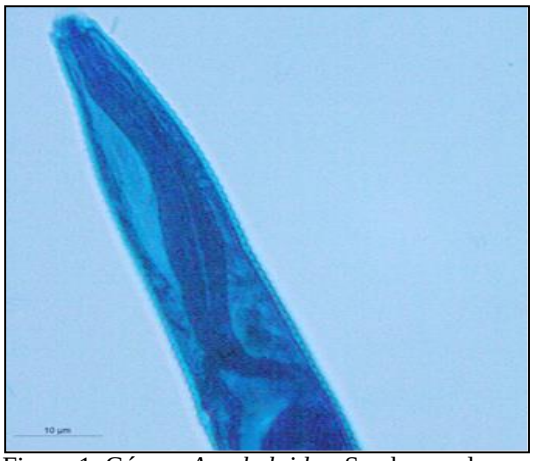


Figura 1. Género *Acrobeloides*. Se observa la parte anterior y el esófago tubular.

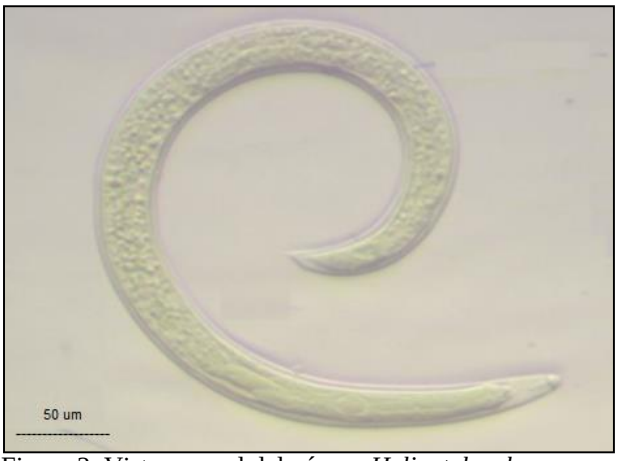


Figura 2. Vista general del género *Helicotylenchus*. Note la morfología y disposición típica.

De los tres periodos el que presento mayor riqueza fue el periodo 3 con 95.23% de frecuencia de aparición mientras que el segundo periodo presento un 85.71% y el primer periodo tan solo 80.95%.

Cuadro 1. Frecuencia de aparición de los géneros en los tres periodos muestreados.

		Periodo 1							Periodo 2							Periodo 3							F	%
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7		
1	Acrobeles			p		p			p		p	p		p	p	p		p	p	p		p	12	57
2	Acrobeloides	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	21	100
3	Aphelenchus	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p		p	p	p	p	p	20	95
4	Caenorhabditis	p				p		p	p		p	p	p	p	p	p			p	p	p	p	14	67
5	Cephalobus	p	p	p	p	p	p	p	p		p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	20	95
6	Ditylenchus					p			p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	15	71
7	Cruznema	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p		p	p	20	95
8	Eucephalobus	p	p	p	p		p		p	p	p	p	p	p	p	p		p	p	p		p	16	76
9	Helicotylenchus	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	21	100
10	Heterodera	p		p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p		p	p	p	p	p	19	90
11	Mesorhabditis	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p		p	p			p	p	18	86
12	Panagronaimus		p		p		p													p		p	4	19
13	Pelodera			p	p	p	p		p		p	p	p	p	p	p			p	p	p	p	15	71
14	Pratylenchus		p	p	p	p	p	p	p		p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	19	90
15	Rhabditis	p		p	p	p	p					p		p			p	p	p	p	p		12	57
16	Rotylenchus				p	p			p	p	p	p	p	p	p	p		p	p	p	p	p	15	71
17	Tylenchorrynchus		p	p	p	p	p	p	p			p		p	p	p		p	p	p		p	15	71
18	Tylenchus		p	p		p		p	p		p	p	p	p	p	p		p		p	p		14	67
19	Criconemoides		p	p															p	p		p	5	24
20	Aphelenchoides								p			p											2	10
21	Paratylenchus															p		p	p	p	p	p	6	29
22	Trichotylenchus										p					p		p	p	p	p	p	7	33
23	Mononchus																			p		p	2	10
	No. de gèneros	10	12	15	14	17	13	11	17	9	16	18	14	17	16	17	8	17	18	20	16	20		

En el primer periodo de los 7 Tratamientos el que presento mayor riqueza con 17 géneros fue el T5 y los que presentaron menor son los T1 con 10 géneros y T7 con 11. En el segundo periodo el T4 presento un total de 18 géneros y el T6 con 17. El tratamiento con menor riqueza fue el T2 con tan solo 9 géneros En el tercer periodo se observó un aumento en riqueza de géneros con un máximo de

20 géneros fueron los tratamientos T5 y T7 y el que presento menor fue el T2 nuevamente con solamente 8 géneros.
Por otra parte, la presencia de machos se evidencio solo en el 22% de total de géneros encontrados. Como ejemplo, en *Helicotylenchus* (Fig.3) se encontraron machos donde se observa la espícula y la bursa, así como en el nematodo de vida libre *Pelodera* en vista ventral (Fig.4*)*.



Figura 3. Observe la espícula y la bursa.

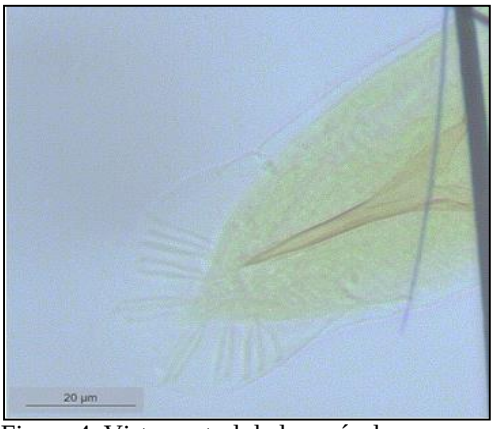


Figura 4. Vista ventral de la espícula.

Es importante también mencionar que Algunos de estos nematodos coinciden con los reportados para el estado de Michoacán por González (2013). De los cuales el género fitoparásito *Trichotylenchus* y de vida libre *Cruznema* se reportan por primera vez para el estado de Michoacán.

Conclusiones

- La riqueza de nematodos fue mayor en las combinaciones donde predominaba el suelo como sustrato.
- La etapa de desarrollo vegetativo fue determinante en la riqueza de nematodos, siendo mayor al acercarse la madurez del cultivo (3er periodo).
- La composición de géneros varió en dos a tres géneros entre periodos.
- La proporción de géneros fitoparásitos y de vida libre fue muy similar después de 3 meses de crecimiento del maíz.
- La presencia de machos está determinada por cada género en particular.
- Se reportan por primera vez los géneros: *Trichotylenchus (*Fitoparasito*)* y *Cruznema* (vida libre).

Agradecimientos

Se agradece a la Coordinación de la Investigación Científica de la UMSNH por el apoyo brindado para la realización del presente proyecto.

Referencias

Agrios, G. N., 2005. Plant pathology. Five edition. Elsevier. E. U. A. 922 p.

Cepeda, S.M. 1995. Prácticas de nematología agrícola. Ed. Trillas, México D.F. 109 pp.

González, C. J., Cepeda, V. M., Carreón, A. Y. & Martínez, M. 2013. Nematofauna asociada a cultivos agrícolas en el Estado de Michoacán. UMSNH. Revista Biológicas, 15(1): 63 – 74.

Guzmán, Ó. A, Castaño, Z. J. & Villegas, E. B. 2012. Principales nematodos fitoparásitos y síntomas ocasionados en cultivos de importancia económica. Agron.20 (1):38 – 50,2012.

Hugot, J. P., P. Baujard y S. Morand. 2001. Biodiversity in helminths and nematodes as a fi eld of study: an overview. Nematology 3:99-208.

Mai, W. F. y Lyon, H. H. 1975. Pictorial key to genera of plant-parasitic nematodes. 4a Ed. Cornell University press. Ithaca and London. 200 pp.

Thorne, G. 1961. Principles of nematology. McGraw-Hill Co. New York. 552 pp.

Referencias de internet

Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/ (Accesada en Octubre de 2015).

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EFECTO DE LA GEOMETRÍA DE AGITACIÓN EN EL CULTIVO DE *Trichoderma harzianum*, CEPA AISLADA DE MUESTRAS DE SUELO COLECTADAS EN NUEVO LEÓN.

Sanjuan-Galindo, R.[1*]; Sepúlveda-Uribe, A.-L.[2]; Rojas-Estrada, J.-A.[3]; Caballero-Hernández, M.[4]; Ramos-Delgado, N. A. J.[5]

[1]Centro de Investigación e Innovación Tecnológica - Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Nuevo León. Cd. Guadalupe, Nuevo León. México.
[2]Universidad Tecnológica Gral. Mariano Escobedo. General Escobedo, Nuevo León. México.
[3]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Nuevo León. Cd. Guadalupe, Nuevo León. México.
[4]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Nuevo León. Cd. Guadalupe, Nuevo León. México.
[5]Catedrática CONACYT. Centro de Investigación e Innovación Tecnológica - Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Nuevo León. Cd. Guadalupe, Nuevo León. México.

*Autor responsable: renesg1@yahoo.com.mx; Av. de la Alianza Núm. 507, Interior del Parque de Investigación e Innovación Tecnológica, Km 10 de la autopista al Aeropuerto Internacional Mariano Escobedo, Apodaca, Nuevo León. México. CP 66629; Tel. +52(81)-8157-0500 ext. 140.

Resumen

Un indicador de la calidad del suelo es la presencia y diversidad de microorganismos. De éstos, son varios los que tienen el potencial para ser usados localmente como agentes de remediación, para el control biológico o para producir metabolitos de interés industrial. En el presente trabajo se describe el cultivo *in vitro* en medio líquido del hongo miceliar *T. harzianum*, aislado en la Zona Metropolitana de Monterrey. Se reportan datos de la producción de biomasa y del consumo de carbohidratos. Se comparó el efecto de la hidrodinámica de agitación usando dos geometrías: matraz erlenmeyer de paredes regulares y matraz con hendiduras. Los datos cinéticos se modelaron usando un modelo sigmoidal de cuatro parámetros.

Palabras clave

Hidrodinámica; *Trichoderma harzianum*; microbiota en suelo de Nuevo León

Introducción

La zona metropolitana de Monterrey (ZMM) se sitúa en la región noreste de México, es la tercera región más poblada y uno de los tres polos industriales más grandes en el país. Su altitud es de 500 msnm y la temperatura promedio oscila entre los 10°C y los 35°C, siendo el periodo de mayo a agosto cuando se registra la temperatura más alta. La zona es limítrofe a la cordillera de la Sierra Madre Oriental, de esta forma hay un efecto en las corrientes atmosféricas, en la regulación de la temperatura local, en la humedad atmosférica, en la retención y/o dispersión de contaminantes atmosféricos y partículas suspendidas. Diversos factores como la quema de combustibles derivados de hidrocarburos, la creciente flota de transporte urbano y la intensa actividad industrial contribuyen para que la calidad del aire en la ZMM sea la más afectada no solo a nivel nacional sino también en

Latinoamérica (Lopez-Reyes, 2016). Bajo estas circunstancias, se desarrollan condiciones para que los contaminantes suspendidos en el aire sean llevados y depositados por el viento y la lluvia hasta el suelo de las montañas, el cual es hospedero de diversas especies de flora característica de la región y de fauna, como son mamíferos, aves, reptiles, insectos, etc.

La microbiota que coloniza estas zonas, es un indicador de la calidad del suelo (Muñoz-Rojas, 2018). Los hongos son parte de la diversidad de microorganismos que desempeñan funciones imprescindibles como son la degradación de la materia orgánica y la interacción con los contaminantes residuales. Los hongos llegan a crear relaciones simbióticas con otras especies, inhiben el crecimiento de especies invasivas, y se convierten en el alimento de otras especies. Una de las especies de hongo miceliar que es común de encontrar en el suelo es *Trichoderma harzianum* (Khan y Mohiddin, 2018), el cual pertenece al grupo de los ascomicetos. La importancia del estudio de este hongo radica en su capacidad de producir las enzimas quitinasa, glucanasa y celulasa. Hongos del género *Trichoderma* también se han utilizado como agentes biológicos para controlar especies patógenas de ciertos cultivos, y se han estudiado como estimulantes del crecimiento de plantas (Kolombet *et al*., 2000; Shuster y Schmoll, 2010). Se ha reportado su capacidad para degradar pesticidas del tipo de los organoclorados y organofosforados tal como el β-Cyfluthrin, dieldrin, aldrin, arbendazim, acetocloro, simazine, chlorpirifos, EPTC (Saikia y Gopal, 2014; Mahanty *et al*., 2017). También se ha reportado su uso en procesos de remediación de aguas o de suelos contaminados contenientes de residuos químicos que provienen de la industria, por ejemplo: polifenoles, cianuro, arsénico, nitratos, y e hidrocarburos (Harman *et al*., 2004; Tripathi *et al*., 2013). Los resultados que se reportan en el presente estudio corresponden a una cepa de *T. harzianum*, aislada en muestras de suelo en un punto situado en las montañas que rodean la ZMM. Por su nivel de adaptación a las condiciones climáticas locales, su caracterización cinética permitirá su producción a mayor escala, para aplicarse como agente de control biológico y también con fines de remediación de suelos. Por ello, el presente trabajo tiene el objetivo de estudiar la cinética de crecimiento de la cepa en condiciones de cultivo sumergido, empleando dos geometrías diferentes.

Materiales y Métodos

Material biológico

La cepa utilizada en el presente estudio fue aislada en muestras de suelo colectadas en una zona boscosa de la periferia de la ZMM, en las inmediaciones de la cordillera de la Sierra Madre Oriental, a 1,100 m de altitud, latitud 25.643182 y longitud -100.245311. La conservación de la cepa se hizo en placas de Agar Papa Dextrosa (39 g/l, PDA, BD Bioxon, México). A partir de técnicas genéticas de amplificación de la región interna transcrita (ITS), la cepa aislada se identificó como *Trichoderma harzianum*. Posteriormente, fue crecida en cultivos en Agar Extracto de Malta (33.6 g/l, MEA, DIBICO, México) para obtener esporas, que se recuperaron siguiendo la metodología descrita en el trabajo de Plascencia *et al*. (2003). Brevemente: 5 ml de una solución estéril conteniente de 0.1% de Tween 80 se vaciaron sobre la superficie del agar donde creció el hongo, se incorporó una barra magnética y se hizo rotar durante 5 min. Se recuperó la solución con las esporas y se conservó a 5°C. La concentración resultante fue determinada por conteo en una cámara Neubauer, de la que se reportó 8×10^6 esporas/ml.

Condiciones de crecimiento

El cultivo sumergido se desarrolló en matraz Erlenmeyer de 250 ml, a 30ºC y en ausencia de luz. Se ensayó el efecto de 2 geometrías: matraces de paredes regulares y también con hendiduras internas, las cuales previenen la formación de vórtices en la misma forma en que lo hacen las mamparas en un tanque de agitación. El volumen de trabajo fue de 120 ml y se mantuvo en agitación orbital de 180 rpm. La cuantificación de la biomasa producida se hizo en base seca en muestras extraídas de manera frecuente. La concentración de carbohidratos en el sobrenadante se determinó por el método descrito por DuBois *et al*. (1956).

Resultados y Discusión

Morfología de la cepa de estudio

El hongo fue sembrado en el centro de la superficie de agar en una caja Petri. Su crecimiento fue en dirección radial y en 4 días cubrió la superficie de 9 cm de diámetro. La morfología del crecimiento de *T. harzianum* sobre la superficie de Agar Extracto de Malta se muestra en la Figura 1a.

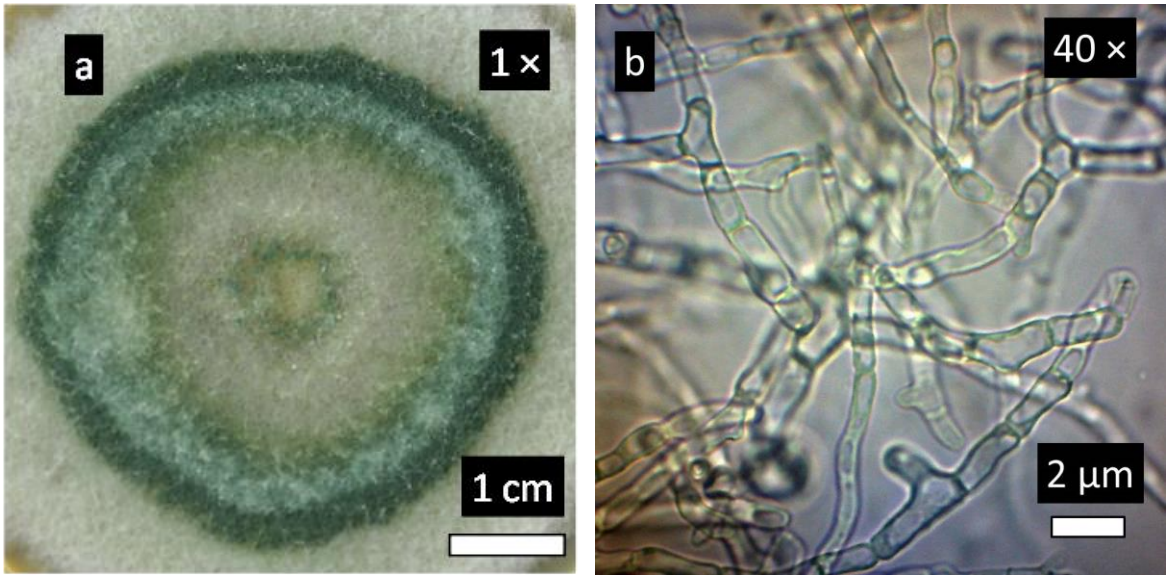


Figura 1. Morfología de *Trichoderma harzianum* crecido en ausencia de luz en Agar Extracto de Malta a 30ºC. a) Crecimiento sobre la superficie del agar y b) Micrografía del micelio, imagen tomada en un microscopio de contraste de fases.

El aspecto algodonoso del micelio registró la formación de anillos de coloración verdosa y heterogénea, en forma cuasi-circular. Esta característica se ha reportado en la literatura, para el phylum Ascomicota, como el indicador de la formación de conidióforos (Grondona *et al*., 1997, Webster and Weber, 2017). Su formación se observó 3 o 4 días después de la siembra del inoculo, caracterizan la maduración del cultivo y son las unidades que desarrollan la reproducción asexual.

En la Figura 1b se muestra la morfología de las hifas y la microestructura que desarrollan para conformar el micelio. La imagen fue tomada a través de un ocular de 40× en un microscopio de contraste de fases.

Cinética de crecimiento

La información cinética de la producción de biomasa (X) y del consumo de carbohidratos (C/C_0) de los cultivos desarrollados en las dos geometrías se presenta en la Figura 2. El crecimiento en el matraz de paredes regulares se muestra en la Figura 2a, mientras que datos del crecimiento en el matraz con endiduras se muestran en la Figura 2b. Los datos experimentales se ajustaron al modelo de regresión sigmoidal de 4 parámetros como se describe en Chavarría-Hernández *et al*. (2006).

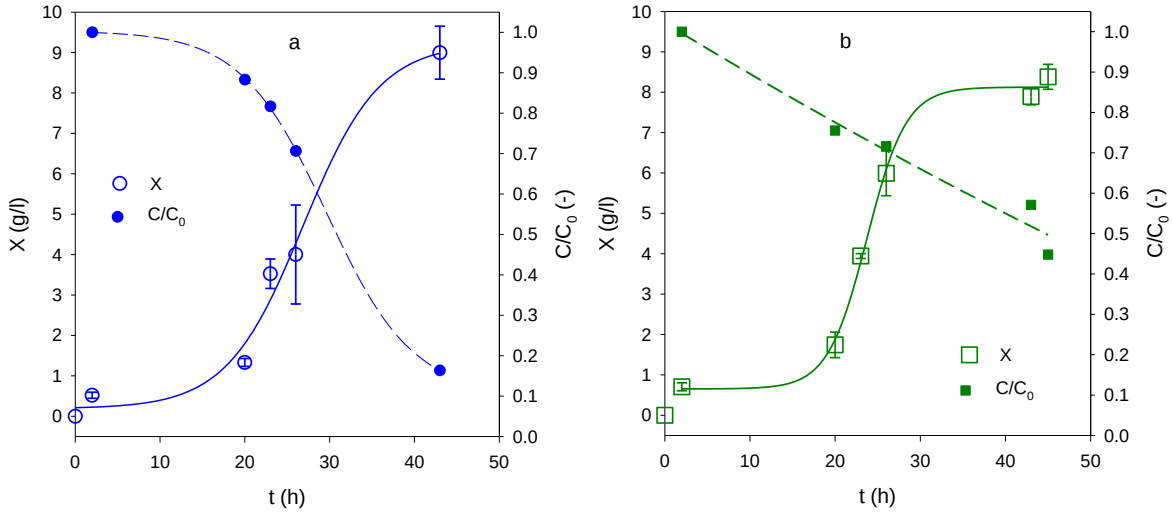


Figura 2. Cinética de la producción de *Trichoderma harzianum* en Caldo de Extracto de Malta a 30ºC y 180 rpm. Comparación de la producción de biomasa (X) y del consumo de carbohidratos (C/C_0) en dos geometrías diferentes. a) Matraz con paredes regulares y b) Matraz con hendiduras.

En ambas geometrías, la cinética inició con una fase de adaptación, de alrededor de 20 h, en la que no hubo crecimiento. Posteriormente, se desarrolló la fase exponencial y se alcanzó la máxima concentración de biomasa. En el caso del matraz con paredes normales (Figura 2a) la fase exponencial tuvo una duración de 20 h, se observa que la pendiente de la curva de crecimiento tiene una menor inclinación con respecto a la que se observa en la Figura 2b, correspondiente al matraz con hendiduras. Del cual destaca la fase de crecimiento exponencial reducida a 12 h, en la curva de ajuste es notorio que tiene mayor pendiente. Este dato es importante, porque la pendiente de la curva está relacionada con la velocidad de crecimiento, factor a considerar en el escalamiento de su producción. La biomasa producida en las condiciones del matraz con paredes normales registró hasta 9 g/l, esta cantidad supera la que se obtuvo en el matraz con hendiduras que fue de 8 g/l. En el primer caso, el consumo máximo de carbohidratos fue de hasta el 70 % de la concentración de inicio; mientras que, en el segundo caso, el consumo registrado fue del 50 % del contenido inicial. *T. harzianum* es un microorganismo aerobio obligado, por lo que las diferencias descritas en la fase exponencial sugieren que, durante la agitación, el matraz con hendidura promueve mayor captura y distribución de aire

(oxígeno) en el caldo de cultivo. Otro factor que determina la producción de biomasa y que debe ser estudiado es el tamaño de los pellets, pues la disponibilidad de sustrato y de oxígeno está limitado para las hifas posicionadas en el centro del pellet.

Conclusiones

En la literatura se han descrito numerosos aspectos bioquímicos de *T. harzianum*. Sin embargo, no se reportan suficientes datos cinéticos del cultivo. La cepa de hongo miceliar que se estudió fue colectada en muestras de suelo en Nuevo León, y fue identificado mediante métodos moleculares. Su caracterización cinética y la identificación de los metabolitos que produce podrían permitir su aplicación local con diferentes proósitos. En el presente estudio se evaluaron el crecimiento y el consumo de carbohidratos de *T. harzianum* en cultivo sumergido desde el punto de vista hidrodinámico, usando dos geometrías distintas de matraz: de paredes regulares y con hendiduras. Los resultados sugieren que el efecto de la geometría está vinculado a la velocidad de crecimiento.

Agradecimientos

Los autores agradecen la asistencia del estudiante J.M. Flores-Mejía y del M.C. R. Ramírez-Cortés.

Referencias

Chavarría-Hernández N, J.J. Espino-García, R. Sanjuan-Galindo and A.I. Rodríguez-Hernández. 2006.Monoxenic liquid culture of the entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae* using a culture medium containing whey. Kinetics and modeling. J. Biotechnol., 125: 75-84.

DuBois M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers, and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal Chem. 28:350-356.

Grondona, I., R. Hermosa, M. Tejada, M.D. Gomis, P.F. Mateos, P.D. Bridge and I. Garcia-Acha. 1997. Physiological and biochemical characterization of *Trichoderma harzianum*, a biological control agent against soilborne fungal plant pathogens. Appl. Environ. Microbiol. 63: 3189-3198.

Harman G.E., J.M. Lynch and M. Lorito. 2004, Stable self-organizing plant-organism system for remediating polluted soils and water. US 2004/0261578 A1 Patent application publication.

Khan M.R., and F.A. Mohiddin. *Trichoderma*: its multifarious utility in crop improvement. En: Prasad R., S.S. Gill and N. Tuteja (Eds). 2018. New and Future Developments in Microbial. Biotechnol. Bioeng. Crop improvement through microbial biotechnology. Cap. 13. 263-291

Kolombet L.V., S.K. Jigletsova, V.V. Derbyshev, D.V. Ezhov, N.I. Kosareva and E.V. Bystrova. 2000. Studies of mycofungicid, a preparation based on *Trichoderma viride*, for plant infection control. Appl. Biochem. Microbiol. 37: 98-102.

Lopez-Reyes A., G. Orozco-Rivera, K. Acuna-Askar, J.F. Villarreal-Chiu and J.M. Alfaro-Barbosa. 2016. Characterization of atmospheric black carbon in particulate matter over the Monterrey metropolitan area, Mexico, using scanning electron microscopy. Air Qual. Atmos. Health. 9: 233-229.

Muñoz-Rojas M. 2018. Soil quality indicators: critical tools in ecosystem restoration. Environ Sci Health. 5:47-52.

Plascencia-Jatomea M., G. Viniegra, R. Olayo, M. M. Castillo-Ortega, and K. Shirai. 2003. Effect of chitosan and temperature on spore germination of *Aspergillus niger*. Macromol Biosci. 3:582-586.

Saikia N and M. Gopal. 2004. Biodegradation of β-Cyfluthrin by fungy. J. Agric. Food Chem. 52: 1220-1223.

Shuster A., and M. Schmoll. 2010. Appl Microbiol Biotechnol. 87: 787–799.

Tripathi P., P.C. Singh, A. Mishra, P.S. Chauhan, S. Dwivedi, R.T. Bais and R.D. Tripathi. 2013. *Trichoderma*: a potential bioremediator for environmental clean up. Clean Technol. Environ. Policy, 15: 541-550.

Wester J. and R.W.S Weber. 2007. Introduction to fungi. Cambridge University Press, New York. 3rd Ed. Cap. 8. Pp. 226-249.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS FUNGICAS EN SITIOS CON DIFERENTE MANEJO DE SUELO EN TLALPAN, CDMX

Castellanos-Moguel, J.[1*]; Cano-Flores, O.[2]; Vela-Correa, G.[2]

[1]Laboratorio de Micología, Departamento El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, CDMX. México.
[2]Laboratorio de Edafología, Departamento El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, CDMX. México.

*Autor responsable: mjmoguel@corrreo.xoc.uam.mx; Calzada del Hueso 1100 Col. Villa Quietud, CDMX, México. C. P. 04960; Tel. +52(55)54837226

Resumen

Los hongos de suelo proporcionan diversos servicios ecosistémicos y son fundamentales para la sustentabilidad del ecosistema. Se hicieron aislamientos de hongos filamentosos en dos suelos con diferente manejo en la delegación de Tlalpan CDMX. El primero en una parcela agrícola con cultivo de papa y el segundo en un piedemonte con uso forestal de *Pinus monezumae –Quercus spp.* Para determinar el número de unidades formadoras de colonias (UFC)/g de suelo, se empleó el método de placas de Warcup modificado, utilizando medio Czapeck adicionado con cloranfenicol. Las cajas se incubaron a 28ºC de 7 a 11 días y se cuantificaron las colonias. De acuerdo con la morfología colonial de los aislamientos, se obtuvieron hongos filamentosos, levaduras y actinomicetos. En el cultivo de papa, se obtuvieron solamente colonias fúngicas. asimismo, fue el sitio con menor cantidad de UFC/g de suelo ($4.0x10^5$), mientras que en el piedemonte se encontraron $1.1x10^6$ UFC/g de suelo de hongos filamentosos, $6.0x10^5$ UFC/g de suelo de levaduras y $3.0x10^5$ UFC/g de suelo de actinomicetos, todos estos microorganismos participan en el ciclaje de nutrimentos, forman humus, mineralizan material orgánico y mantienen bajas las poblaciones de fitopatógenos. De acuerdo con los resultados obtenidos, el manejo de suelo más adecuado para la zona es el forestal.

Palabras clave:
Hongos filamentosos, unidades formadoras de colonias, usos de suelo.

Introducción

Los hongos filamentosos son organismos que viven en el suelo y proporcionan diversos servicios ecosistémicos, entre los que se encuentran el ciclado y almacenamiento de los nutrimentos, fertilidad del suelo, formación de materia orgánica y por lo tanto, son fundamentales para la sustentabilidad del ecosistema (Mabuhay, 2003). Dependiendo del manejo que se dé a los suelos, la comunidad microbiana puede alterarse, y los procesos ecosistémicos modificarse de manera negativa. Dicha comunidad microbiana está relacionada con el tipo de suelo, el clima, los otros organismos presentes, así como las comunidades vegetales dominantes (Pacasa-Quisbert, *et al.*, 2017). En la Ciudad de México, existen zonas con Suelo de Conservación, donde aún hay áreas forestales, ese es el caso de el Ejido Parres y la Estación la Cima, ambos en la delegación Tlalpan. El ejido Parres se encuentra en una zona considerada como de transición entre lo rural y lo urbano, y aunque el suelo no está considerado apto para la agricultura por ser altamente pedregoso, consta con áreas donde existen parcelas que se rentan para el cultivo de avena, otros forrajes y papa (SRA,

2012). En cuanto a la Estación La Cima, es una zona forestal, donde predomina el bosque de pino-encino (Inafed, S/A). El objetivo de este trabajo fue comparar la cantidad de unidades formadoras de colonias (UFC) fúngicas en dos sitios de la Delegación Tlalpan, CDMX, con diferente manejo de suelo.

Materiales y Métodos

Se tomaron muestras de suelos en dos sitios. El primero corresponde a una parcela que se ubica en los 19º07'47.6" N y 99º10'49.1"O, utilizada para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum)* en el Ejido de Parres, que se encuentra a una altitud de 2,999 msnm. Mientras que el segundo sitio corresponde a un sitio forestal en la Estación La Cima que se ubica en los 19º06'48.8" N y 99º11'45.3" O a una altitud: 3,034 msnm, en el piedemonte de un cono de escoria volcánica con vegetación predominante de *Pinus montezumae-Quercus* spp., donde también están presentes musgos y pastos del genero *Stipa toluquense* ambos sitios ubicados en Tlalpan, CDMX. Las muestras que se tomaron fueron compuestas a una profundidad de 0 a 40 cm en ambos casos, las cuales se manejaron como especímenes biológicos y se mantuvieron en refrigeración durante el traslado y hasta su procesamiento en laboratorio.

Cuadro 1. Características tomadas en cuenta para definir el tipo de microorganismo aislado de acuerdo con la morfología colonial (Mier et al., 2002).

	Característica	Hongos filamentosos	Levaduras	Actinomicetos
Aspecto	Color del anverso y reverso de las colonias	X	X	X
	Rugoso			X
	Polvoso	X		
	Velloso	X		
	Cerebriforme			X
	Lanoso	X		
	Flocoso	X		
	Butiráceo		X	
	Algodonoso	X		
	Mucilaginoso		X	
	Zonado	X		X
	Aterciopelado	X		
	Brilloso		X	
	Plegado	X		X
	Pulvurulento	X		
	Dura	X		X
Consistencia	Blanda		X	
	Media	X	X	
	Elástica		X	
Superficie	Plana	X	X	
	Convexa	X	X	X
	Umbonada			X
Exudado	Exudado	X		
	Pigmento	X	X	X
	Difusión al medio de cultivo	X	X	X

Para determinar la consistencia fue necesario manipular las colonias con un asa micológica

Aislamiento de hongos

Se realizaron aislamientos utilizando el método de Placas de Warcup modificado (Mier et al., 2013). Para tal fin, se pesaron 25 g de suelo tamizado previamente y se adicionaron a 225 mL de Tween 80 al 0.5% estéril. Se hicieron diluciones decimales, de las cuales se tomaron 100 □l y se depositaron en el fondo de

cajas de Petri a las cuales se les agregó medio Czapeck estéril, fundido y frio, adicionado con 500 mg/L de cloramfenicol, para obtener colonias puras. Las cajas se incubaron a 28ºC de 7 a 11 días para permitir el desarrollo de las colonias. Pasado el tiempo de incubación, se cuantificó el número de UFC y se calculó la cantidad de las mismas por gramo de suelo. Tomando en cuenta la morfología colonial, se cuantificaron hongos filamentosos, levaduras y actinomicetos (Cuadro 1). Cada prueba se realizó por triplicado, a partir de siembras distintas en días diferentes y se trabajaron en lotes de tres repeticiones cada uno.

Resultados y Discusión

En ambos sitios de muestreo se obtuvieron aislamientos de hongos filamentosos, sin embargo en la Estación La Cima, también se encontraron levaduras y actinomicetos. El medio utilizado para las placas de Warcup, es un medio adecuado para el aislamiento de dichos organismos (Pérez-Corral *et al.*, 2015; Dávila-Medina *et al*., 2013). De acuerdo con la morfología colonial observada, se consideraron levaduras a aquellos organismos con una consistencia mucilaginosa, butirácea y brillosa. Es importante mencionar que debido a la gran cantidad de antibiótico adicionada al medio, es improbable que se trate de bacterias. Se observaron colonias secas, plegadas y no cremosas, con producción de pigmentos y difusión de los mismos al medio, lo que corresponde a la macromorfología de los actinomicetos (Parada *et al.*, 2017).
La Figura 1 muestra la cantidad de UFC aislados por sitio, los hongos filamentosos fueron los organismos que se encontraron tanto en la parcela de papa como en el piedemonte de la Estación la Cima. Sin embargo, en este ultimo sitio fueron mas abundantes, ya que se obtuvieron $1.1x10^6$ UFC/g de suelo en comparación con las $4.0x10^5$ UFC/g de suelo en Parres. La ausencia de levaduras en este último sitio, sugiere que la adición de agroquímicos ha tenido un efecto negativo sobre la diversidad de organismos del suelo y el ciclado de nutrimentos.

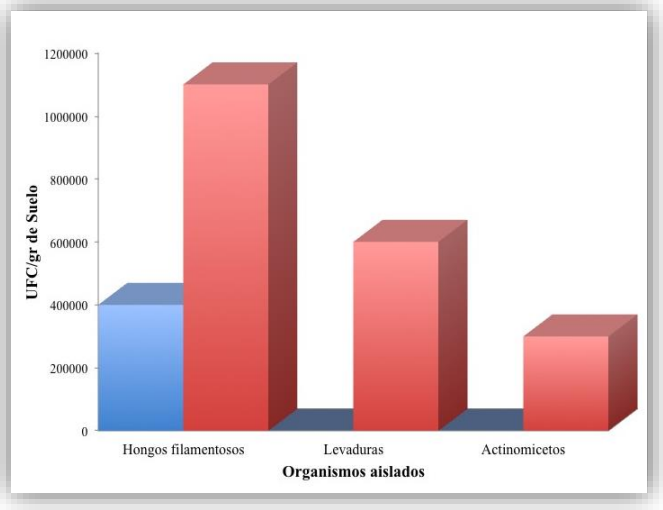


Figura 1. Comparación de UFC/g de suelo de los diversos organismos aislados en los dos sitios de muestreo. El color azul corresponde a la parcela de papa en Parres y el rojo a la Estación El Guarda, Tlalpan CDMX.

Los actinomicetos, son de los organismos más abundantes en el suelo. Sin embargo, la ausencia de aislamientos de los mismos en la parcela de *Solanum tuberosum* en Parres, indica que ha sido manejada con agroquímicos, ya que éstos inhiben su crecimiento. Esto permite que proliferen los microorganismos

patógenos para los cultivos, ya que los actinomicetos producen compuestos bioactivos con actividad antagonista para los hongos y bacterias fitopatógenas (Franco-Correa, 2009).

La presencia de actinomicetos en el suelo forestal de la Estacion La Cima, sugiere que el suelo está en condiciones adecuadas para el ciclaje de nutrimentos ya que, junto con los hongos filamentosos, forman humus, mineralizan materia orgánica y como ya se mencionó anteriormente mantienen bajas las poblaciones de organismos fitopatógenos. Asimismo, mejoran la estructura del suelo y mantienen el equilibrio rizosférico (Dávila-Medina *et al.,* 2013). El pH del suelo de esta zona es ligeramente ácido, favoreciendo más a los hongos filamentosos, pero las elevadas cantidades de materia orgánica podrían permitir la presencia de actinomicetos incluyendo en profundidades mayores a los 20 cm.

Conclusiones

- Se obtuvieron aislamientos de hongos filamentosos a partir de las muestras de suelo de dos sitios con manejo diferente en Tlalpan, CDMX.
- El suelo que presentó una mayor cantidad de UFC/g de suelo fue el sitio forestal con cobertura de *Pinus montezumae-Quercus* spp. en la Estación La Cima, con $1.1x10^6$ UFC/g de suelo en comparación con las $4.0x10^5$ UFC/g de suelo en la parcela de papa (*Solanum tuberosum*) en el poblado de Parres.
- En el suelo de la Estación La Cima se encontraron levaduras y actinomicetos, que pueden ser indicadores de salud del suelo, así como de un adecuado ciclado de nutrimentos, particularmente por su uso forestal, por lo que es más adecuado conservar las zonas boscosas que cambiar el uso de suelo.

Referencias

Dávila-Medina, M.D., G. Gallegos-Morales, F.D. Hernández-Castillo, Y.M. Ochoa-Fuente, A. Flores-Olivas. 2013. Actinomicetos antagónicos contra hongos fitopatógens de importancia agrícola. Rev. Mex. Cienc. Agr. 4: 1187-1196.

Franco-Correa, M. 2009. Utilización de los actinomicetos en procesos de biofertilización. Rev. Peru. Biol. 16: 239-242.

Inafed. S/A. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México: Tlalpan. www.siglo.inafed.gob.mx. Fecha de consulta: 13/08/2018.

Mabuhay, J.A., N. Nagoshi, T. Horikoshi. 2003. Microbial biomass and abundance after forest fire in pine forest in Japan. Ecol. Res. 18:431-441.

Mier, T., C. Toriello, M. Ulloa. 2002. Hongos microscópicos saprobios y parásitos: Métodos de laboratorio. División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana – Xochimilco. México, D. F.

Mier, T., F Rivera-Becerril, M.A. Ayala-Zermeño, C. Toriello, S. Aguilar Ogarrio y M. Ulloa. 2013. Métodos experimentales para el estudio de hongos microscópicos, Instituto de Biología, UNAM, Universidad Autónoma Metropolitana. México.

Parada, R.B., E.R. Marguet, M. Vallejo. 2017. Aislamiento y caracterización parcial de actinomicetos de suelos con actividad antimicrobiana contra bacteruas multidrogo-resistentes. Rev. Colomb. Biote. 19: 15-23.

Pérez-Corral, D.A., N.Y. García-González, G. Gallegos-Morales, M.F. Ruiz-Cosneros, D.I. Berlanga-Reyes, C. Ríos-Velasco. 2015. Aislamiento de actinomicetos asociados a rizosfera de arboles de manzano antagónicos a *Fusarium equiseti*. Rev. Mex. Cienc. Agr. 6:1629-1638.

SRA. 2012. Cuaderno de alternativas de desarrollo y retos del núcleo agrario-Ejido "El Guarda o Parres" Tlalpan, D.F. Gobierno Federal, Secretaría de la Reforma Agraria, Registro Agrario Nacional, Procuraduría Agraria, Fideicomiso Fondo Nacional de Fomento Ejidal, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, México, D.F. 54p.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

FOSFATASAS INTRA Y EXTRACELULARES DE *BURKHOLDERIA* ASOCIADAS A RAIZ Y RIZOPLANO DE GRAMÍNEAS

Espinosa-Victoria, D.[1*]; Paredes-Mendoza, M.[2]

[1]Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México.
[2]Universidad Tecnológica de Nezahualcóyotl, Estado de México, México.

* Autor responsable: despinos@colpos.mx , despinosstar@gmail.com , Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Estado de México. México. 56230. Tel. +52 (595)-9520244

Resumen

El fósforo elemental, por ser químicamente muy reactivo, se encuentra en el suelo formando compuestos con el calcio, hierro, aluminio y manganeso. La mayor cantidad de fósforo en el suelo se encuentra en forma no disponible. Por esta razón, se ha tratado de incrementar el P disponible para las plantas mediante el empleo de microorganismos solubilizadores de fosfato. Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal que solubiliza fosfato, benefician a las plantas con las que se asocian. Estas bacterias emplean diferentes mecanismos como la síntesis de ácidos orgánicos, la producción fisiológica de protones y la síntesis y excreción de fosfatasas. El objetivo del presente trabajo fue evaluar *in vitro* la producción de fosfatasas ácidas y alcalinas, extracelulares e intracelulares, por bacterias provenientes de la raíz y rizoplano de diferentes gramíneas. Se emplearon 27 aislamientos bacterianos que en un estudio previo mostraron actividad solubilizadora de fosfato *in vitro*. Se empleó el método de Nahas para detectar colonias activas en la producción de fosfatasas, así como el método del nitrofenilfosfato para determinar la actividad fosfatasa. Las fosfatasas alcalinas mostraron mayor actividad que las ácidas, siendo las especies de *Burkholderia* las más eficientes en su producción. *B. cepacia* MC25, aislada de maíz azul, presentó los valores más altos de fosfatasa intra y extracelular alcalina (172.5 y 106 µmol P $mL^{-1}d^{-1}$, respectivamente). La producción de fosfatasas por las cepas evaluadas sugiere su uso como biofertilizantes, dado el potencial de las mismas para contribuir a la utilización del P no disponible del suelo.

Palabras clave

Fosfatasas, *Burkholderia*, Gramíneas

Introducción

El fósforo (P) es uno de los nutrimentos esenciales para el desarrollo de las plantas y se encuentra en baja disponibilidad (0.1 y 1 Kg por ha) en muchos suelos agrícolas (Troeh y Thompson, 1993). Los bajos niveles de este nutrimento se deben a que el fósforo soluble reacciona con iones como el calcio, el hierro o el aluminio que conllevan a su precipitación o fijación, disminuyendo así su disponibilidad para las plantas (Rodríguez y Fraga, 1999). El fósforo orgánico está presente en el suelo en más altas concentraciones que el fosfato inorgánico (Hayes *et al*., 2000). El fósforo

orgánico comprende entre el 20 y el 80 % del total presente en el suelo (Núñez, 2009). Las formas orgánicas del P en el suelo son principalmente los fitatos, ácidos nucleicos y fosfolípidos. El pH es el principal factor que determina la naturaleza y predominancia de los minerales fosfatados del suelo. Así, en suelos neutros o alcalinos la mayor proporción de fosfato se encuentra asociado al calcio. Cuando se utilizan enmiendas cálcicas se fija el fósforo como fosfato tricálcico. Las adiciones sistemáticas y elevadas de fertilizantes fosforados al suelo, van saturando su capacidad de fijación de fósforo, fijando cada vez más lentamente y en menor proporción el fósforo agregado. Debido a esto, menos del 5% de fósforo está disponible para la planta, por lo que el uso de microorganismos del suelo, podría favorecer la asimilación de este elemento (Torriani-Gorinni, 1994). Entre estos microorganismos, se encuentran las bacterias solubilizadoras de fosfato, que emplean diferentes mecanismos como la síntesis de ácidos orgánicos, la producción fisiológica de protones y la producción y excreción de fosfatasas.

El termino genérico "fosfatasas" fue usado para describir a un grupo de enzimas que cataliza la hidrólisis de esteres y anhidros de ácido fosfórico (Murphy y Kantrowitz, 1994). Las fosfatasas alcalinas predominan en suelos alcalinos y las fosfatasas ácidas en suelos ácidos (Eivazi y Tabatabai, 1977). Las fosfatasas son sintetizadas por las raíces de las plantas (Luan, 2003), algunos hongos ectomicorrizícos (Yadav y Tarafdar, 2007) y las bacterias (Sakurai *et al*., 2008). Las plantas producen fosfatasas ácidas, las bacterias y hongos producen fosfatasas ácidas y alcalinas (Eivazi y Tabatabai, 1977). Las fosfatasas ingresan al suelo a través de exudación activa, fuga o lisis celular (Tadano y Sakai, 1991). Las bacterias producen fosfatasas para hidrolizar esteres de fosfato cuando el Pi es limitado, esto es crucial para la supervivencia de las bacterias en el suelo, debido a que ellas no pueden sintetizar fosfato (Casanova *et al*., 2002). Son diversas las fosfatasas y los metabolitos bacterianos que estimulan el crecimiento de las plantas (de Prada *et al*., 1996). Se requiere, primeramente, de la caracterización fenotípica de estos microorganismos benéficos, con la finalidad de seleccionar aquellas cepas con mayor potencial biotecnológico. Así, este trabajo tuvo como objetivo evaluar *in vitro* la producción de fosfatasas ácidas y alcalinas, extracelulares e intracelulares, en bacterias aisladas de la raíz y rizoplano de diferentes gramíneas.

Materiales y Métodos

Material biológico

Se emplearon 27 aislamientos bacterianos, que mostraron solubilización de fosfato *in vitro* (Cuadro 1) en un estudio previo. Los aislamientos seleccionados para este ensayo fueron los que presentaron los halos de solubilización de fosfato más grandes (Figura 1) cuando fueron crecidos en medio de cultivo MMSFCP-Mg (Medio Mínimo para Solubilización de Fosfato Colegio de Postgraduados adicionado con Mg) (Paredes-Mendoza y Espinosa-Victoria, 2018).

Determinación de colonias activas en la producción de fosfatasas

Las colonias activas en la producción de fosfatasas, se detectaron siguiendo el método descrito por Nahas *et al*. (1994). Los aislamientos bacterianos se inocularon en placas de medio Agar Nutritivo y se incubaron a 27 ºC por 3 d. Posteriormente, las placas fueron inundadas con una solución de p-nitrofenilfosfato (0.025 M) en buffer Universal (0.17 M), ajustado el pH a 5.5 y 9.0 para la determinación cualitativa de las fosfatasas ácidas y alcalinas, respectivamente. Se eliminó el excedente de p-nitrofenilfosfato, los medios se incubaron a 37 ºC por 90 min, y después se sometieron a vapores de NaOH. La visualización de halos de color amarillo alrededor de las colonias, indicó la

presencia de fosfatasas en el medio de cultivo.

Cuadro 1. Especies bacterianas y fuente de aislamiento

Cepa	Especie	Fuente
ARC36	*Burkholderia cepacia*	Maíz azul
P37BL	*Burkholderia cepacia*	Maíz criollo
MC25CG	*Burkholderia cepacia*	Maíz azul
1T13	*Burkholderia gladioli*	Trigo
RF1	*Pseudomonas luteola*	Avena
MP35	*Burkholderia cepacia*	Maíz criollo
MC2	*Pseudomonas aeruginosa*	Maíz azul
MP38	*Burkholderia cepacia*	Maíz criollo
MC1	*Pantoea sp*	Maíz azul
AVN	*Pantoea spp 2*	Avena
MC4	*Burkholderia gladioli*	Maíz azul
MP37	*Burkholderia cepacia*	Maíz criollo
CH1	*Burkholderia cepacia*	Cebada
MARC1	*Burkholderia cepacia*	Maíz azul
MC21ML	*Burkholderia cepacia*	Amaranto
MC25	*Burkholderia cepacia*	Maíz azul
MP3	*Burkholderia cepacia*	Maíz criollo
MP36	*Burkholderia cepacia*	Maíz criollo
A-7	*Burkholderia cepacia*	Avena
MP32	*Burkholderia cepacia*	Maíz criollo
NS1	*Burkholderia cepacia*	Cebada
MP37b	*Burkholderia cepacia*	Maíz criollo
CAFEA 20N	*Burkholderia cepacia*	Maíz negro
MP35FS	*Burkholderia cepacia*	Maíz criollo
GT14	*Burkholderia cepacia*	Girasol
RT12	*Burkholderia cepacia*	Trigo
C-20	*Burkholderia cepacia*	Cebada

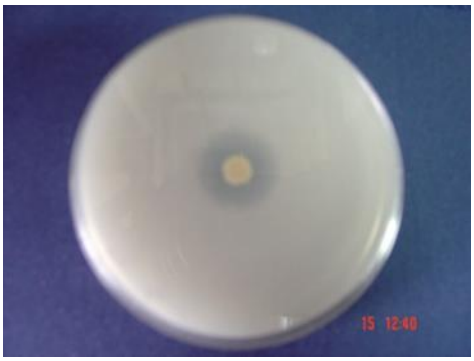


Fig. 1. Halo de solubilización de fosfato de una colonia bacteriana creciendo en medio MMSFCP-Mg, que contenía fosfato tricálcico como fuente de P.

Determinación de la actividad fosfatasa in vitro

Se inoculó por triplicado cada cepa bacteriana en frascos con 50 mL de caldo nutritivo. Los cultivos fueron incubados a 24 ºC por 2 d. Se tomaron 10 mL de cada cultivo y se centrifugaron a 10, 000 rpm durante 10 min. Posteriormente, las bacterias fueron lavadas tres veces con solución buffer universal y centrifugadas nuevamente a 10, 000 rpm durante 5 min. Se añadieron 10 mL de buffer universal (0.17 M) a las células bacterianas, ajustado el pH a 5.5 y 9.0 para la determinación de las

fosfatasas ácidas y alcalinas intracelulares, respectivamente. En seguida, se tomaron 3 mL del buffer al que se le adiciono 1 ml de p-nitrofenilfosfato 0.025 M (Sigma Chemical, St. Louis, Mo.), previamente esterilizado con un filtro de 0.2 µm. Las mezclas de reacción se incubaron por 24 h a temperatura ambiente, y se centrifugaron a 10,000 rpm durante 10 min. A 0.5 mL del sobrenadante le fue añadido 4.5 mL de NaOH (0.5 M). Como controles se usaron medios de cultivo no inoculados. La determinación de la actividad de las fosfatasas ácidas y alcalinas extracelulares se realizó en forma similar a la descrita anteriormente, pero en este caso se emplearon 3 mL del sobrenadante. El control consistió de medio hervido por 15 min y 1 mL de p-nitrofenilfosfato (Antibius *et al*. 1992). La actividad fosfatasa fue medida por la cantidad de nitrofenol del nitrofenilfosfato liberada por el cultivo. Un mol de nitrofenol es equivalente a 1 átomo de fosforo. La absorbancia fue leída a 410 nm usando un espectrofotómetro Beckman DU-6. La actividad fue expresada como µmol P $mL^{-1}d^{-1}$.

Resultados y Discusión

De las 27 cepas empleadas, 21 pertenecen a la especie *Burkholderia cepacia*. Esta especie fue principalmente aislada de rizoplano y rizosfera de maíz, aunque también se encontró en cebada, amaranto, avena, girasol y trigo (Cuadro 1).

En general, las 27 bacterias usadas mostraron actividad fosfatasa. Todas las cepas presentaron actividad fosfatasa intracelular acida y alcalina, con excepción de *B. cepacia* C-20, en la que no se detectó actividad fosfatasa intracelular alcalina. Varias cepas no mostraron actividad fosfatasa extracelular. Las fosfatasas ácidas y alcalinas producidas extracelular e intracelularmente fueron significativamente diferentes entre sí en las bacterias estudiadas. En general, los valores más altos de actividad los presentaron las fosfatasas alcalinas intra y extracelulares (Cuadro 2).

La cepa *B. cepacia* MC25 aislada de maíz azul fue la que presentó mayor actividad fosfatasa alcalina intra y extracelular (172.5 y 106 µmol P $mL^{-1}d^{-1}$, respectivamente). En contraste, la cepa MARC36 de *B. cepacia*, aislada igualmente de maíz azul, exhibió mayor actividad fosfatasa alcalina intracelular.

En el grupo de bacterias evaluado se observó baja actividad de fosfatasas ácidas intra y extracelular. Es probable que esto se deba al hecho de que las fosfatasas ácidas se presentan principalmente en hongos. Casida (1959) y Nahas *et al*. (1994), indicaron que las fosfatasas ácidas, en comparación con las fosfatasas alcalinas, son más comunes entre los hongos del suelo, lo cual pudiera considerase cómo un índice de la actividad metabólica de estos microorganismos.

En términos generales, las diferencias existentes en la producción de fosfatasas ácidas y alcalinas (extracelulares e intracelulares), entre las diferentes bacterias estudiadas, podrían estar asociadas no sólo a los mecanismos de inducción y regulación enzimática (Jonner y Johansen, 2000) o con las demandas nutricionales y la disponibilidad de nutrimentos (Dighton, 1991), sino también con las diferentes combinaciones e interacciones de las isoenzimas de las fosfatasas (Kroehler, 1988). Es decir, estas diferencias pueden estar controladas poligenéticamente (Kropp, 1990).

El género *Burkholderia* comprende bacilos rectos, Gram negativos, oxidasa y catalasa positivos Son bacterias móviles con un flagelo polar único o bien con un penacho de flagelos polares según la especie. También son mesófilas y no esporuladas. Se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza y se aíslan del suelo, el agua y de las plantas. Se ha reportado que las especies de *Burkholderia* están involucradas en procesos de biorremediación a través de la degradación de compuestos aromáticos, promoción del crecimiento de las plantas mediante la solubilización de fosfatos y control biológico *in vitro* por la producción de sideróforos (Caballero-Mellado *et al*., 2007).

Aunque en el presente trabajo, todas las cepas de *B. cepacia* resultaron ser productoras de fosfatasas, se sugiere que antes de emplearse agronómicamente, se evalúe su potencial patogénico para seres humanos, ya que esta especie es conocida como un patógeno oportunista en hospitales, asociada también con la fibrosis quística (Gil, 2001).

Cuadro 2. Actividad fosfatasa ácida y alcalina (extracelulares e intracelulares) determinada en cultivos de bacterias aisladas de raíz y rizoplano de gramíneas.

Cepa	Fosfatasas extracelulares alcalinas	Fosfatasas extracelulares ácidas	Fosfatasas intracelulares alcalinas	Fosfatasas intracelulares ácidas
	μ mol P $mL^{-1}d^{-1}$			
MARC36	61.4 f	36.8 jkl	118.0 b	45.2 h
MP37BL	ND	1.7 z	21.4 rs	28.0 p
MC25CG	ND	ND	31.0 no	35.0 klm
1T13	ND	ND	8.2 wxy	39.3 i
RF1	ND	ND	45.2 h	1.0 z
MP35	19.5 st	ND	39.0 ij	34.9 klm
MC2	ND	2.4 z	7.8 wxy	21.4 rs
MP38	8.5 wx	ND	34.5 lm	27.1 pq
MC1	8.5 wx	ND	65.9 e	27.0 pq
AVN	ND	ND	15.2 u	25.5 q
MC4	1.0 z	ND	8.6 wx	6.6 xy
CH1	11.0 v	14.4 u	49.6 g	5.3 z
MARC1	1.9 z	3.0 z	32.8 mn	31.3 n
MC21ML	7.3 xy	ND	115.0 c	32.9 mn
MC25	106.0 d	ND	172.5 a	32.9 mn
MP3	2.9 z	1.5 z	41.1 i	45.2 h
MP36	23.2 r	ND	28.0 p	28.8 op
A-7	27.0 pq	ND	49.3 g	30.8 no
MP32	27.0 pq	ND	36.8 jkl	30.8 no
NS1	14.3 u	1.0 z	49.3 g	34.9 klm
MP37b	1.0 z	10.3 vw	39.4 i	37.0 jk
CAFEA 20N	8.0 wxy	ND	41.1 i	30.8 no
MP35FS	18.2 t	ND	49.4 g	11.5 v
GT14	5.0 z	ND	2.0 z	3.3 z
RT12	ND	ND	6.6 xy	11.5 v
C-20	ND	ND	ND	11.5 v
MP37	2.2 z	ND	1.0 z	6.2 xy

ND = No se detectó actividad fosfatasa. Las cifras seguidas de letras diferentes no son estadísticamente significativas ($p< 0.05$).

Conclusiones

De las 27 cepas estudiadas, la cepa *Burkoholderia cepacia* MC25, aislada de maíz azul, presentó la más alta producción de fosfatasas alcalinas intra y extracelulares. Debido a esta propiedad, esta cepa podría usarse en la inoculación de gramíneas y de otros cultivos de interés agrícola, en suelos donde en fósforo se encuentra indisponible. No obstante, antes de emplearse en actividades agrícolas, se recomienda evaluar el potencial patogénico para seres humanos, ya que esta especie es una oportunista nosocomial, asociada a la fibrosis quística.

Referencias

Antibius, R. K., R. L. Sinsabugh, A. E. Linkins. 1992. Phosphatase activities and phosphorus uptake from inositol phosphate by ectomycorrhizal fungi. *Canadian Journal of Botany* 70:794-800.

Caballero-Mellado, J., J. Onofre-Lemus, P. Estrada-de los Santos and L. Martínez-Aguilar. 2007. The tomato rhizosphere, an environment rich in nitrogen-fixing *Burkholderia* species with capabilities of interest for agriculture and bioremediation. Appl. Environ. Microbiol. 73:5308-5319.

Casanova, E., A, M. Salas, M. Toro. 2002. The use of nuclear and related techniques for evaluating the agronomic effectiveness of phosphate fertilizers, in particular rock phosphate, in Venezuela: initial available P and its changes in soils amended with rock phosphate. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 63:13-20.

Casida, L.E. 1959. Phosphatase activity of some common soil fungi. Soil Sci. 87: 305-310.

De Prada, P., J. Loveland-Curtze, J. E. Brenchley. 1996. Production of two extracellular alkaline phosphatases by a psychrophilic arthrobacter strain. Appl Environ Microbiol 62(10):3732-8.

Dighton, J. 1991. Acquisition of nutrients from organic sources by mycorrhizal autotrophics plants. *Experientia* 47: 362-369.

Eivazi, H., & M. A. Tabatabai. 1977. Phosphatases in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 9: 167-172.

Gil, D.M. 2001. Bacteremia de curso fatal por *Burkholderia cepacia*: Revisión de la literatura a propósito de un caso clínico. *Rev Chil Infect* 18 (1): 41-44

Hayes, J.E., Richardson, A.E., Simpson, R.J. 2000. Components of organic phosphorus in soil extracts that are hydrolysed by phytase and acid phosphatase. *Biology and Fertility of Soils* **32**; 279–286.

Joner, E. J., and A. Johansen. 2000. Phosphatase activity of external hyphae of two arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycol Res*104: 81-86.

Kroehler, C. 1988. The effects of organic and inorganic phosphorus concentration on the acid phosphatase activity of ectomycorrhizal fungi. *Can J Bot* 66: 750-756

Kropp, B. R. 1990. Variation in acid phosphatase activity among progeny from controlled crosses in the ectomycorrhizal fungus *Lacaria bicolor*. *Can J Bot* 68: 864-866.

Luan, S. 2003. Protein phosphatases in plants. *Annu. Rev. Plant Biol*. 54, 63-92.

Murphy, J. E., & E. R. Kantrowitz. 1994. Why are mammalian alkaline phosphatases much more active than bacterial alkaline phosphatases? *Mol Microbiol* 12: 351–357.

Nahas, E., F. Centurion, and L. C. Assis.1994. Microrganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatases de vários solos. *Rev. Bras. Cien. Solo*. 18: 43-48.

Núñez, E.R. 2009. El suelo como medio natural en la nutrición de los cultivos. In: Nutrición de cultivos. Alcantar González G. y Trejo-Téllez, L. (Editores). CP-Mundiprensa: 93-157.

Paredes-Mendoza & Espinosa-Victoria, 2018. Evaluation of culture media for isolation of phosphate solubilizing bacteria. In Press.

Rodríguez, H. & R. Fraga. 1999**.** Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion Biotechnol. Adv. 17:319-339. Rodríguez, H., T. Gonzalez, and G. Selman. 2001. Expression of a mineral phosphate solubilizing gene from *Erwinia herbicola* in two rhizobacterial strains. *J. Biotechnol*. 84: 155-161.

Sakurai, M., J. Wasaki, Y. Tomisawa, T. Shinato & M. Osaki. 2008. Analysis of bacterial communities on alkaline phosphatase genes in soil supplied with organic matter. *Soil Science Plant Nutrition* 54: 62–71.

Tadano, T., & H. Sakai. 1991. Secretion of acid phosphatase by the roots of several crop species under phosphorus- deficient conditions. *Soil. Sci. Plant Nutr*. 37:129-140.

Torriani-Gorini, A. 1994. Regulation of phosphate metabolism and transport. pp. 1-4. *In:* A. Torriani-Gorini, E. Yagil, and S. Silver (eds). Phosphate in microorganisms: Cellular and Molecular Biology. ASM Press. Washington, DC, USA.

Troeh, F. R., and L. M. Thompson. 1993. Soils and Soil Fertility, 5th Ed. New York: Oxford University Press.

Yadav, B. K., J. C. Tarafdar. 2007. Availability of unavailable phosphate compounds as a phosphorus source for clusterbean (Cyamopsis tetragonoloba (L.) Taub.) Through the activity of phosphatase and phytase produced by actinomycetes. Journal of Arid Legumes 4:110-11.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

PROTOZOOS DE LA RIZOSFERA: FUNCIONALIDAD DE AMEBAS DESNUDAS, CILIADOS Y FLAGELADOS EN SUELOS PERTURBADOS

Cortés-Pérez Sandra.[1*]

[1] **Área de Microbiología, Postgrado de Edafología Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas Km 36.5 Carretera Federal México-Texcoco, Montecillo 56230, Estado de México.**

*Autor responsable: sandracortesperez@yahoo.com.mx; Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas Km 36.5 Carretera Federal México-Texcoco, Montecillo 56230, Estado de México; Tel. +52-(55) 5804 5900 ext. 1280.

Resumen

Los protozoos son los depredadores microbianos más abundantes en el suelo debido a su gran diversidad de formas de alimentación. Son elementos muy importantes en el proceso de reciclaje de los nutrimentos debido a que la función principal de los protozoos es el transporte de la MO (materia orgánica) a los niveles superiores de la red trófica microbiana. Particularmente los que coexisten en las cercanías de la raíz funcionan como liberadores de compuestos orgánicos con N (nitrógeno), P (fósforo) y C (carbono) provenientes de sus presas. Sin embargo, la importancia de esta actividad biológica ha sido ignorada en los estudios sobre la nutrición de las plantas cultivadas en suelos que han sido expuestos a contaminantes o a un exceso de fertilización. Por ello, la diversidad metabólica y su rápida adaptación a compuestos tóxicos hacen posible que los protozoos desarrollen un papel ecológico destacado en suelos perturbados. De esta forma, el estudio de la dinámica de su diversidad trófica ayudará a comprender mejor cómo la depredación es el motor en los procesos de reciclaje de MO y liberación de los nutrimentos en suelos utilizados para la agricultura. En estudios de campo y de microcosmos, se han determinado los efectos de la introducción de plantas después de perturbaciones intensas, como contaminación por hidrocarburos o el arado, sobre la comunidad y las preferencias tróficas de los protozoos del suelo. La planta muestra un efecto organizador sobre la estructura de la comunidad de protozoos.

Palabras clave: protozoos, suelo, rizósfera, redes tróficas

Introducción

El suelo es una pieza fundamental en los ciclos biogeoquímicos de los nutrimentos, ya que en esta interface tienen lugar procesos que aseguran los servicios ecosistémicos (Naeem et al., 1999) tales como el reciclaje del agua, la producción de biomasa para el consumo humano y el mantenimiento de la flora y fauna emblemática. Un mal manejo del suelo puede afectar negativamente los servicios que provee este sistema. La degradación de los agroecosistemas está asociada con las perturbaciones generadas por la pérdida de vegetación, destrucción de la estructura del suelo, lixiviación de nutrientes, disminución de la materia orgánica y el decremento en la actividad microbiana (Barea y Jeffries, 1995). Las redes tróficas son un modelo que se puede utilizar para comprender como funciona el flujo de la energía después de que el suelo ha sido perturbado y cómo podemos generar estrategias para recuperarlo y/o mantenerlo. El modelo fundamental implica diferentes los niveles de producción primaria, consumidores y descomponedores (Coleman y Crossley, 1996). En este último

nivel se han introducido a los microorganismos, como una gran caja negra, donde su funcionalidad se generaliza en el proceso de la descomposición de materia orgánica. La MO abastece de nutrimentos orgánicos durante este proceso de desintegración, los cuales pueden ser reutilizados por los productores primarios. Los descomponedores son organismos heterótrofos que absorben nutrientes por ósmosis (osmotrofía), tales como algunas bacterias, hongos y amebas. Los detritívoros o saprófagos obtienen su energía de MO descompuesta. Sin embargo, esta generalización pierde el detalle de las interacciones complejas que tienen lugar en las redes tróficas del suelo (Richards, 1987). La diversidad de preferencias tróficas de los protozoos promueve el reciclaje de los nutrimentos contenidos en la MO (Stout, 1980). El incremento de humus en le suelo provoca el aumento de la diversidad de amebas testadas, lo que a su vez incrementa la tasa de descomposición de MO (Schönborn, 1992) y la liberación de P y N, este último en forma de amonio (Griffiths, 1994; Bonkowski, 2004). Las amebas son responsables de liberar entre el 50 - 70% del nitrógeno proveniente de sus presas (Zwart, et al. 1994), por lo que esta interacción microbiota - microfauna sirve de conexión del flujo de materia y energía con otros niveles de la red trófica del suelo. La digestión de las bacterias por sus depredadores moviliza los nutrientes que estaban fijados en su biomasa (P y N) así como otros elementos traza que no estaban biodisponibles. Por tal razón los protozoos son considerados como entidades clave en los ciclos biogeoquímicos (Coûteaux y Darbyshire, 1998; Zwart, et al. 1994) y en la mineralización de algunos contaminantes (Holubar et al., 2000; Mattison et al., 2005). En los suelos con mayores aberturas de poro en los agregados, el ramoneo de los protozoos incrementa la tasa metabólica de las bacterianas bajo ciertas condiciones, ya sean aeróbicas o anaeróbicas. Así, la depredación por los ciliados incrementa la demanda química de oxígeno y la eficiencia en la metabolización de petroquímicos en sedimentos (Holubar et al. 2000). Por ejemplo, la depredación de *Colpidium colpoda* aumentó la metabolización del petróleo crudo en un cultivo mixto de bacterias (Rogerson y Berger, 1983); mientras que Mattison et al. (2005) detectaron un aumento de hasta tres veces en la velocidad de degradación de benceno por *Pseudomonas* sp en presencia del flagelado *Heteromita globosa*.

La perturbación que genera el arado del suelo ocasiona una reestructuración de los microambientes por la destrucción de los macroagregados, lo que disminuye el espacio entre ellos y afecta la continuidad en la porosfera. Esta serie de factores están correlacionados con el cambio de la diversidad de microbiota y microfauna de los suelos de cultivo (Sánchez-Moreno, 2007; Coleman, et al. 2002; Buckley y Schmidt, 2001). Por otra parte, las alteraciones en las propiedades químicas de los suelos de cultivo se deben a la adición de MO y/o el uso frecuente de abonos sintéticos, los que causan el incremento de las concentraciones de C, N, y P; y que éstos nutrimentos permanezcan un periodo más largo en el suelo alterando el funcionamiento y estructuración de las comunidades del sistema edáfico (Buckley y Schnidt, 2001).

Discusión

La zona de raíces es un área que estimula las interacciones tróficas, gracias a que los exudados radiculares tienen diferentes funciones vitales para la planta y la comunidad microbiana albergada alrededor de sus raíces (Raynaud, 2010). Dentro de estas funciones se encuentra la comunicación, la quimioatracción de algunas especies bacterianas (Kentner y Sourjik, 2009), y de micorrizas, así como la emisión de repelentes para otros microorganismos. La rizósfera es considerada un “hot spot”o un punto caliente de actividad microbiana, con un mayor número de especies de la microbiota que el

suelo de la porósfera (Bonkowski et al, 2001). Este aumento de especies, desencadena un efecto en cascada y en todas direcciones de la red trófica del suelo, ya que tiene como resultado la estimulación de todos los niveles de la misma (Duffy et al, 2007). Pues hasta las amebas sirven de alimento para otros microorganismos como rotíferos (Arndt, 1993) y nemátodos.

Los suelos perturbados por contaminación o cultivo muestran la disminución de la abundancia y de la riqueza de especies de microorganismos en todos los niveles (Joynt et al. 2006). Esto disminuye la actividad biológica en el suelo y afecta directamente en la retención de compuestos orgánicos importantes para la nutrición de la planta. El efecto organizador de la rizósfera se corroboró en estudios de microcosmos donde la comunidad de amebas fue sometida a diferentes tipos de perturbación, tanto mecánica (revoltura del suelo) como por contaminación con hidrocarburos. Se observó que la introducción de *Medicago sativa* (alfalfa) promueve indirectamente el incremento de las especies de amebas. En contraste, la comunidad de amebas en el suelo contaminado sin planta y después de 2 meses presenta una menor cantidad de especies (Cortés-Pérez et al, 2014; Cortés-Pérez et al., 2018). La planta es un bioestimulador de las bacterias hidrocarbonoclásticas ya que genera diferentes microambientes con recursos que pueden albergar una cantidad mayor de especies de este tipo de bacterias, lo cual influye positivamente en las especies raras de amebas bacterívoras (B). Este fenómeno tendrá como consecuencia un efecto en cascada sobre la red trófica del suelo, ya que las amebas además de detectar la presencia y la abundancia de sus presas, tienen preferencias en el consumo de ciertas especies de bacterias (Singh, 1942), de hongos, levaduras, algas y de protozoos. La depredación mantiene en reproducción constante a las poblaciones bacterianas hidrocarbonoclásticas, pues con el incremento del número de bacterias se aumenta el consumo de los hidrocarburos en el suelo. Además, la liberación de compuestos orgánicos, producto de la depredación, afectan positivamente a la comunidad del edafón y a la planta, pues al tener disponibles estos recursos el desarrollo de esta biota será más acelerado (Raynaud, 2010), lo que resulta en una forma efectiva de reciclar y transformar los nutrimentos en el suelo que se pretende recuperar o limpiar.

Uno de los grupos que también se ve afectado por las perturbaciones son las amebas omnívoras (O) del género *Acanthamoeba* (Cortés-Pérez et al, 2014; Cortés-Pérez et al., 2018), aunque este género en particular se vió afectado negativamente por la planta, pues la riqueza de especies de este grupo mostró una disminución sostenida con el desarrollo de la planta. Se ha observado que las amebas de este género prosperan en sitios que han sido perturbados antropogenicamente y donde generalmente la competencia con otros protozoos se elimina por exceso de materia orgánica de bajo peso molecular, o como en el caso de piscinas que son esterilizadas con hipoclorito de sodio (De Jonckheere y van de Voorde, 1976) y enriquecidas con la materia orgánica de los bañistas. Además, el quiste de estas especies es muy resistente a diferentes desinfectantes, lo que explica su presencia frecuente en aguas cloradas (De Jonckheere, 1991). Sin embargo, en todos los estudios de microcosmos la frecuencia de las especies del género *Acanthamoeba* fue rara, debido a que los omnívoros son poco eficientes para competir por el recurso.

Se observó la presencia de los siguientes grupos tróficos; honguívoros (H), honguívoros-bacterívoros (H-B), algívoros-bacterívoros (A-B), algívoros-restos vegetales (ACyMP). Estos grupos se ven beneficiados por la presencia de la planta aunque aún desconocemos la relación de ésta con la existencia de especies de algas del suelo. En los tratamientos con planta encontramos a la mayoría de

los grupos tróficos a partir del día 30 (B, A, H, O, P y L; amebas que se alimentan de levaduras). El grupo de las amebas que se alimentan de protozoos permaneció constante durante los 60 días del experimento, pero la comunidad que se desarrollo en la rizósfera de *M sativa* fue diferente de la desarrollada en el suelo sinplanta. También se ha observado que algunos hongos y algunas cepas de levaduras frecuentemente prosperan en ambientes contaminados con hidrocarburos por su capacidad de degradar este tipo de compuestos (De Hoog et al 2006), lo que explica la presencia de sus depredadores. La raíz tiene un efecto de selección sobre la estructuración trófica de las comunidades de amebas, debido a que las raíces proporcionan la oportunidad de albergar a más especies de presas que a su vez permiten el establecimiento de los grupos depredadores de amebas. Así, se da una reestructuración de la red trófica del suelo tan solo 30 días después de la contaminación o perturbación física en presencia de las plantas. En conjunto, todos estos procesos de interacción planta – suelo – microorganismos, hacen de la zona de raíces un área funcional que estimula y aumenta las capacidades de asimilación de compuestos extraños al sistema edáfico mediante la reestructuración de la red trófica. Cabe hacer notar que los protozoos bacterívoros comparten cerca del 50 al 75 % de las especies entre todos los tratamientos. Cabe hacer notar que las amebas bacterívoras de las comunidades de la zona de raíces de *M. sativa* del suelo no-contaminado y el suelo con combustóleo de ambos períodos, tuvieron un 75 % de similitud.

Conclusiones

Las perturbaciones provocan la disminución de la cantidad de amebas, su riqueza de especies y la variedad de Grupos Tróficos, lo que produce la simplificación de la comunidad protozoos. La presencia de las plantas acelera la recomposición y reorganización de la comunidad de amebas mediante la estimulación del crecimiento de bacterias y hongos en la zona de raíces. Los grupos de protozoos bacterívoros, los que se alimentan de otros protozoos y/o de algas se favorecen dentro de la proporción total de riqueza de especies de la comunidad. Los cambios en las comunidades de estos depredadores microbianos nos proporcionan indicios de los cambios que suceden en la actividad biológica del suelo después de una perturbación. Sin embargo, la introducción de una planta acelera y promueve la actividad de los microorganismos (microbiota y microfauna) en el corto plazo. La siguiente vertiente es comprender cómo estas relaciones tróficas afectan la nutrición de las plantas, así como la retención y reciclaje de los valiosos compuestos orgánicos provenientes de la MO viva (presas) y que sirven como recursos a otros organismos. Todo lo anterior es necesario para generar estratégias de manejo y tecnologías para mantener y recuperar la productividad de los suelos que se han contaminado, así como aquellos utilizados para el cultivo.

Referencias

Arndt, H. 1993. Rotifers as predators on components of the microbial web (bacteria, heterotrophic flagellates, ciliates) — a review. In: Gilbert J.J., Lubzens E., Miracle M.R. (eds) Rotifer Symposium VI. Developments in Hydrobiology,
vol 83. Springer, Dordrecht Agriculture and Natural Resources Nº 21505. University of California. Oakland, CA, EEUU. 36 pp.

Barea, J.M. and P. Jeffries. 1995. Arbuscular Mycorrhizas in Sustainable Soil-Plant Systems. In: Varma A., Hock B. (eds) Mycorrhiza. Springer, Berlin, HeidelbergBonkowski M, Jentschke G. and Scheu S. 2001. Contrasting effects of

microbial partners in the rhizosphere: interactions between Norway Spruce seedlings (*Picea abies* Karst.),mycorrhiza (*Paxillus involutus* (Batsch) Fr.) and naked amoebae (protozoa). Applied Soil Ecol 18: 193–204.

Bonkowski, M. 2004. Protozoa and plant growth: the microbial loop in soil revisited. New Phytologist, 162: 617-631.
Buckley, D. H. and T. M. Schmidt. 2001. The structure of microbial communities in soil and the lasting impact of cultivation. Microb Ecol . 42:11-21.
Coleman, D.C. and D.A. Crossley. 1996. Fundamentals of soil ecology. Academic Press. San Diego, NY, Boston, London, Sydney, Tokyo, Toronto. 205 pp.
Coleman, D., Hendrix F.S. and Jr.D. Crossley. 2002. Soil foodwebs in agroecosystems: impacts of herbivory and tillage management. European Journal of Soil Biology. 38,21-28.
Cortés-Pérez, S., Rodríguez-Zaragoza, S. and M.R., Mendoza-López. 2014. Trophic Structure of Amoeba Communities Near Roots of *Medicago sativa* After Contamination with Fuel Oil No. Microb Ecol. 6. 67: 430.
Cortés-Pérez, S., Rodríguez Zaragoza, S., Ferrera-Cerrato, R. and V.M. Luna Pabello. 2018. Recovery of Amoebae Community in the Root Soil of *M. sativa* after a Strong Contamination Pulse with n-Hexane. Water Air Soil Pollut. 229: 293.
Coûteaux, M.M. and J.F. Darbyshire. 1998. Functional diversity amongst soil protozoa. Applied Soil Ecology 10: 229-337.
De Hoog, G.S., Zeng, J.S., Harrak, M.J. and D.A. Sotton. 2006. *Exophiala xenobiotica* sp. nov., an opportunistic black yeast inhabiting environment rich in hydrocarbons. Antonie van Leeuwenhoek 90: 257.
De Jonckheere, J.F. 1991. Ecology of *Acanthamoeba*, Reviews of Infectious Diseases, 13, 5: S385–S387.
De Jonckheere, J.F. and H. van de Voorde. 1976. Differences in destruction of cysts of pathogenic and nonpathogenic *Naegleria* and *Acanthamoeba* by chlorine. Appl. Environ. Microbiol. 31 (2) 294-297.
Duffy, E., Cardinale, B.J., France, K.E., Mclntyre, P.B., Thébault, E. amd M. Loreau. 2007. The functional role of biodiversity in ecosystems: incorporating trophic complexity. Ecology letters 10: 522-538.
Griffiths, B.S. 1994. Soil nutrient flow. En: Darbyshire, J. F. (Ed.), Soil Protozoa. CAB International, Wallingford, pp. 65-91.
Holubar, M.P., Grudke, T., Moser, A., Strenn, B. and R. Braunm. 2000. Effects of bacterivorous ciliated protozoans on degradation efficiency of a petrochemical activated sludge process. Water research. 34: (7) 2051-2060.
Joynt, J., Bischoff, M., Turco, R., Konopka, A. and C.H. Nakatsu. 2006. Microbial community analysis of soils contaminated with lead, chromium and petroleum hydrocarbons Microb Ecol. 5: (12) 209-219.
Kentner, D. and V. Sourjik. 2009. Spatial organization of the bacterial chemotaxis system. Cur Op Microbiol 9: 619–624.
Mattison, R.G., Taki, H. and S. Harayama. 2005. The soil flagellate *Heteromita globosa* accelerates bacterial degradation of alkylbenzenes through grazing and acetate excretion in batch culture. Springer Science+Business Media, Inc. 49: 142–150.
Naeem, S., Chapin, F.S, Costanza, R., Ehrlich, P.R., Golley, F.B., Hooper, D.U., Lawton J.H., O'Neill, R.V, Mooney, H.A., Sala, O.E., Symstad, A.J. and D. Tilman. 1999. Biodiversity and Ecosystem Functioning: Maintaining Natural Life Support Processes. Issues in Ecology. 4: 1-11.
Raynaud, X. 2010. Soil properties are key determinants for the development of exudates gradients in a rhizosphere simulation model. Soil Biology & Biochem 42: 210-219.
Richards, B.N. 1987. The microbiology of terrestrial ecosystems. Longman Group UK Limited
Rogerson, A. and J. Berger. 1983. Enhancement of the microbial-degradation of crude-oil by the ciliate Colpidium Colpoda. J Gen Appl Microbiol 29: 41-50.
Sánchez-Moreno, S. and H. Ferris. 2007. Suppressive service of the soil food web: Effects of environmental management. Agriculture, Ecosystems and Environment. 119, 75-85.
Schönborn, W. 1992. The role of protozoan communities in freshwater and soil ecosystems. Acta Protozoologica. 31: 11-18.
Singh, B.N. 1942. Selection of bacterial food by soil flagellates and amoebae. Annual Applied Biology 29:18-22Abdurrahman, H., B. Fatih, M. Fatih and Y. Mustafa. 2004. Reclamation of saline-sodic soils with gypsum and MSW compost. J. Compost Sci. Util. 12: 175-179.
Stout, J.D. 1980. The role of protozoa in nutrient cycling and energy flow. Adv. Microb Ecol . 4: 1-50.
Zarda, B., Mattison, G., Hess, A., Hahn, D., Höhener, P. and J. Zeyer. 1998. Analysis of bacterial and protozoan communities in an aquifer contaminated with monoaromatic hydrocarbons, FEMS Microb Ecol , 27, 2: 141–152.
Zwart, K.B., Kuikman, P.J. and J.A. van Veen. 1994. Rhizosphere protozoa: their significance in nutrient dynamics. In: Darbyshire JF, ed. Soil protozoa. Wallingford, UK: CAB International, 93–122.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

ANÁLISIS ELECTROFORÉTICO EN PRIMERA DIMENSIÓN (1D-SDS-PAGE) Y DETECCIÓN DE PROTEÍNAS DE SUELO ASOCIADAS CON GLOMALINA (GLOMALIN-RELATED SOIL PROTEINS, GRSP) PRESENTES EN SUELOS CON DIVERSOS GRADOS DE ERODIBILIDAD DE VALLE DE PALOMAS, S.L.P., MÉXICO

Casabella-González, M.J.[1,2*]; Borselli, L.[1]; Astello-García, M.[2]; García-Meza, J.V.[2]

[1]Laboratorio de Geotécnia y Geomateriales. Instituto de Geología. UASLP. San Luis Potosí. México
[2] Laboratorio de Geomicrobiología, Instituto de Metalurgia, UASLP. San Luis Potosí. México.

*Autor responsable: m.casabella@hotmail.com ; Av. Dr. Manuel Nava 5, Col. Universitaria, San Luis Potosí, SLP. México, CP 78240; Tel. +52 444 827 64 00

Resumen

La Glomalina es una glicoproteína que pesa 60 kD, producida por los hongos micorrícicos arbusculares y asociada con la resistencia de los agregados estables en los suelos y con la reducción de la materia orgánica, mejorando la estructura y estabilidad, así como la captura de carbono en los ecosistemas del suelo. Por lo anterior, se considera que tiene un rol preponderante en los fenómenos de erosión de suelos, que ocupa un 33% y 66% de las superficies mundial y nacional, respectivamente. En consecuencia, el análisis de proteínas asociadas a Glomalina (GRSP) ha sido uno de los objetivos por grupos expertos en erosión, aunque existen factores críticos que dificultan la extracción de proteína total y obtención de patrones electroforéticos nítidos de muestras recalcitrantes, incluyendo a los suelos. En este trabajo, se desarrolló y optimizó un método de extracción de proteína total y se obtuvieron patrones electroforéticos nítidos de muestras de suelo, en los cuales se observaron bandas de 35, 43 y 55 a 64 kD, ésta última es el principal candidato para ser identificada como GRSP. Así mismo, se evaluaron parámetros de erosión de suelos en las muestras analizadas, observándose una relación positiva entre GRSP y el índice de erodibilidad K, al igual que con un elevado contenido de materia orgánica. Este último dato fue consistente con la observación de patrones de bandeo con fuertes interferencias (barrido).

Palabras clave: Glomalina; Suelo; SEM; SDS-PAGE

Introducción

La Glomalina es una glicoproteína (biomólecula de proteínas asociadas a carbohidratos) insoluble en agua, de elevado peso molecular (55 - 64 kDa) y su tiempo de vida media oscila entre los 6 y 42 años **[12]**, indicando una lenta velocidad de degradación. Es producida por los hongos micorrícicos arbusculares (HMA o AMF por sus siglas en inglés), reportada a principios de los años 90 por el USDA, en las hifas de este tipo de micorrizas **[22, 23]**. Actualmente se sabe que la glomalina solo es liberada en el suelo durante el recambio de hifas y después de la muerte del hongo. Se ha propuesto que a medida que las hifas AMF mueren y se descomponen, dejan un residuo de glomalina en el suelo **[4]**.

Reportes previos establecen que la presencia de glomalina (GRSP) está directamente relacionada con la resistencia de los agregados estables en los suelos, mejorando su estructura y estabilidad **[14, 15, 20, 22]**, lo cual aunado al desarrollo de las hifas de los AMF, se consideran el efecto directo más importante en la agregación de las partículas de todos los factores del suelo **[9, 12]**. Dichas características manifiestan el rol preponderante de la GRSP en procesos de erosión. Debido a su papel en la agregación de partículas del suelo, se cree que la GRSP reduce significativamente la degradación de la materia orgánica al proteger los compuestos lábiles dentro de los agregados del suelo, mejorando la captura de carbono en los ecosistemas del suelo **[13, 18, 20]**.

Las cifras de erosión son un problema a nivel mundial, todos los años se cifra en más o menos un 33% de pérdidas de suelo con la degradación de ecosistemas que ello conlleva, sólo en México según el Conjunto de Datos de Erosión Hídrica generado por el INEGI **[7]**, este tipo de erosión ocupa el 66% de la superficie nacional. El ritmo actual de degradación de los suelos pone en riesgo la capacidad de satisfacer las necesidades de las generaciones futuras, a menos que se realicen acciones para cambiar esta tendencia.

En los últimos años se ha incrementado el interés en el estudio de GRSP y su participación en los procesos de erosión **[19]**. Actualmente, la información disponible es limitada y se desconoce su secuencia y estructura. Por lo anterior, en éste trabajo, nos enfocamos en la optimización de un método de extracción y detección de glomalina mediante análisis electroforético en primera dimensión (1D-SDS-PAGE) de extractos proteicos de suelos del área de Valle de Palomas de San Luis Potosí, México.

Materiales y Métodos

1. Ubicación Área de Estudio

El área de estudio comprende dos sub-áreas que se encuentran al NE de la ciudad de San Luis Potosí, en un recorrido de unos 34.5 Km desde el centro de la capital, accediendo al valle que se forma entre la Sierra de Álvarez y el Cerro de San Pedro por la población de Valle de Palomas, de donde toman el nombre de área. El área 1 (VP1) se encuentra junto a la población de San José de Eguía y el área 2 (VP2) junto a la población de Jesús-María. Las áreas que podían ser consideradas dos unidades de microcuenca, tiene uso de pastizal/agostadero y fueron seleccionadas por su estado muy avanzado de erosión, con grandes cárcavas que pueden superar los 15 metros de profundidad en algunos puntos y que discurren a lo largo de las laderas (Figura 1).

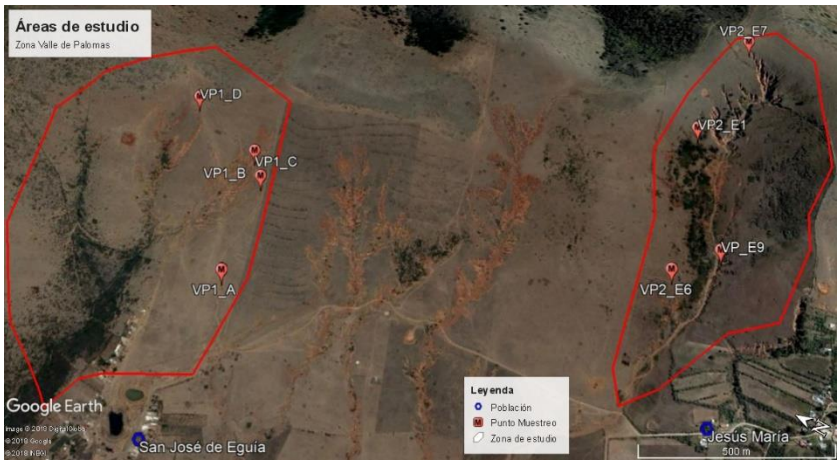


Figura 1. Visualización de las áreas de estudio y los puntos de muestreo [6]

2. *Obtención de las muestras*

En general en la zona los suelos presentan un perfil similar y son de tipo residual, el horizonte superficial A (00, 0 y 1) presenta una densidad media de herbáceas de baja talla y tiene un espesor aproximado de 10 - 15 cm color parduzco a negro, seguido de un horizonte A2 de 25 - 50 cm de espesor de color claro y estructuración masiva, pasando a un horizonte B formado por un material tipo arcilloso de color rojizo, de alta estructuración con formaciones columnares cúbicas y un espesor muy amplio llegando a alcanzar varios metros. En casi ningún caso se llega a observar un horizonte C de meteorización o el horizonte parental D, ni si quiera en los puntos donde supera los 15 m de profundidad el perfil (Figura 2).

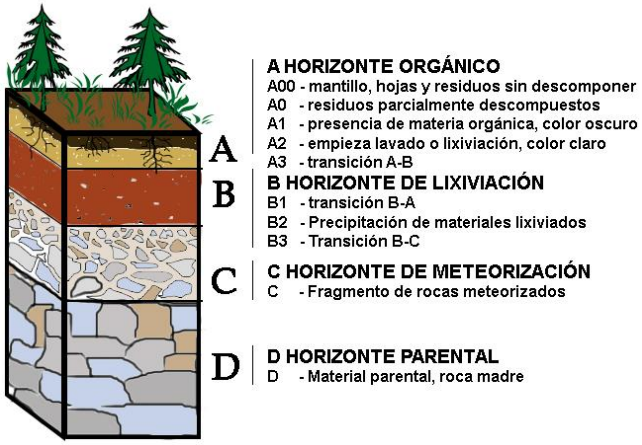


Figura 2. Horizontes del suelo

Se obtuvieron 8 muestras (Fig.1) con una profundidad máxima de 10 cm del horizonte A superficial y se almacenaron a 4° C. Se realizaron los análisis de caracterización (textura, materia orgánica, pH, potencial oxido-reducción, conductividad eléctrica en extracto diluido 1:5, capacidad de intercambio catiónico, concentración de cationes, porcentaje de sodio intercambiable, índice de estabilidad electroquímica (ESI) e índice de erodibilidad K a través del algoritmo KUERY 1.5 **[1]**) y los resultados se muestran en la tabla 1. En la tabla 2 se explica el índice de erodibilidad K.

Tabla 1. Resultados de los análisis de caracterización de los suelos muestreados

		VPA	VPB	VPC	VPD	VPE1	VPE6	VPE7	VPE9
Coordenadas UTM	x	319635	319914	319970.9	320035.4	320628.12	320216.63	320940.95	320331.25
	y	2463554	2463597.4	2463651.1	2463878.5	2462572.5	2462475.87	2462546.37	2462377.4
Altura	msnm	2219	2273	2276	2297	2303	2258.5	2344.35	2255.65
Descripción		Hznt Superficial	Hznt Superficial	Hznt Superficial	Hznt Superficial	Hznt Superficial	Hznt Superficial	Hznt Superficial	Hznt Arcil Perturbado
Profundidad	cm	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	-
Textura	Arena	35.5	45.00	60.2	65.3	68	45.00	56.4	16.9
	Limo	33.5	16.10	36.8	33.7	28.9	33.50	34.6	4.20
	Arcilla	31	38.9	3	1	3.1	21.5	9	78.9
	Textura	Franco-arcillosa	Arcillo-arenosa	Franco-arenosa	Franco-arenosa	Franco-arenosa	Franca	Franco-arenosa	Arcillosa
M.O.	%	9.80	6.82	5.69	12.76	4.33	9.46	2.17	2.06
Valor pH	[H+]	6.36	6.39	5.08	6.32	5.95	6.07	5.73	4.96
ORP	mV	396.10	313.90	335.40	276.30	292.80	386.30	447.20	303.70
$CE_{1:5}$	µS	96.47	41.00	34.83	73.80	91.20	268.00	66.70	26.23
CIC	Cmol[+]/kg	15.55	17.02	16.78	17.69	4.84	13.17	4.85	13.37

Na	mg/l	1.01	1.31	2.01	1.83	0.88	1.01	0.77	1.40
K	mg/l	13.49	15.73	3.40	14.54	5.62	9.86	9.00	2.38
Ca	mg/l	80.42	80.49	69.25	102.96	21.42	78.92	23.19	50.61
Mg	mg/l	6.53	6.69	2.25	5.70	3.05	6.31	4.16	9.73
ESP	cmol(+)/Kg	0.89	1.14	2.30	1.31	2.56	0.93	1.89	1.77
ESI		0.108	0.036	0.015	0.056	0.036	0.289	0.035	0.015
Índice de Erodibilidad	maximum K	0.023	0.024	0.023	0.009	0.009	0.017	0.012	0.032

Msnm: metros sobre el nivel del mar; **Prof:** profundidad de muestreo; **M.O.:** materia orgánica; **ORP:** potencial de oxido-reducción; **$CE_{1:5}$:** conductividad eléctrica en extracto diluido 1:5; **CIC:** capacidad de intercambio catiónico; **Na:** Sodio; **K:** Potasio; **Ca:** calcio; **Mg:** magnesio; **ESP:** porcentaje de sodio intercambiable; **ESI:** Índice de estabilidad electroquímica

Tabla 2. Valores de referencia para el índice de erodibilidad K. Por ser una característica de resistencia es mejor cuanto más bajo es su rango

Clase	Bajo	Medio Bajo	Medio	Medio Alto	Alto	Muy Alto
Valor	0 - 0.01	0.01 - 0.02	0.02 - 0.03	0.03 - 0.04	0.04 - 0.05	> 0.05

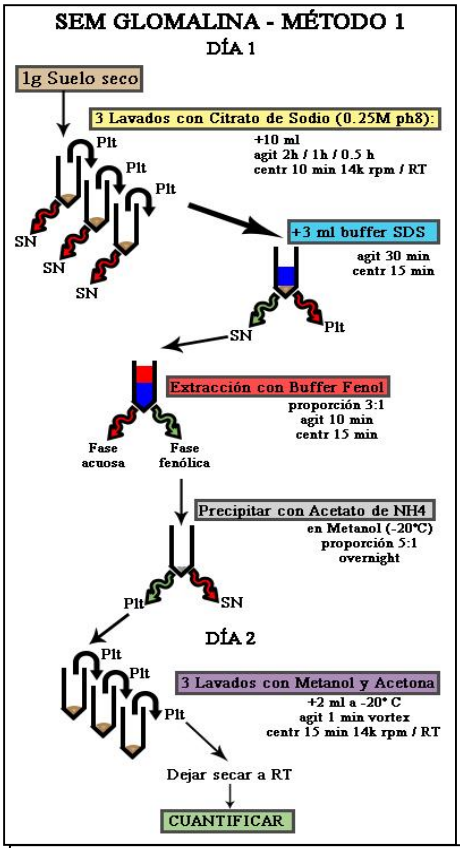


Fig. 3. Diagrama de flujo del SEM propuesto modificado por los autores

3. *Determinación de proteína total por el método de Bradford y espectroscopía de UV-Vis*

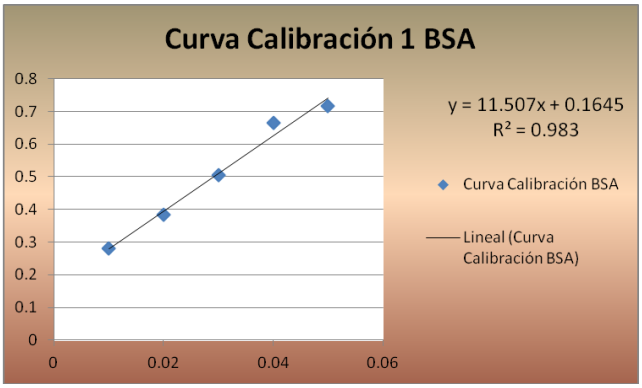
En éste trabajo se optimizó el método de extracción de proteína total siguiendo los protocolos reportados **[3, 10]** con algunas modificaciones (Fig. 3). Las matrices de suelos son muy complejas por lo que es difícil obtener muestras de proteínas adecuadas y de alta calidad. Con este método se realizan dos extracciones secuenciales de la proteína presente en suelos con búferes de citrato de sodio y dodecil-sulfato sódico (SDS), seguido de un paso de recuperación proteica a través de una extracción con fenol y un precipitado de acetato de amonio (Fig.3). El método permite obtener perfiles de proteína 1-D y 2-D aplicables y detectar la GRSP. La cuantificación fue realizada con el ensayo de Bradford **[2]** (Tabla 4) y se el análisis electroforético (Fig.7) 1-D SDS-PAGE (sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis), quedando registrado el resultado con un fotodocumentador MiniBis (DNR Bioimagen Systems) y con el programa GelCapture Software. Las figuras 5 y 6 muestran dos pasos del proceso.

Se decidió usar el ensayo de Bradford **[2]** como método de detección y cuantificación, se uso un reactivo comercial Bio-Rad proporción 1:3 (reactivo:muestra) y por lo general se utiliza como ensayo estándar la albúmina de suero bovino (BSA), una proteína cuyo peso molecular es similar al de la glomalina **[5, 16]**. Se realizó análisis por triplicado de 6 concentraciones de BSA para definir una curva de calibración. El espectrofotómetro UV-vis se fija a una longitud de onda de 595 nm y se toman las

lecturas del blanco y las muestras. Los resultados se muestran en la tabla 3. Se graficaron 5 de los puntos (Fig. 4) pues en la serie 3 hubo un error de lectura UV-vis.

Tabla 3. Resultados del espectrofotómetro UV-vis de las concentraciones de BSA

Curva Calibración BSA_01	Unidades	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	mg/ml	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
Serie 1	Unid. Absorbancia	0.191	0.363	0.455	0.658	0.721	0.727
Serie 2	Unid. Absorbancia	0.364	0.373	0.532	0.641	0.74	0.784
Serie 3	Unid. Absorbancia	0.286	0.417	0.525	0.694	0.686	0.13
PROMEDIO	Unid. Absorbancia	0.280	0.384	0.504	0.664	0.716	0.547
	desviación estándar	0.087	0.029	0.043	0.027	0.027	



Se aceptó la curva de calibración BSA_01 por alcanzar los requisitos mínimos de tener al menos 5 puntos válidos y una R^2 mayor a 95%, además de tener valores que ajustaban bien con la proteína reportada en los análisis, ya que es la curva, tras obtener las lecturas UV-vis de las muestras, la que define las concentraciones necesarias para realizar el análisis 1D-SDS-PAGE.

Figura 4. Curva de calibración BSA_01

3.1. Resultados SEM

En la tabla 4 se muestran los resultados del espectrofotómetro UV-vis obtenidos al correr el total de las muestras. Se confirmaron como detección positiva las muestras VPA, VPD y VPE6

Tabla 4. Lecturas y resultados del espectrofotómetro UV para la cuantificación de proteína de suelo.

Muestra	Cantidad muestra (g)	Serie1 Lectura	X1 (Curva Calib.1)	Serie2 Lectura	X1 (Curva Calib.1)	Serie3 Lectura	X1 (Curva Calib.1)	Detección
VPA	1	0.2170	0.0046	0.7830	0.0537	0.8190	0.0569	Positiva
VPB	2	-0.0130	-0.0154	0.0020	-0.0141	0.1010	-0.0055	N.D.
VPC	1	-0.0150	-0.0156	0.0770	-0.0076	0.0290	-0.0118	N.D.
VPD	1	0.4070	0.0211	0.8040	0.0556	0.5470	0.0332	Positiva
VPE1	1	0.4310	0.0232	0.0630	-0.0088	0.0600	-0.0091	N.D.
VPE6	1	-0.0370	-0.0175	0.5150	0.0305	0.2760	0.0097	Positiva
VPE78	1	0.0770	-0.0076	0.1070	-0.0050	0.0610	-0.0090	N.D.
VPE9	2	-0.0540	-0.0190	0.0790	-0.0074	0.0600	-0.0091	N.D.

*3.2. **SDS-PAGE***

Esta técnica permite separar las proteínas de acuerdo a su movilidad electroforética, relacionada a la diferencia de peso, la longitud de la cadena (tamaño) y la forma de la proteína. En la Figura 5 se muestra el primer ensayo tipo sondeo realizado al total de las muestras. Se aprecia y queda corroborada la detección positiva del análisis, además se alcanzan a vislumbrar varias bandas de proteína separadas por la electroforesis. Por un motivo desafortunado no se pudo cargar el marcador, pero en principio estas bandas se corresponden con las indicadas en la literatura para la glomalina como quedó demostrado en posteriores análisis.

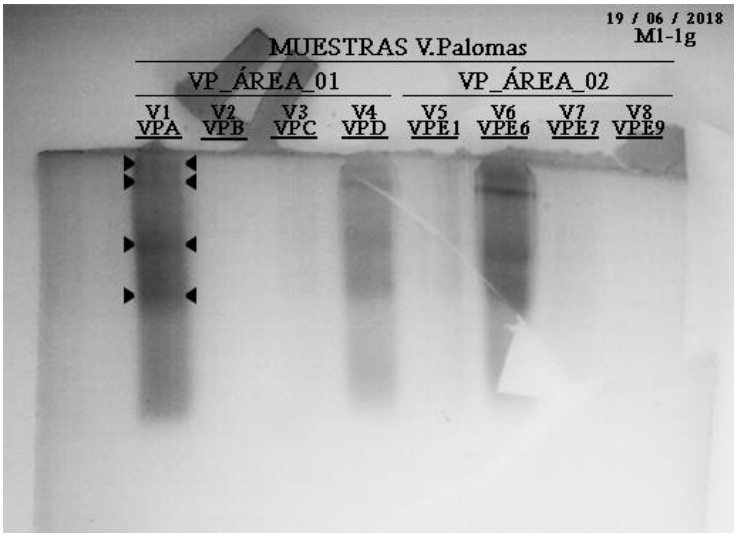


Fig. 5. Resultado del análisis electroforético 1-D SDS-PAGE, la fotografía corrobora la detección positiva del análisis.

*4. **Optimización***

Se decidió realizar una optimización con los objetivos de mejorar el bandeado y la limpieza del background

4.1. **Paso 1**

Se seleccionaron 2 muestras (mejor resultado VPA y bajo o nulo resultado VPC)

Se propusieron dos modificaciones al método:

- M1 = propuesto hasta el momento
- M2 = 2g/muestra y procesado del extracto crudo + unión de pellets en extracción SDS
- M3 = 2g_ M1 y M2 con un prelavado de Acetona + DTT (0.2%) / 1h agitación

En las figuras 6 y 7 se muestran los diagramas de flujo de los métodos modificados.

4.1.1 **Resultados optimización P1**

La tabla 5 muestra los resultados del espectrofotómetro UV-vis obtenidos al correr las dos muestras seleccionadas según cada método/modificación propuesto. En la figura 10 se aprecia el resultado de la electroforesis y el marcador indica la presencia de bandas de proteína en ± 35, ± 43, ± 55-64 kD y una bastante clara sobre los 120kD. En la literatura se cita como posible peso de la glomalina sobre los 60kDa [5] aunque en [3] también se cita la

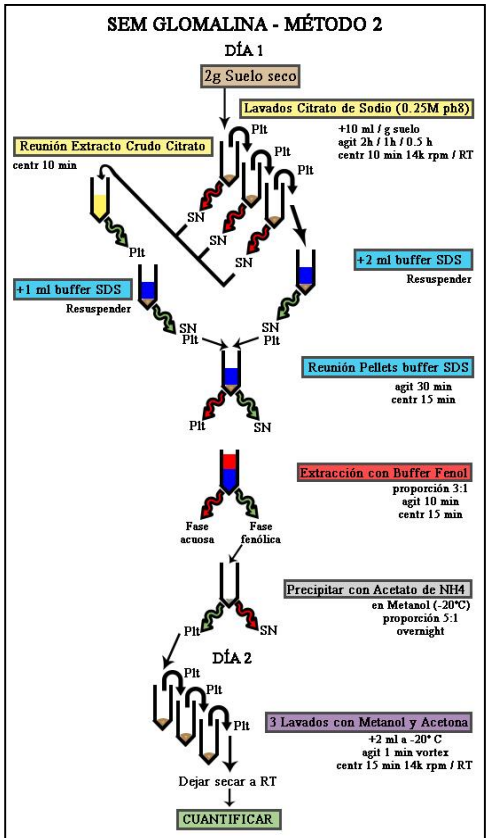


Fig. 6. Método 2

presencia constante de los 35 kDa.

Tabla 5. Resultados del espectrofotómetro UV-vis para las modificaciones realizadas al método

Muestra	Cantidad muestra (g)	Lectura UV-vis	X1 (Curva Calib.1)	Detección
VPA-V1 (M3-1)	2	0.567	0.03498	Positiva
VPA-V2 (M3-2)	2	0.553	0.03376	Positiva
VPA-V3 (M2)	2	0.479	0.02733	Positiva
VPC-V1 (M3-1)	2	0.027	-0.01195	N.D.
VPC-V2 (M3-2)	2	0.029	-0.01178	N.D.
VPC-V3 (M2)	2	0.187	0.00196	Positiva

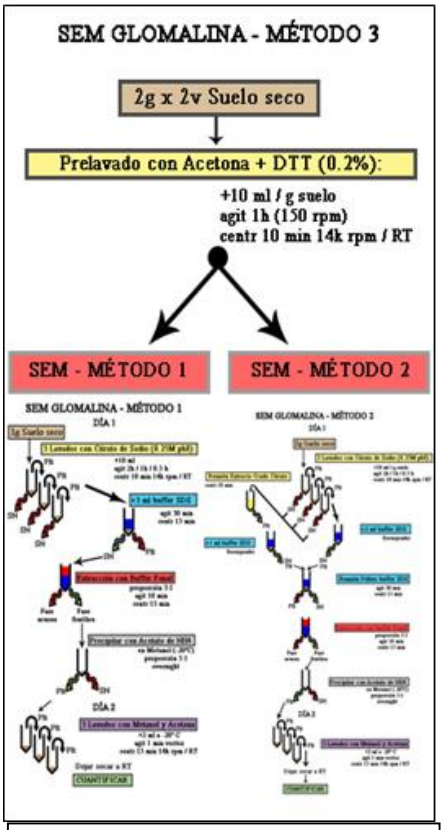


Fig. 7

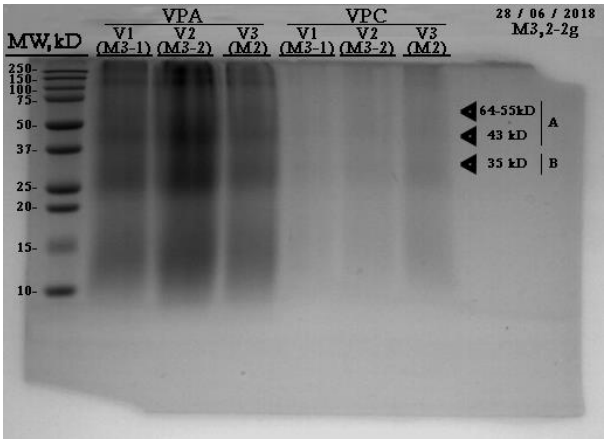


Fig. 8. Fotodocumentación de la optimización paso 1 por los métodos propuestos. Resultados del análisis electroforético 1-D SDS-PAGE

4.2. **Paso 2**

En vista de los resultados se seleccionó el método 2 como método optimizado, ya que había dado respuesta en una muestra de resultados nulos, aunque fuera baja. Para corroborar y tratando de mejorar la intensidad del bandeo se decidió aumentar la cantidad de muestra a 5g

4.2.1. **Resultados optimización P2**

Las lecturas del espectrofotómetro UV si aumentaron en el caso de la muestra VPC, sin embargo, en la muestra VPA no pareció haber una respuesta de mejora. En la fotodocumentación de este ensayo (Fig. 9) se aprecia una mejora del bandeo de la muestra VPC aunque con un aumento notable del background, lo que produce bastante interferencia, al contrario para la muestra VPA parece ir en detrimento del bandeo el hecho de aumentar la proporción de muestra analizada, de hecho para ambas muestras se debilita mucho la presencia de la banda entre 55 y 64 kD.

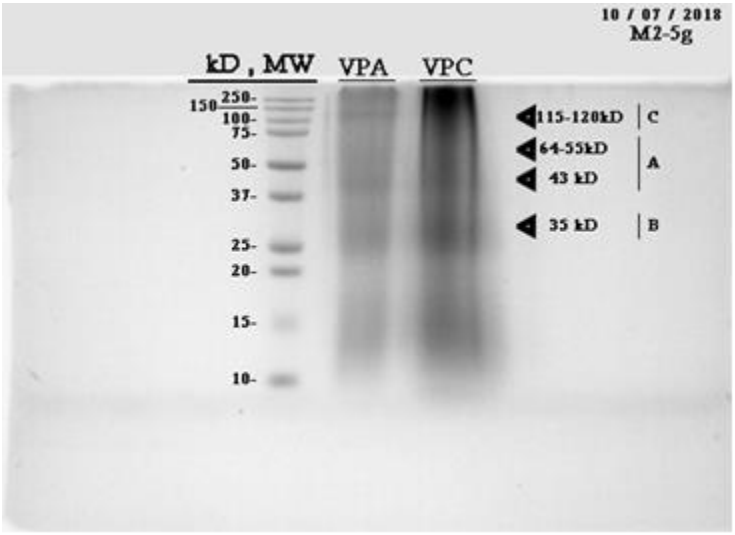


Fig. 9. Fotodocumentación de la optimización paso 2. Resultados de la electroforesis SDS-PAGE.

Tabla 6. Resultados del espectrofotómetro UV para el método 2 con 5 g de muestra

Muestra	Cantidad muestra (g)	Lectura UV-vis	X1 (Curva Calib.1)	Detección
VPA M2	5	0.778	0.05332	Positiva
VPC M2	5	0.301	0.01186	Positiva

Resultados y Discusión

Se observa una correlación directa entre las muestras con mayor MO y la respuesta al método propuesto ya que los resultados del análisis electroforético 1-D SDS-PAGE no dejan duda sobre la presencia de GRSP, y aunque en la literatura se cita a la MO como generadora de interferencias [3, 8, 17] si se aprecia en el gel de las muestras con resultado positivo un patrón de bandeo sobre las líneas de 43 y 55-64 kDa que se corresponde con el reportado para glomalina [3, 5]. También se aprecia que las muestras con detección positiva poseen un nivel bajo o medio bajo de índice de erodibilidad lo que pone en cierto el papel reportado de la GRSP como mejoradora de la estructura y por tanto de la resistencia a la erosión. Otro aspecto que tienen en común estas muestras, es un pH similar tirando a neutro, superior a 6, aunque no es exclusivo y es una característica que muchos suelos poseen, lo que si se denota es el resultado de ESI, sobrepasando el umbral en el que pueden haber problemas por salinidad relacionada al sodio, este es un hecho poco común ya que la presencia de GRSP ligada a MO debería indicar un suelo mejor estructurado y con menos peligro de inestabilidad química. La detección y cuantificación por el método de Bradford es técnicamente fácil y asequible, los resultados negativos lo único que muestran es una insuficiente cantidad de proteína, ya que al aumentar la cantidad de muestra, por tanto la cantidad total de proteína, si se consigue detectar, aunque claramente dependerá de cada caso particular. Por otro lado se establece como mejor resultado de optimización el método de extracción marcado como SEM 2 ya que se obtienen resultados detectables en las muestras que no lo presentaban, queda aún trabajo por hacer para mejorar

la definición de las bandas y sobre todo mejorar la limpieza del background pero como ya se dijo, el suelo es una matriz muy compleja y se citan en varios artículos que multitud de sustancias pueden estar siendo co-extraídas junto a la GRSP [8, 11, 16, 21] como huminas, taninos y otras fracciones de la MO natural, de hecho a veces se sugiere que la propia GRSP es una parte de la materia orgánica. En principio el aumento en cantidad de muestra que se realizó en el paso 2 de optimización solo obtuvo una mejora en la muestra de baja MO (VPC), ya que en la muestra VPA aumentó mucho la interferencia del background debilitando el bandeo, por lo que se podría establecer este paso para muestras que no superen porcentajes de MO del 9%. En general los objetivos del trabajo han sido alcanzados pues el método permite obtener perfiles de proteína 1-D aplicables y detectar la GRSP de suelos naturales en condiciones de pradera o agostadero.

Conclusiones

El método propuesto y optimizado es viable para la extracción y detección de GRSP en suelos de pradera - agostadero. La detección de GRSP fue positiva en 3 de las 8 muestras obtenidas en campo a través del ensayo de Bradford y la modificación de los protocolos existentes. La optimización declaro el método 2 propuesto como mejor resultado de extracción y se logró un resultado positivo en una cuarta muestra con resultado anterior nulo (VPC). La MO juega un papel importante en la detección y cuantificación de GRSP, pudiendo tener un umbral limitante al aumentar mucho la interferencia en el patrón de bandeo. La GRSP parece tener una relación positiva con el índice de erodibilidad, de manera que a presencia de glomalina este índice se encuentra en sus niveles más bajos denotando mayor resistencia del suelo frente a la erosión. Se debe revisar el nexo entre la presencia de GRSP y el ESI pues parece haber una relación de carácter inverso. Mediante el análisis electroforético en primera dimensión (1D-SDS-PAGE) de extractos proteicos se constata la detección positiva de GRSP, ya que se registran bandas proteicas para los pesos de 43 y entre 55 y 64 kDa, para las cuatro muestras VPA, VPC, VPD y VPE6.

Agradecimientos

Dr. José Alfredo Méndez Cabañas. Laboratorio de Biofísica Molecular, Instituto de Física, UASLP.

Referencias

[1]. Borselli, L., Torri, D., Poesen, J., & Iaquinta, P. (2012). A robust algorithm for estimating soil erodibility in different climates. *CATENA*, *97*, 85-94. https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.05.012

[2]. Bradford, M. M. (1976). A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. *Analytical Biochemistry*, *72*, 248-254.

[3]. Chen, S., Rillig, M. C., & Wang, W. (2009). Improving soil protein extraction for metaproteome analysis and glomalin-related soil protein detection. *PROTEOMICS*, *9*(21), 4970-4973. https://doi.org/10.1002/pmic.200900251

[4]. Driver, J. D., Holben, W. E., & Rillig, M. C. (2005). Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology and Biochemistry*, *37*(1), 101-106. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.06.011

[5]. Gadkar, V., & Rillig, M. C. (2006). The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalin is a putative homolog of heat shock protein 60. *FEMS Microbiology Letters*, *263*(1), 93-101. https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2006.00412.x

[6]. Image©DigitalGlobe. (2018). Área Valle Palomas. San Luis Potosí, México: Google Earth Pro, Fecha de Imágenes: 05/20/2017. Recuperado de https://www.google.com/maps/@22.26512,-100.74802,5414m/data=!3m1!1e3

[7]. INEGI. (2015). "ESTADÍSTICAS A PROPÓSITO DEL… DÍA MUNDIAL DEL SUELO (5 DE DICIEMBRE)" DATOS NACIONALES. AGUASCALIENTES, AGS. Recuperado de http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/edafologia/default.aspx

[8]. Janos, D. P., Garamszegi, S., & Beltran, B. (2008). Glomalin extraction and measurement. *Soil Biology and Biochemistry*, *40*(3), 728-739. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.10.007

[9]. Jastrow, J. D., Miller, R. M., & Lussenhop, J. (1998). CONTRIBUTIONS OF INTERACTING BIOLOGICAL MECHANISMS TO SOIL AGGREGATE STABILIZATION IN RESTORED PRAIRIE. *Soil Biology and Biochemistry*, *30*(7), 905-916.

[10]. Keiblinger, K. M., Wilhartitz, I. C., Schneider, T., Roschitzki, B., Schmid, E., Eberl, L., … Zechmeister-Boltenstern, S. (2012). Soil metaproteomics – Comparative evaluation of protein extraction protocols. *Soil Biology and Biochemistry*, *54*, 14-24. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.05.014

[11]. Lovelock, C. E., Wright, S. F., & Nichols, K. A. (2004). Using glomalin as an indicator for arbuscular mycorrhizal hyphal growth: an example from a tropical rain forest soil. *Soil Biology and Biochemistry*, *36*(6), 1009-1012. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.02.010

[12]. Rillig, M. C. (2004). Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Canadian Journal of Soil Science*, *84*(4), 355-363. https://doi.org/10.4141/S04-003

[13]. Rillig, M. C., Mardatin, N. F., Leifheit, E. F., & Antunes, P. M. (2010). Mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi increases soil water repellency and is sufficient to maintain water-stable soil aggregates. *Soil Biology and Biochemistry*, *42*(7), 1189-1191. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.03.027

[14]. Rillig, M. C., & Mummey, D. L. (2006). Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist*, *171*(1), 41-53. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01750.x

[15]. Rillig, M. C., Wright, S. F., & Eviner, V. T. (2002). The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. *Plant and Soil*, *238*, 325-333. https://doi.org/10.1023/A:1014483303813

[16]. Rosier, C. L., Hoye, A. T., & Rillig, M. C. (2006). Glomalin-related soil protein: Assessment of current detection and quantification tools. *Soil Biology and Biochemistry*, *38*(8), 2205-2211. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.01.021

[17]. Singh, P. K., Singh, M., & Tripathi, B. N. (2013). Glomalin: an arbuscular mycorrhizal fungal soil protein. *Protoplasma*, *250*(3), 663-669. https://doi.org/10.1007/s00709-012-0453-z

[18]. Treseder, K. K., & Allen, M. F. (2000). Mycorrhizal fungi have a potential role in soil carbon storage under elevated CO2 and nitrogen deposition: REVIEW Mycorrhizal fungi and soil carbon. *New Phytologist*, *147*(1), 189-200. https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00690.x

[19]. Vaidya, G. S., Rillig, M., & Wallander, H. (2011). The role of glomalin in soil erosion. *Scientific World*, *9*(9). https://doi.org/10.3126/sw.v9i9.5524

[20]. Wright, S. F., & Anderson, R. L. (2000). Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. *Biology and Fertility of Soils*, *31*(3-4), 249-253. https://doi.org/10.1007/s003740050653

[21]. Wright, S. F., Franke-Snyder, M., Morton, J. B., & Upadhyaya, A. (1996). Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. *Plant and Soil*, *181*(2), 193-203. https://doi.org/10.1007/BF00012053

[22]. Wright, S F, & Upadhyaya, A. (1998). A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, *198*, 97–107.

[23]. Wright, Sara F., & Upadhyaya, A. (1996). Extraction of an Abundant and Unusual Protein from Soil and Comparison with Hyphal Protein of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Soil Science*, *161*(9), 575-586. https://doi.org/10.1097/00010694-199609000-00003

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

MICROORGANISMOS DEL SUELO Y SU POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO

Hernández-Melchor, D.J.[1*]; Ferrera-Cerrato, R.[1] Alarcón, A.[1]

[1]Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. México

*Autor responsable: dulcejazz@hotmail.com; Carretera México-Texcoco km 36.5, Col. Montecillo, Estado de México, México. CP 56230; Tel. 01 55 5804 5900

Resumen

Trichoderma es un género fúngico de la rizosfera que se ha caracterizado por su uso como bioinoculante y como agente de biocontrol; además, presenta un gran potencial para generar enzimas capaces de degradar residuos orgánicos. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo consistió de la evaluación del potencial biotecnológico de 41 cepas nativas de *Trichoderma*, previamente aisladas de raíz o de suelo rizosférico de maíz de tres sitios (Estado México, Irapuato Guanajuato, y Michoacán). Cada una de las cepas fúngicas fue analizada para conocer su velocidad de crecimiento radial, su actividad enzimática cualitativa, y su capacidad antagónica contra *Fusarium oxysporum* 17191. De las 41 cepas evaluadas, 8 cepas del Estado de México, 5 de Irapuato y 5 de Michoacán presentaron las mejores velocidades de crecimiento y actividades enzimáticas (celulasas, pectinasas y quitinasas) en comparación con la cepa control *Trichoderma reesei* CDBB-H-356. Por otra parte, las 8 cepas seleccionadas del Estado de México presentaron capacidad antagónica contra el patógeno. Como conclusión, algunas cepas nativas de *Trichoderma* tienen potencial biotecnológico para su aprovechamiento industrial al producir enzimas como celulasas, pectinasas y quitinasas, y a la vez, tienen buena actividad en el control de *F. oxysporum*.

Palabras clave

Trichoderma, celulasas, biocontrol

Introducción

Se denomina suelo a la parte superficial de la corteza terrestre biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas, y está compuesto por aire, agua, minerales, materia orgánica, insectos, y microorganismos (Zapata, 2004). Los microorganismos del suelo contribuyen a la sustentabilidad de todos los ecosistemas por ser los principales agentes que favorecen el reciclaje de nutrientes, al regular la descomposición y/o mineralización de la materia orgánica del suelo, el secuestro de carbono, la emisión de gases de efecto invernadero, la estructuración del suelo y la retención de agua, logrando así mayor disponibilidad y eficiencia de absorción de nutrientes por las plantas (Correa, 2013).

Entre los microorganismos benéficos que se encuentran en el suelo podemos mencionar a las bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoarios (Joergensen *et al*., 2018); existiendo una gran variedad de géneros y especies que contribuyen al desarrollo de las plantas y que han sido aislados y propagados para estudiar su potencial biotecnológico en diversas áreas como son médica, alimenticia, ambiental, cosmética, entre otras (Gartland y Gartland, 2018). Estos microorganismos pueden

producirse a diferentes escalas para generar biomasa o algún metabolito de interés, y algunos de los usos más reconocidos son como biofertilizantes (Hernández-Melchor *et al*., 2017), en la producción de enzimas (Ladics y Sewalt, 2018), antibióticos (Netzker *et al*., 2018) o pigmentos (Florez-Miranda *et al*., 2017), o bien, en la biorremediación de contaminantes (Morales-Guzmán *et al*., 2017), o en la producción de biocombustibles (Murillo-Alvarado *et al*., 2014), etc.

Uno de los microorganismos más estudiados por su potencial agro-ecológico es el hongo filamentoso *Trichoderma*, ya que destaca por su capacidad de adaptación en ambientes extremos, y en su producción de metabolitos (enzimas, compuestos promotores de crecimiento vegetal, y compuestos volátiles, entre otros) de interés biotecnológico y ambiental. Además, este género es utilizado como agente de biocontrol contra hongos fitopatógenos debido a sus múltiples mecanismos de acción, destacando la antibiosis, el micoparasitismo, y la competencia por espacio y nutrientes (Vargas-Hoyos y Gilchrist-Ramelli, 2015). Así mismo, varias especies de *Trichoderma* se han utilizado en sistemas acoplados de fermentación en sustratos sólidos o cultivos sumergidos, para degradar residuos lignocelulósicos y para generar energías alternativas como etanol (Ajijolakewu *et al*., 2017). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el potencial biotecnológico de cepas nativas de *Trichoderma* previamente aisladas de la rizosfera de maíz.

Materiales y Métodos

Se evaluaron 41 cepas de *Trichoderma* previamente aisladas de raíz y suelo rizosférico de maíz en tres etapas fenológicas de la planta: crecimiento vegetal (V6), madurez vegetal (MV) y antesis (Ant); a partir de muestras recolectadas de parcelas del Estado de México, Michoacán, e Irapuato (Herrera-Jiménez, 2017). Una vez caracterizadas morfológicamente, las cepas se propagaron en placas de Petri con Papa Dextrosa Agar (PDA), incubadas a 28 ºC por 5 días, y posteriormente se expusieron a luz y temperatura ambiente por 2 días, para promover su esporulación.

Para cada cepa se evaluó su cinética de crecimiento en placa para evaluar la velocidad de crecimiento radial (Vr). Además, se evaluó su potencial biotecnológico a través de ensayos cualitativos en placa para determinar la actividad enzimática de celulasas (Ordoñez-Valencia, 2014), quitinasas (García-Espejo *et al*., 2016) y pectinasas (pectatoliasa y poligalacturonasa) (Hankin *et al*., 1971). También, se utilizó la cepa *Trichoderma reesei* CDBB-H-356 obtenida de la Colección Nacional de Cepas Microbianas y Cultivos Celulares afiliada a la WFCC (World Federation for Culture Collection) como control positivo para los ensayos realizados.

Dada la capacidad antagónica reportada para *Trichoderma* contra diversos hongos patógenos (Vargas-Hoyos y Gilchrist-Ramelli, 2015), se seleccionaron aquellas cepas con mayor velocidad de crecimiento radial y actividad enzimática cualitativa se realizaron estudios de biocontrol, mediante ensayos de confrontación en placa de las cepas contra *Fusarium oxysporum* 17191 evaluando los porcentajes de inhibición de acuerdo a la técnica propuesta por Vargas-Hoyos y Gilchrist-Ramelli (2015).

Resultados y Discusión

En los Cuadros 1-3 se presentan los mejores resultados obtenidos de las velocidades de crecimiento

radial (Vr) y ensayos enzimáticos cualitativos de las cepas seleccionadas del Estado de México, Irapuato y Michoacán, respectivamente.

Cuadro 1. Velocidad de crecimiento radial y ensayos enzimáticos cualitativos de las cepas de *Trichoderma* aisladas de maíz cultivado en el Estado de México.

Cepa	Vr (cm/h)	Celulasas-Diámetro de halo (cm)	Quitinasas (100 % cambio de coloración)	Actividad pectatoliasa pH7-Diámetro de halo (cm)	Actividad poligalacturonasa pH 5-Diámetro de halo (cm)
EMV6SIC2	0.144	positivo (4.9 ± 0.18)	Día 5	positivo (4.9 ± 0.07)	positivo (3.9 ± 0.78)
EMV6SIC4	0.137	positivo (5.7 ± 0.06)	Día 5	positivo (4.8 ± 0.12)	positivo (5.6 ± 0.14)
EMV6SIC5	0.143	positivo (5.4 ± 0.52)	Día 5	positivo (7.2 ± 0.16)	positivo (6 ± 0.97)
MexV6SIC6	0.149	positivo (5.7 ± 0.64)	Día 5	positivo (4.2 ± 0.64)	positivo (5.9 ± 0.11)
EMV6SIC7	0.142	positivo (5.2 ± 0.08)	Día 5	positivo (4.5 ± 0.05)	positivo (6.2 ± 0.63)
EMV6SIC8	0.147	positivo (5.1 ± 0.14)	Día 4	positivo (5 ± 0.65)	positivo (6.2 ± 0.26)
EMMVrSIC4	0.148	positivo (4.4 ± 1.7)	Día 4	positivo (6.4 ± 1.36)	positivo (5.5 ± 0.26)
EMMVSIC2	0.147	positivo (4.4 ± 0.59)	Día 4	positivo (3.3 ± 0.28)	positivo (5.4 ± 0.31)
Trichoderma reesei	0.137	positivo (3.2 ± 0.04)	Día 11	positivo (3.3 ± 0.10)	positivo (3.9 ± 0.21)

Cuadro 2. Velocidad de crecimiento radial y ensayos enzimáticos cualitativos de las cepas de *Trichoderma* aisladas de maíz cultivado en el Irapuato.

Cepa	Vr (cm/h)	Celulasas-Diámetro de halo (cm)	Quitinasas (100 % cambio de coloración)	Actividad pectatoliasa pH7-Diámetro de halo (cm)	Actividad poligalacturonasa pH 5-Diámetro de halo (cm) (cm)
IrAntSIC2	0.128	positivo (4.6 ± 0.06)	Día 5	positivo (4.1 ± 0.12)	positivo (5.7 ± 0.05)
IrAntS3C3	0.139	positivo (5 ± 0.17)	Día 4	positivo (4.4 ± 0.19)	positivo (6 ± 0.36)
IrV6SIC3	0.221	positivo (6.6 ± 0.53)	Día 4	positivo (5.4 ± 0.10)	positivo (6.7 ± 0.16)
IrV6SIC7	0.136	positivo (8.1 ± 0.64)	Día 6	positivo (3.3 ± 0.02)	positivo (5.2 ± 0.15)
IrV6S3C4	0.14	positivo (8.2 ± 0.30)	Día 4	positivo (4.5 ± 0.74)	positivo (4.8 ± 0.08)

Cuadro 3. Velocidad de crecimiento radial y ensayos enzimáticos cualitativos de las cepas de *Trichoderma* aisladas de maíz cultivado en Michoacán.

Cepa	Vr (cm/h)	Quitinasas (100 % cambio de coloración)	Celulasas-Diámetro de halo (cm)	Actividad pectatoliasa pH7-Diámetro de halo (cm)	Actividad poligalacturonasa pH 5-Diámetro de halo (cm)
MichV6SIC1	0.146	Día 8	positivo (6.8 ± 0.02)	positivo (5.1 ± 0.22)	positivo (5.2 ± 0.25)
MichV6S2C2	0.145	Día 6	positivo (6.5 ± 0.06)	positivo (4.3 ± 0.10)	positivo (4.9 ± 0.22)
MichV6S2C8	0.137	Día 4	positivo (6.4 ± 0.39)	positivo (4.6 ± 0.31)	positivo (5.6 ± 0.12)
MichAntS2C1	0.141	Día 6	positivo (6.5 ± 0.23)	positivo (4.9 ± 0.04)	positivo (5.5 ± 0.34)
MichAntS3C1	0.153	Día 6	positivo (6.4 ± 0.06)	positivo (4.7 ± 0.10)	positivo (5.1 ± 0.27)

De los resultados obtenidos de la cinética de crecimiento y diámetros de halos de las pruebas cualitativas de celulasas, pectinasas y quitinasas se seleccionaron las mejores cepas de cada sitio. Del Estado de México se seleccionaron las cepas EMV6SIC2, EMV6SIC4, EMV6SIC5, EMV6SIC6, EMV6SIC7, EMV6SIC8, EMMVrSIC4 y EMMVSIC2 con velocidades de crecimiento radal iguales a 0.144, 0.137, 0.143, 0.149, 0.142, 0.147, 0.148 y 0.147 cm/h, respectivamente. De Irapuato, las cepas seleccionadas fueron IrAntS3C3, IrV6SIC3, IrV6SIC7, IrV6S3C4 y IrAntSIC2 con velocidades de crecimiento radial iguales a 0.139, 0.221, 0.136, 0.140 y 0.128 cm/h, respectivamente; y de Michoacán las cepas seleccionadas fueron MichV6SIC1, MichV6S2C2, MichV6S2C8, MichMVS3C2, MichAntS2C1, MichAntS3C1 con velocidades de crecimiento radial iguales a 0.146, 0.145, 0.137, 0.227, 0.141 y 0.153 cm/h, respectivamente. Cabe señalar que todas las cepas que mostraron las mejores velocidades de crecimiento radial, de igual manera presentaron halos de hidrolisis superiores a la cepa de referencia (*T. reesei* CDBB-H-356), lo que indica la presencia de las enzimas de interés para la posible degradación de sustratos complejos.

Las cepas seleccionadas del Estado de México inhibieron el crecimiento de *Fusarium oxysporum* 17191 en 20-25 %, de lo cual se muestra un ejemplo en la Figura 1.



Figura 1. Actividad antagónica *in vitro* de *Trichoderma* (EMV6SIC2) sobre *Fusarium oxysporum* 17191, a 26°C, después de 7 días de confrontación.

Conclusiones

El uso del género *Trichoderma* en la agricultura y en la biotecnología, ha venido en aumento. Por ello, el aislamiento e identificación de nuevas especies, así como la caracterización y determinación de la efectividad biológica de sus metabolitos, resulta de interés para diversas industrias. La capacidad enzimática y antagónica de 18 de las 41 cepas obtenidas de la rizosfera de maíz, pueden ayudar a degradar sustratos complejos, y para biocontrolar patógenos como *F. oxysporum*.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo durante la estancia posdoctoral de D.J. M-H, y al Proyecto 292399 "*Generación de estrategias científico-tecnológicas con un enfoque multidisciplinario e interinstitucional para afrontar la amenaza que representan los complejos ambrosiales en los sectores agrícola y forestal de México*". FORDECYT-CONACYT por el financiamiento de esta investigación.

Referencias

Ajijolakewu, K.A., C.P. Leh, C.K. Lee and W.A.W. Nadiah. 2017. Characterization of novel *Trichoderma* hemicellulase and its use to enhance downstream processing of lignocellulosic biomass to simple fermentable sugars. Biocatal. Agric. Biotechnol. 11:166-17.

Correa, O.S. 2013. Los microorganismos del suelo y su rol indiscutido en la nutrición vegetal. En: Díaz-Zorita M., O. Correa, M.V. Fernández-Canigia, R.S. Lavado (eds.) Aportes de la microbiología a la producción de cultivos. Buenos Aires, Argentina.

Flórez-Miranda, L., R.O. Cañizares-Villanueva, O. Melchy-Antonio, F. Martínez-Jerónimo and C. M. Flores- Ortíz. 2017. Two stage heterotrophy/photoinduction culture of *Scenedesmus incrassatulus*: potential for lutein production. J. Biotech. 262: 67–74.

García-Espejo, C.N., M.M. Mamani-Mamani, G.A. Chávez-Lizárraga, y M.T. Álvarez-Aliaga. 2016. Evaluación de la actividad enzimática del *Trichoderma inhamatum* (BOL-12 QD) como posible biocontrolador. J. Selva Andina Res. Soc. 7(1):20-32.

Gartland, K.M.A. and J. S. Gartland. 2018. Opportunities in biotechnology. J. Biotech. 282: 38–45.

Hankin, L., M. Zucker and D.C. Sands. 1971. Improved solid medium for the detection and enumeration of pectolytic bacteria. Appl. Microbiol. 22: 205-209.

Hernández-Melchor, D.J., R.O. Cañizares-Villanueva, J. R. Terán-Toledo, P. A López- Pérez and E. Cristiani-Urbina. 2017. Hydrodynamic and mass transfer characterization of flat-panel airlift photobioreactors for the cultivation of a photosynthetic microbial consortium. Biochem. Eng. J. 128:141–148.

Herrera-Jiménez, E. 2017. Promoción del crecimiento vegetal de *Zea mays L*., inoculado con cepas del género *Trichoderma*, en tres tipos de suelo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de postgraduados, Montecillo, México. 136 pp.

Joergensen, R.G. and F. Wichern. 2018. Alive and kicking: Why dormant soil microorganisms matter. Soil Biol. Biochem. 116: 419-430.

Ladics, G.S. and V. Sewalt. 2018. Industrial microbial enzyme safety: What does the weight-of-evidence indicate?. Regul. Toxicol. Pharm. 98: 151-154.

Morales-Guzmán, G., R. Ferrera-Cerrato, M. del C. Rivera-Cruz, L.G. Torres-Bustillos, R.I. Arteaga-Garibay, M.R. Mendoza-López, R. Esquivel-Cote and A. Alarcón. 2017. Diesel degradation by emulsifying bacteria isolated from soils polluted with weathered petroleum hydrocarbons. Appl. Soil Ecol. 121: 127–134.

Murillo-Alvarado, P.E., J.M. Ponce-Ortega, A.J. Castro-Montoya, M. Serna-González and M. M. El-Halwagi. 2014. Biofuels from Residues of the Tequila Industry of Mexico. 24th European Symposium on Computer Aided Process Engineering. 1051–1056.

Netzker, T., M. Flak, M.K. Krespach, M.C. Stroe, J. Weber, V. Schroeckh and A.A. Brakhage. 2018. Microbial interactions trigger the production of antibiotics. Curr. Opin. Microbiol. 45: 117–123.

Ordóñez-Valencia C. 2014. Interacción de *Trichoderma viride* y agentes químicos antifúngicos en el crecimiento y desarrollo de *Sclerotinia sclerotiorum*. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de postgraduados, Montecillo, México. 124 pp.

Vargas-Hoyos, H.A and E. Gilchrist-Ramelli. 2015. Producción de enzimas hidrolíticas y actividad antagónica de *Trichoderma asperellum* sobre dos cepas de Fusarium aisladas de cultivos de tomate (Solanum lycopersicum). Revista Mexicana de Micología. 42:9-16.

Zapata, J.A.R. 2004. Microorganismos del suelo. En: Bautista, Z.F., G.H. Delfín, P.J.L Palacio, C. Ma. C. Delgado (eds.) Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. Mérida Yucatán, México.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

BACTERIAS HALOTOLERANTES PROMOTORAS DE CRECIMIENTO VEGETAL (PGPR) Y SU EFECTO EN EL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE TOMATE

Martínez-Guerrero, J.[1]; Fortis-Hernández, M.[2*]; Preciado-Rangel, P.[2]; Gallegos-Robles, M.A.[3]; Coria-Arellano, J.[3]; Trejo-Valencia, R.[4]

[1]Estudiante de posgrado del Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Torreón (ITT), Maestría en Ciencias en Suelos. Torreón, Coahuila. México.
[2]Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Torreón (ITT), Maestría en Ciencias en Suelos. Torreón, Coahuila. México.
[3]Facultad de Agricultura y Zootecnia (FAZ) de la UJED. Gómez Palacio, Durango. México.
[4]Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Minatitlán (ITM). Minatitlán, Veracruz. México.
***Autor responsable**: **fortismanuel@hotmail.com; Ejido Ana Carr. Torreón – San Pedro km 7.5. Torreón, Coahuila. México. C.P. 27190. Tel. +52(871)7507199.**

Resumen

El objetivo del trabajo fue evaluar el rendimiento y calidad comercial de tomate (*Solanum Lycopersicum*), como respuesta a la inoculación con bacterias halotolerantes promotoras de crecimiento vegetal. El trabajo se realizó en malla sombra durante el ciclo agrícola primavera-verano 2017. Los tratamientos fueron: T1 (*Bacillus spp*.), T2 (*Pseudomona lini*), T3 (*Brevibacterium*), T4 (*Virgibacillus*), T5 (*Bacillus spp*.+ *Pseudomona lini*), y un tratamiento testigo (T6) con fertilización química sin inocular. El diseño experimental fue bloques al azar, realizándose análisis de varianza y prueba de separación de medias por DMS ($P \leq 0.05$). En medio liquido Luria Bertani fueron preparados cada inoculo bacteriano, las concentraciones se ajustaron a 1 X 10^8 UFC mL^{-1} con buffer fosfato salino al 0.5X. La inoculación se realizó con el método de inmersión a la raíz 8 días antes del trasplante y una segunda al momento del trasplante. Se tomaron datos relacionados con el desarrollo radical, calidad y rendimiento. Los resultados muestran que el tratamiento cinco reportó los mayores valores para desarrollo radical. Respecto al rendimiento los tratamientos inoculados con *Bacillus* + *Pseudomonas* (T5), e inoculados únicamente con *Bacillus spp.* (T1), fueron estadísticamente igual a los obtenidos por el tratamiento testigo. En este sentido, la inoculación con bacterias promotoras de crecimiento con las cepas *Bacillus spp*., y *Bacillus spp. + Pseudomonas lini*, pueden ser una alternativa biotecnológica para la producción de tomate en malla sombra ya que se encontraron rendimientos y calidad comercial aceptables.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*; Solubilización de fosfatos, Ácido indolacético.

Introducción

El uso de bacterias promotoras de crecimiento está siendo utilizadas para la estimulación del desarrollo de los cultivos. Estos microorganismos presentes en la rizosfera intervienen en los ciclos de los nutrientes en el sistema suelo-planta. Entre los microorganismos y agentes rizosféricos se encuentran bacterias, hongos, nematodos, protozoos, algas y micro artrópodos; esta diversidad es de decenas de miles de especies. La asociación de la planta con la comunidad microbiana se conoce como el segundo genoma de la planta, ya que es elemental para su salud y es capaz de cambiar el microbioma de la rizósfera (Espinosa *et al*., 2017).

La comunidad de microorganismos con efectos positivos sobre las plantas se ve reflejados en la influencia en su crecimiento y desarrollo, en la regulación de la actividad metabólica de la raíz, en las propiedades físicas y químicas del suelo, así como la tolerancia al estrés biótico y abiótico.
Entre estos microorganismos benéficos se encuentran las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), que ayudan al crecimiento de las plantas de forma directa o indirecta. De manera directa lo hacen a través de facilitar la adquisición de nutrientes, fijación de nitrógeno, solubilización de fosfatos, secuestro de hierro, modulación de los niveles de fitohormonas, etc. en el caso de los mecanismos indirectos son la síntesis de antibióticos y enzimas líticas, producción de sideróforos, resistencia sistémica inducida, etc. Una gran diversidad de bacterias incluidas las especies de *Pseudomonas, Azospirillum, Azotobacter, Klebsiella, Enterobacter, Alcaligens, Arthobacter, Burkholderia, Bacillus* y *Serratia* ha sido reportada por mejorar el crecimiento vegetal. Los recientes avances acerca de la comprensión de la diversidad de PGPR y su capacidad de colonización y mecanismos empleados deberían facilitar su confiable aplicación en el manejo de agricultura sostenible. En este sentido el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de *Bacillus, Pseudomona, Brevibacterium* y *Virgibacillus* en el desarrollo, producción, y calidad comercial de tomate tipo saladette producido bajo condiciones de malla sombra.

Materiales y Métodos

El experimento se realizó en malla sombra la cual está fabricada con perfiles cuadrados de 1.25” y 1.5” en calibre de 2 mm, estructura de acero galvanizado. La ventilación está provista de cortinas enrollables por medio de manivela, acondicionada con malla anti-insectos color cristal 25 x 25 hilos/pulgada. La cubierta de Polietileno fue tratada contra rayos Ultravioleta, Cal. 720, difuso, 30% sombra. Se trabajo con Tomate tipo saladete variedad Quetzal. El material microbiológico de trabajo fue del género *Bacillus spp.*, *Pseudomona lini, Brevibacterium* y *Virgibacillus*. Los tratamientos fueron: T1 (*Bacillus spp.*), T2 (*Pseudomona lini*), T3 (*Brevibcterium*), T4 (*Virgibacillus*), T5 (*Bacillus spp.*+ *Pseudomona lini*), y un tratamiento testigo (T6) con fertilización química sin inocular. Las cepas empleadas fueron facilitadas por el Laboratorio de Ecología Microbiana de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Durango, México.
Las Bacterias fueron aisladas de la rizosfera del zacate salado “*Distichlis psicata*” en la poza salada en el valle del Sobaco de San Pedro, Coah. En medio liquido Luria Bertani fueron preparados cada inoculo bacteriano e incubados durante 24 h a 30°C, con agitación de 200 rpm; las concentraciones se ajustaron a 1 X 10^8 UFC mL^{-1} con buffer fosfato salino al 0.5X. La inoculación de las bacterias se realizó con el método de inmersión a la raíz 8 días antes del trasplante y una segunda inoculación al momento del trasplante. Éste fue realizado en un suelo previamente caracterizado física y químicamente. Se utilizo un distanciamiento de camas de 1.6 m y se hizo en tresbolillo, con una distancia de 20 cm entre plantas. La evaluación de la cosecha se realizó cuando las plantas de tomate habían alcanzado a formar el quinto racimo. Se tomaron datos relacionados con: altura de planta y diámetro, análisis mineral de planta, calidad comercial del fruto, rendimiento y solidos solubles totales. El diseño experimental fue bloques al azar; contando con 6 tratamientos con tres repeticiones: 4 cepas, una combinación de cepas, y 1 tratamiento testigo. Se realizaron análisis de varianza y prueba de separación de medias por DMS ($P \leq 0.05$), utilizando el paquete estadístico SAS.

Resultados y Discusión

Los resultados muestran que para la mayoría de las variables fenológicas el tratamiento cinco (inoculación con la mezcla de *Bacillus* + *Pseudomonas*), reporto los mayores valores (Cuadro 1). Para el caso de altura de planta este tratamiento obtuvo una mayor altura respecto al tratamiento inoculado solo con Bacillus, un incremento del 21%. Para diámetro de tallo fue mayor en un 26%, y con respecto al área foliar un 55%. Para el caso del peso seco de raíz (MSR), fue mayor en los tratamientos cinco y seis, ambos fueron estadísticamente iguales (Figura 1). Y para el caso del peso seco de planta el tratamiento testigo fue el mejor. Al respecto, Luna Martínez *et al*., (2013) encontraron que las cepas *Enterobacter* sp y *Pseudomona* presentan un gran potencial para estimular el crecimiento y producción en el cultivo de tomate. Respecto a la producción de fosfatos y sideróforos todas las cepas lo realizaron (Cuadro 2).

Cuadro 1. Variables fenológicas evaluadas en el cultivo de tomate tipo saladette inoculado con bacterias promotoras de crecimiento vegetal y producidos en malla sombra.

	Variables				
Tratamientos	ALP	DT	MSR	MSP	Área Foliar
	cm	mm	------ g ------		$m^2\ m^{-2}$
T1 = Bacillus	110.00 b*	10.66 a,b	2.27 a,b	8.60 c	1361.80 c
T2 = Pseudomonas	114.33 b	9.33 b	1.67 b	11.37 b	1530.60 c
T3 = Brevibacterium	131.33 a,b	9.33 b	2.93 a,b	7.97 c	2377.40 b
T4 = Virgibacillus	113.33 b	11.00 a,b	2.43 a,b	9.60 b,c	1984.80 b
T5 = Bacillus+Pseudomonas	140.00 a	12.66 a	3.13 a,b	9.63 b,c	3039.60 a
T6 = Testigo sin inocular	128.33 a,b	10.33 b	4.00 a	14.20 a	2008.70 b

Donde; ALP = Altura de planta medido a los 80 días después del trasplante (ddt); DT = Diámetro de Tallo; MSR= Materia seca de raíz; MSP=Materia seca de Planta. *Diferencias entre medias obtenidas mediante prueba de DMS ($P \leq 0.05$). Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes.

Essalmani y Lahlou (2003), señalan que la estimulación indirecta del crecimiento de plantas incluye una variedad de mecanismos de biocontrol que son ampliamente reconocidos como la competencia por nicho ecológico o sustratos, producción de antibióticos y la producción de sideróforos como un mecanismo de secuestrar el hierro disponible en el medio y con esto limitar el crecimiento de microorganismos fitopatógenos, por ejemplo, la bacteria *Azospirillum brasilense*, distinguida por su capacidad para fijar nitrógeno y producir ácido indolacético (AIA). Aunque algunas bacterias producen sólo una clase de sideróforos, otras secretan diversos tipos que las hace más eficientes para colonizar diferentes ambientes. Algunas especies del género *Pseudomonas* producen sideróforos del tipo hidroximato, entre los que se encuentran la ferribactina y pseudobactina, pero otras más producen moléculas denominadas pioverdinas del tipo catecol.

Cuadro 2. Solubilización de fosfatos y sideróforos de cepas bacterianas empleadas en la producción de tomate en malla sombra.

Cepas	Solubilización de fosfatos	Producción de sideróforos
Bacillus sp.	+	+
Pseudomonas sp.	+	+
Brevibacterium sp.	+	+
Virgibacillus sp.	+	+

Fuente: Determinación en el laboratorio de Biología de la UJED, Campus Gómez Palacio, Dgo.

Respecto a la calidad comercial de los frutos de tomate, el análisis de varianza determino diferencias significativas para las variables DP, DE, EP, PF y SST (Cuadro 2).



(a) Control vs *Pseudomona lini*



(b) Control vs *Bacillus spp.*



(c) Control vs *Bacillusspp.* + *Pseudomona lini*



(d) Control vs *Brevibacterium*



(e) Control vs *Virgibacillus*

Figura 1. Comparación de la raíz de plantas de tomate inoculadas con bacterias promotoras de crecimiento comparadas con un testigo sin inocular.

Para los diámetros polar y ecuatorial (DP y DE), los mayores valores se presentaron en el Tratamiento testigo (T6), para el caso de los tratamientos inoculados los mejores fueron con las cepas *Bacillus+pseudomonas* (T5) y *Virgibacillus* (T4). Los valores obtenidos son considerados de calidad aceptable. Respecto a espesor de pericarpio, el tratamiento con las cepas *Bacillus+Pseudomonas* (T5) y *Virgibacillus* (T4) presentaron los mayores valores; siendo un 34% mayor su espesor respecto al tratamiento T2 con la cepa Pseudomona. Para peso del fruto (PF) y solidos solubles totales (SST), el mejor tratamiento se presentó con la cepa *Virgibacillus*, confirmando lo señalado por Bhattacharjee *et al*. (2015), quienes señalan que la inoculación con RPCV generan efectos positivos en la calidad y tamaño de los frutos de tomate. Los resultados obtenidos para el caso del rendimiento muestran

diferencias significativas positivas por efecto de las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR) (Cuadro 3).

Los tratamientos de tomate inoculados con *Bacillus* + *Pseudomonas* (T5), e inoculados únicamente con *Bacillus* fueron estadísticamente iguales a los obtenidos por el tratamiento testigo. Los rendimientos fueron de 787.7, 821.7 y 811.5 g planta^{-1}, respectivamente. Las diferencias en rendimiento de los tratamientos inoculados con Virgibacillus (T4) y Pseudomonas (T2) fue en promedio 39% menor con respecto a los tratamientos 1 y 2. Considerando que solo se realizaron cinco cortes los rendimientos por planta pueden ser considerados aceptables ya que en promedio en la región se reportan entre 10 y 12 kg planta^{-1}, considerando 10 racimos por planta. Estudios realizados por Espinosa (2017), encontró que las PGPR *Bacillus spp*., y *Aeromonas spp*., incrementaron el rendimiento de tomate bajo condiciones de invernadero. En este sentido, las PGPR promovieron efectos positivos sobre el cultivo de tomate.

Cuadro 3. Variables de calidad comercial de frutos de tomate tipo saladette inoculado con bacterias promotoras de crecimiento vegetal y producidos en malla sombra.

	Variables					
Tratamientos	DP	DE	EP	PF	SST	g planta^{-1}
	---------- mm ----------			g	°Brix	
T1 = Bacillus	51.00 b	42.00 c	4.67 a,b	43.5 c	4.97 a,b	821.67
T2 = Pseudomonas	40.00 c	33.00 d	3.50 c	24.5 e	5.17 a	500.33
T3 = Brevibacterium	45.00 c	35.50 d	3.67 b,c	31.0 d	4.57 b,c	632.67
T4 = Virgibacillus	54.17 b	47.00 b	5.67 a	73.0 a	5.27 a	502.00
T5 = Bacillus+Pseudomonas	53.00 b	42.33 c	5.33 a	55.5 b	4.33 c	787.67
T6 = Testigo sin inocular	61.50 a	52.00 a	5.67 a	76.5 a	4.40 c	811.50

Donde; DP= Diámetro polar; DE=Diámetro ecuatorial; EP = Espesor de pericarpio; PF= Peso del fruto; SST=Solidos Solubles Totales. * Diferencias entre medias obtenidas mediante prueba de DMS ($P \leq 0.05$). Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes.

Conclusiones

La biofertilización en el cultivo de tomate a través de la inoculación con bacterias promotoras de crecimiento de las cepas *Bacillus spp*., y *Bacillus spp. + Pseudomonas lini*, puede ser una alternativa para la producción de tomate en malla sombra ya que se encontraron rendimientos y calidad comercial aceptable.

Agradecimientos

Agradecemos al Tecnológico Nacional de México (TecNM) por haber financiado este proyecto con Clave: 6595.18-P.

Referencias

Bhattacharjee, R.B., A. Singh, S.N. Mukhopadhyay, U. 2008. se of nitrogen fixing bacteria as biofertilizer for non-legumes: prospects and challenges**.** Appl. Microbiol. Biotechnol., 80 (2008), pp. 199-209.

Essalmani H, H Lahlou (2003) Mécanismes de bioprotection des plantes de lentile par *Rhizobium leguminosarum* contre *Fusarium oxysporum* sp. Lentis. Comp. Rend Biol. 326:1163-1173.

Espinosa Palomeque, B., A. Moreno Reséndez, P. Cano Ríos, V .P. Álvarez Reyna, J. Sáenz Mata, H. Sánchez Galván y G., González Rodríguez. 2017. Inoculación de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate (Solanum lycopersicum L.) cv. afrodita en invernadero. Terra Latinoamericana 35: 169-178.

Luna Martínez, L., Martínez Peniche, R.A., Hernández Iturriaga, M., Arvizu Medrano, Sofía M., y Pacheco Aguilar, Juan R. 2013. Caracterización de rizobacterias aisladas de tomate y su efecto en el crecimiento de tomate y pimiento. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 36 (1): 63 – 69.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

PRODUCCIÓN DE CHILE HABANERO *(Capsicum chinense jacq.)* Y EFICIENCIA EN USO DE AGUA BAJO DOS FECHAS DE TRASPLANTE.

Argaez Hernández, R.[1*]; Álvarez Reyna V.[2]; Ramírez Gottfried, R.[3];

[1]Alumno del postgrado Instituto Tecnológico de Torreón. Torreón, Coahuila. México.
[2]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila. México.
[3]Alumno de postgrado Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila. México.

*Autor responsable: argaez90@hotmail.com; Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fe s/n Col. Valle Verde, Torreón, Coahuila, México. CP 27054; Tel. +52(871)-332-4452

Resumen
En este estudio el principal objetivo fue evaluar el crecimiento, producción y eficiencia en uso de agua en chile habanero *(Capsicum chinense jacq.)*. Con 3 porcentajes de Eto. 60, 80 y 100% dos fechas de trasplantes correspondientes al 15 de abril de 2017 y 29 de abril de 2017.
Los resultados obtenidos indican que las mayores alturas de planta se presentaron en los tratamientos de 100 y 80 % de Eto. Y fecha de trasplante de 15 de abril de 2017 con valores de 40.41 y 36.91 cm respectivamente, la mayor producción de materia seca se obtuvo en los tratamientos de 80 y 100% de Eto. Con fecha de trasplante del 15 de abril de 2017 138.01 y 99.24 gr. En rendimiento los tratamientos de 60, 80 y 100 % de Eto. Con fecha de trasplante del 15 de abril de 2017 fueron estadísticamente similares con 5.80, 6.14 y 5.68 ton/ha.

Palabras clave: Capsicum chinense jacq; evapotranspiración; rendimiento; uso de agua.

Introducción
El agua es el principal factor limitante en el rendimiento de los cultivos en todo sistema de producción agrícola. En virtud de lo cual es necesario hacer un uso eficiente de este recurso. El riego por goteo en la modalidad cintilla es una alternativa para un mejor aprovechamiento de dicho recurso y acompañado con mejores prácticas de manejo del cultivo generando mejores beneficios económicos para el productor (Inzunza-Ibarra *et al.*, 2010). Este sistema permite reducir el uso del agua maximizando la eficiencia en uso del recurso hídrico como resultado de la reducción de la perdida por evaporación ya que el agua es depositada directamente en la zona radicular de las plantas (Shock y Welch, 2013).

La agricultura es el principal consumidor de agua. Está actividad consume alrededor del 70% a nivel mundial, el uso doméstico 10% y uso industrial 20%. Actualmente en el norte del territorio mexicano la sobre explotación de los mantos acuíferos es un problema en las regiones agrícolas más importante afectando el dinamismo de su economía. La comarca lagunera es una de estas regiones, donde el agua es escasa limitando la producción agrícola (CNA, 2002).

El deterioro de los recursos naturales en el norte del país es resultado de prácticas de producción agrícola intensiva, lo cual ha generado la necesidad de implementación de alternativas de producción bajo un manejo sustentable del ecosistema (Defries *et al.*, 2014; Arroita *et al.*, 2013).

El chile habanero *(Capsicum chinense jacq)*, es una hortaliza de gran importancia a nivel nacional e internacional. Los principales estados productores de esta hortaliza son Yucatán, Quintana Roo, Campeche, Tabasco y Veracruz (Borges *et al* 2014). En otros estados se cultiva a menor a escala como son: Sonora, Sinaloa, Zacatecas y Coahuila (SIAP-SAGARPA, 2012).

La siembra comercial de este cultivo en las regiones áridas del norte de México no se realiza en condiciones de campo a cielo abierto, debido a la alta temperatura que existe en estos lugares y las plantas presentan un desarrollo raquítico y baja productividad (Coop et al., 2011). No obstante esta hortaliza es redituable por su precio en el mercado nacional que supera el de cualquier otro picante. Por ejemplo en la comarca lagunera el kilogramo de fruto fresco alcanza un precio de $ 100 a $130 por la alta demanda local, nacional e internacional y por sus múltiples usos (Carballo-Bautista *et al.*, 2010).

Materiales y Métodos.

Localización del sitio experimental.

El presente experimento se llevó a cabo en el ciclo primavera verano 2017, en los meses febrero - agosto, en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" Unidad Laguna (UAAAN-UL) ubicada entre el periférico Raúl López Sánchez y carretera Santa Fe km 1.5. Entre los paralelos 24° 05' y 26° 45´ de latitud norte en Torreón, Coahuila México.

Su clima es de tipo desértico con escasa humedad atmosférica, su precipitación pluvial promedio es de 200 a 300 mm anuales, con una evaporación anual promedio de 2600 mm que fluctúa entre los 28 y 40°C.

Genotipo.

La variedad de chile habanero utilizado en el experimento fue la Orange. La cual se obtuvo en el estado de Quintana Roo, variedad que presenta un buen desarrollo vegetativo.

Diseño experimental.

El diseño experimental utilizado fue un arreglo de parcelas divididas en bloques completamente al azar, donde los factores de estudio fueron láminas de riego (L) y fecha de Trasplante (F). Donde las láminas de riego (L) fueron tres niveles (60, 80 Y 100% de Eto), las cuales se determinaron a partir de la evapotranspiración determinada en un tanque evaporímetro tipo "A". Las fechas de trasplante (T) fueron dos, por lo que se obtuvieron seis tratamientos con cuatro repeticiones, con un total de 24 parcelas experimentales en una superficie de 600 $m^{2.}$

Prácticas culturales.

Preparación del terreno el cual consistió en el barbecho, rastreo, nivelación del terreno trazo del experimento en campo e instalación del sistema de riego.

Desarrollo del Experimento

Las plantas de chile habanero *(Capsicum chinense jacq) variedad Orange*, estuvieron listas para llevar a campo el primer trasplante, se realizó el 15 de abril de 2017 cuando las plantas presentaban aproximadamente 7 a 10 cm de altura, contando con cuatro a seis hojas verdaderas. El segundo

trasplante se realizó el 29 de abril de 2017 cuando las plantas alcanzaron una altura de 10 a 12 cm de altura contando con 8 hojas verdaderas, la distribución de plantas fue de acuerdo a cada tratamiento.

Variables evaluadas.
Altura de planta, rendimiento y eficiencia en uso de agua.

Resultados y Discusión.

Altura de planta.

La mayor altura de planta se presentó en la fecha de trasplante de 15 de abril de 2017 con un valor de 36.15 cm, superando al trasplante del 29 de abril de 2017 que alcanzó una altura de 29.26 cm. En la interacción riego y fecha de trasplante se detectó diferencia significativa. La mayor altura de planta se presentó en los tratamientos 100 y 80% de Eto. Con la fecha de trasplante de 15 de abril de 2017, alcanzando alturas de 40.41 y 36.91 cm.

Cuadro 1: Altura de planta de chile habanero bajo diferentes regímenes de riego y fecha de trasplante.

Régimen de riego	Fecha de trasplante.		
(% Eto)	15 de abril 2017	29 de abril 2017	Media
60	31.14 cd	26.83 e	28.99 b
80	36.91 ab	27.75 e	32.33 b
100	40.41 a	33.21 bc	36.81 a
Media	36.15 a	29.26 b	

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (LSD, $P \leq 0.05$).

Rendimiento.

En el análisis estadístico se encontró diferencia significativa, en fechas de trasplante fue mejor la de 15 de abril de 2017 con 5.88 ton/ha superando a la fecha del 29 de abril de 2017 con 3.35 ton/ha. En la interacción riego y fecha de trasplante también se detectó diferencia significativa. Los mayores rendimientos se obtuvieron en los tratamientos de riego al 60, 80 y 100 % de Eto y fecha de trasplante de 15 de abril de 2017 obteniendo rendimientos de 5.80, 6.14 y 5.68 ton/ha respectivamente, superando a los tratamientos de riego al 60, 80 y 100% de Eto con fecha de trasplante de 29 de abril de 2017 donde los rendimientos fueron 3.29, 3.60 y 3.16 ton/ha respectivamente.

Cuadro 2: Rendimiento del cultivo de Chile habanero en (ton/ha) bajo diferente régimen de riego y fecha de trasplante.

Régimen de riego	Fecha de trasplante.		
(% Eto)	15 de abril 2017	29 de abril 2017	Media
60	5.80 ab	3.29 cd	4.55 a
80	6.14 a	3.60 bcd	4.87 a
100	5.68 abc	3.16 d	4.42 a
Media	5.88 a	3.35 b	

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (LSD, $P \leq 0.05$).

Eficiencia en uso de agua.

En porcentajes de agua aplicada no se encontraron diferencias significativas. En las fechas de trasplante se encontró diferencia significativa, la fecha de trasplante de 15 de abril de 2017, presento 2.78 kg/m^3 de agua superando al trasplante del 29 de abril de 2017 con valor de 1.58 kg/m^3 de agua. En cuanto a la interacción de ambos factores también se encontró diferencia significativa haciendo un uso eficiente de agua en el tratamiento de riego 80% de Eto con fecha de trasplante el 15 de abril de 2017 con un valor de 2.91 kg/m^3 de agua.

CUADRO 3. Eficiencia en uso de agua (EUA) en el cultivo de Chile habanero *(Capsicum chinense jacq)* kg/m^3.

Régimen de riego	Fecha de trasplante.		
(% Eto)	15 de abril 2017	29 de abril 2017	Media
60	2.83 ab	1.60 cd	2.21 a
80	2.91 a	1.70 cd	2.30 a
100	2.61 ab	1.45 d	2.03a
Media	2.78 a	1.58 b	

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (LSD, P ≤ 0.05)

Conclusiones

El crecimiento, rendimiento y uso eficiente del agua en el cultivo de chile habanero fue afectado por principalmente por la fecha de trasplante, la fecha de trasplante de 15 de abril de 2017 fue superior en las variables de altura de planta, rendimiento y eficiencia en uso de agua. Utilizando un régimen de riego de 80 % de Eto. Se encontraron valores similares que utilizando el 100 %; se recomienda usar este régimen de riego para este cultivo.

Agradecimientos

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para realizar estudios de maestría CVU No 786680.

Referencias

Borges-Gómez, L., C. Moo-Kauil, J. Ruíz-Novelo, M. Osalde-Balam, C. González-Valencia, C. Yam-Chimal y F. Can-Puc 2014. "Suelos destinados a la producción de chile habanero en Yucatán: caracteristicas físicas y químicas predominantes." Agrociencia 48: 348-356.

Carballo-Bautista, M. A., F. Moguel-Salazar, L. Brito-Argáez, J. Cristóbal-Alejo y I. Islas-Flores 2010. “A brief morphological descripticon of a small internal fuit grown in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) main fruit.” Revista Fitotecnia Mexicana 33: 281-285.

CNA (Comisión Nacional del Agua). (2002ª). Priorización de Acciones Detalladas 2002-2006. Gerencia Regional VII, Cuencas Centrales del Norte. Torreón, Coahuila. 33 p.

Coop, G. F. Y., C. A. I. Corona, R. R. Rodríguez y R. F. J. Herrera 2011. "Conservación de la calidad pos cosecha en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) Mediante atmósferas modificadas." Revista Iberoamericana de Tecnología Pos cosecha 12: 80-86.

Inzunza-Ibarra, M. A., M. Villa-Castorena, E. A. Catalán-Valencia y A. Román-López 2010. "Extracción de nutrientes y producción de chile jalapeño bajo acolchado plástico y niveles de riego." Terra Latinoamericana 28: 211-218.

Shock C C y T, Welch. 2013. El riego por goteo. Una introducción. EM 8782-S OregonStateUniversity.

SIAP-SAGARPA 2012. "Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación." México. Consultado el 27 de mayo de 2016 en: www.siap.sagarpa.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EFICACIA DE LAS ZANJAS BORDO PARA CAPTAR ESCURRIMIENTOS EN UN AGOSTADERO, MIXTECA OAXAQUEÑA

Villa-Montes, I.[1]; Martínez-Menez, M.R.[2*]; Rubio-Granados, E.[3]; Fernández-Reynoso, D.S.[4]

[1]Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. México.
[2]Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. México.
[3]Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. México.
[4]Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. México.

*Autor responsable: mmario@colpos.com; Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco 56230, Estado de México; Tel. +52(55)- 5804 5900 Ext. 1213

Resumen
En la Mixteca Oaxaqueña, como en otras regiones del país, las zanjas bordo son una práctica común para la conservación de suelo y agua. En el presente estudio se evaluó la eficacia de las zanjas bordo para captar escurrimientos en un agostadero. Se seleccionaron tres parcelas con zanjas (P1, P2 y P3) y se realizó un levantamiento topográfico, para conocer el diseño de las zanjas bordo, los rasgos topográficos del terreno y la eficacia de trazo. En dos parcelas, con suelo profundo (P1 Cambisol) y somero (P3 Leptosol), con cinco años de antigüedad, se estimó el exceso de lluvia para tres eventos con intensidad máxima (123.4 mm h^{-1}), considerando la infiltración básica medida en campo. Los resultados indican que las zanjas bordo no cumplen criterios técnicos de diseño de la instancia normativa y su eficacia en la captación de escurrimientos por trazo fue de 64% alta a muy alta. El exceso de lluvia en la parcela P1 para el evento con máxima intensidad, fue solamente de 46% de la capacidad real de las zanjas bordo, con infiltración moderada; en el caso de la parcela P3 para ningún evento se presentó exceso de lluvia, ya que, la infiltración fue rápida.

Palabras clave
Exceso de lluvia, manejo, suelo, zanjas de infiltración

Introducción
La degradación del suelo es un conjunto de procesos que disminuyen la capacidad productiva actual y futura del suelo para sostener la vida (Warren, 2002), afecta la seguridad alimentaria y la disponibilidad de agua (McBratney *et al.*, 2014). Ante esta problemática se han establecido prácticas de conservación de suelo y agua, en zonas degradas, con riesgo de degradación o donde existe escasez de agua. Una de las principales prácticas que se construyen en México, son zanjas de infiltración, financiadas por programas gubernamentales o por fundaciones. En la mixteca Oxaqueña se han implementado zanjas bordo o zanjas de infiltración que se definen como una técnica de producción-recolección de agua en laderas, que se subdividen en *n* unidades (Flores, 2012), se construyen como continuos en curvas a nivel y el suelo excavado se coloca aguas abajo de la zanja para formar el bordo (CONAFOR, 2014).
Esta práctica se realiza principalmente para reducir la longitud de la pendiente (Anschütz *et al.*, 1997); captar el agua que escurre y propiciar su infiltración (Pizarro *et al.*, 2008); prevenir la erosión laminar,

impedir la formación de cárcavas y mejorar la calidad del agua (CONAFOR, 2014), conservar humedad, favorecer la producción de biomasa y la forestación en ambientes degradados (Singh *et al.*, 2013).

En condiciones naturales cuando la precipitación se presenta con bajas intensidades iguales o menores a la infiltración del agua en el suelo, toda el agua se infiltra. En cambio, cuando la intensidad de la lluvia supera la capacidad de infiltración, sólo una parte se infiltra y el resto se encharca en la superficie, para después escurrir según la topografía del terreno (Assouline, 2013), dependiendo de la intensidad puede ocasionar erosión. Por tanto, el correcto diseño y construcción del sistema zanja bordo en el campo garantiza el funcionamiento adecuado de la captación del agua de lluvia (Flores, 2012).

Por ello, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la eficacia de las zanjas bordo para captar escurrimientos en un agostadero en la región de la Mixteca en el estado de Oaxaca. Los resultados son de importancia, ya que a pesar de los trabajos que se han realizado para evaluar las zanjas de infiltración en general, la variabilidad de las condiciones edáfica, geomorfológica y de vegetación en el que se realizan, indican que estas acciones se deben adecuar a las condiciones particulares de cada sitio con la finalidad de alcanzar los objetivos conservar el suelo y agua (Williams y Brown, 2016).

Materiales y Métodos

El sitio de estudio se localiza en la cuenca Rancho Dolores, ubicada entre las coordenadas geográficas extremas: 17°49’53” y 17°54’13” de Latitud Norte; y 97°45’08” y 97°48’41” de longitud Oeste, a una altura promedio de 1,822 m, en el paraje “El Cuate”, con una superficie de 80.4 ha, ubicado en la agencia Rancho Reyes, de la región Mixteca, Oaxaca, al suroeste de la cuenca, donde se practica ganadería extensiva. El clima en la cuenca es semiárido-cálido (Martínez et al., 2014). El periodo de lluvias va de junio a septiembre con una precipitación promedio anual de 670 mm (WWF, 2015). La evaporación promedio anual es de 2,151 mm y la evapotranspiración potencial promedio de 1,828 mm. En el área de zanjas bordo se tienen problemas de erosión laminar moderada y en surcos (INEGI, 2013). La vegetación dominante es pastizal, dado que la principal actividad económica es la ganadería (WWF, 2014).

Para estimar la eficacia de las zanjas bordo se tomaron datos en campo, con un muestreo en tres parcelas con práctica, estas se eligieron con base en la pendiente (10 – 20 %), vegetación, manejo (agostadero) y antigüedad, se denominaron P1 (5 años), P2 (3 años) y P3 (5 años). La caracterización de los suelos se realizó, con base en la metodología de levantamiento de suelos (Soil Survey Staff, 1984, Ortiz, 2014), se ubicaron tres perfiles para la descripción del suelo, descritos con la metodología propuesta por Cuanalo (1990) y se tomaron muestras de cada horizonte. En laboratorio se determinaron propiedades físicas y químicas, acorde con el manual de Van Reeuwijk (2003). Finalmente, la clasificación del suelo se realizó siguiendo los criterios de la WRB (FAO, 2015).

En cada parcela se realizó un levantamiento topográfico (reticular y transversal) utilizando un GPS de precisión ProMarkTM 3 para obtener los Modelos Digitales de Elevación (MDE) y las dimensiones de secciones transversales de las zanjas (anchos, profundidad y longitud), ancho, altura, longitud de los bordos, espaciamientos entre zanjas bordo, el área de captación y área que ocupan las zanjas bordo, con el software QGIS 2.18.1 *Terrain Analysis*. Además, se corroboró que el espaciamiento promedio entre zanja bordo cumpliera con las recomendaciones de diseño propuestos por instancias normativas, se calculó con dos métodos de la CONAFOR (2014) y se comparó con los

datos de campo. Así mismo, se estimó el volumen potencial de escurrimientos (mm) que pueden captar las zanjas, con el cociente entre el volumen de captación de agua (m^3) y el área de captación (m) por zanja bordo. Sin embargo, en todas las zanjas se observó que no siguen las curvas a nivel (en mayor o menor grado), por ello, se calculó la capacidad de almacenamiento real de la zanja, en mm, con las dimensiones ajustadas a curva de nivel. Finalmente, las zanjas se clasificaron con un índice de eficacia en porciento por trazo que se obtuvo con el cociente entre ambas capacidades de almacenamiento de agua en las zanjas (potencial y real). Los valores del índice de eficacia para almacenar agua propuesta fueron: muy bajos (MB) cuando se capta entre 50-60%, baja (B) de 60-70%, regular (R) de 70-80%, alta (A) de 80-90% y muy alta (MA) de 90-100%.

El exceso de lluvia en la zona de entre zanjas bordo (EZ), se estimo con los hietogramas de tres eventos de alta magnitud de los años 2014 a 2016 (Cuadro 1) y se compararon con las curvas de velocidad de infiltración.

Cuadro 1. Características de eventos de precipitación para los años de estudio (CONGUA, 2016).

Evento	Duración (min)	Lámina precipitada (mm)	Intensidad máxima (mm hr^{-1})
12 junio 2014	110	56.29	123.4
03 septiembre 2015	60	46.6	112.8
04 octubre 2016	140	56.6	80.4

La infiltración en campo se midió en la época seca con un infiltrómetro de doble anillo, en entre zanjas (cuatro repeticiones) de la parcela P1 y de la parcela P3; de zanjas bordo clasificadas con un índice de eficacia alta y muy alta. La curva de velocidad de infiltración se estimó con la ecuación de Horton (Mishra et al., 2003), ajustado con el procedimiento "proc model" del software SAS (SAS, 2013), en correspondencia con los tiempos de duración de cada evento extremo de lluvia, para obtener el exceso de lluvia por evento.

Resultados y Discusión

Los suelos de las parcelas P1, P2 se originaron de diferentes depositaciones coluviales, ya que estos se ubican en pie de monte, con pendiente promedio de 9.5 % y 10 %, respectivamente y profundidad de más de un metro. El suelo de la parcela P3 se formó in situ a partir de rocas ígneas intermedias, con pendiente promedio de 11.2% y profundidad promedio de 0.15m. Los suelos P1 y P2 presentan un horizonte de diagnóstico cambico (FAO, 2015); no obstante, existen procesos de calsificación, (Bockheim y Gennadiyev, 2000), pero, aún no es suficiente como para designarlo como horizontes de diagnóstico. Todos los epipedones de los suelos son ócricos; sin embargo, se presenta el proceso de melanización (Bockheim y Gennadiyev, 2000), además se tiene más de 50% en saturación de bases, pero no reúnen el requisito de espesor para designarse como mólico. Los suelos estudiados se clasifican como Chromic Calcaric Eutric Cambisol (Loamic) (P1), Chromic Calcaric Eutric Cambisol (Loamic, Siltic) (P2) y Eutric Leptosol (P3**)** en WRB.

Características del sistema Zanjas Bordo

Las parcelas bajo estudio P1 (8 zanjas), P2 (10 zanjas) y P3 (7 zanjas) tuvieron distinto suelo, profundidad y microrelieve, lo cual, influyó en las dimensiones de las zanjas bordo durante su trazo y construcción. En promedio, las zanjas al momento del levantamiento tenían una sección transversal trapezoidal (alto H:0.3 m, base mayor B:1.2 m, base menor b:0.6), que difiere de la sección rectangular recomendada (0.4 x 0.4 m) (CONAFOR, 2014). Los bordos tuvieron un ancho promedio de 1.75 m y altura de 24 cm, dimensiones mayores en el ancho (0.6 m) y menores en la altura (0.35 m) que lo recomendado (CONAFOR, 2014). Es importante destacar que la variación en las dimensiones de diseño está asociada con la profundidad del suelo, ya que, en la parcela P3 donde el suelo es somero se disminuyó la profundidad (0.2 m) y anchos (B:1.2 m y b:0.53 m) de las zanjas, y el ancho del bordo por consecuencia, así como la capacidad de almacenamiento de la zanja bordo en relación con las parcelas P1 (H:0.33 m; B:1.5 m; b: 0.7 m) y P2 (H:0.4 m; B:1.1 m; b: 0.6 m). Esto sugiere que las especificaciones de diseño propuestas por las áreas normativas no consideran las condiciones locales, lo que incide en que no se cumpla con la norma en su construcción.

El espaciamiento entre zanjas bordo es un componente importante del sistema (Flores, 2012), ya que, el cálculo adecuado permitirá alcanzar los objetivos de captar el agua que escurre, propiciar su infiltración (Vohland y Barry, 2009) y garantizar su adecuado funcionamiento. Los espaciamientos entre zanjas calculados con la metodología de CONAFOR (2014), donde se asegura la captación del 50% de la lluvia máxima en 24 h (Pr 5 años) (metodología 1), fueron para la parcela P1 de 8 m en promedio, en la parcela P2 de 9 m y parcela P3 de 5 m. El diseño de espaciamiento entre zanjas bordo en campo de las parcelas P1 (11 m) y P2 (8.9m) se apegaron mejor a las recomendaciones de espaciamiento entre zanjas de CONAFOR (2014), no así en la parcela P3 (21 m) (Figura 1). La comparación de los espaciamientos entre zanjas levantadas en campo y los estimados con el método del intervalo horizontal (IH) (CONAFOR, 2014) muestra que existe una gran diferencia en los espaciamientos, ya que, para una misma pendiente en campo existe una variación de más de 10 m (Figura 1).

Cabe destacar que existe una diferencia de espaciamientos calculados con las dos metodologías, ambas recomendadas por la CONAFOR (2014). Con la metodología 1 se tienen menor espaciamiento que con la metodología de IH, esto influye en la superficie perturbada y la cantidad de agua captada.

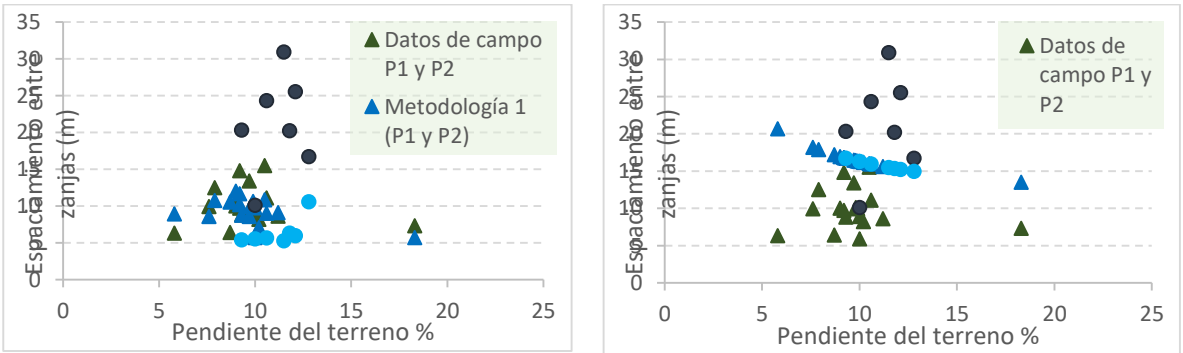


Figura 1. Comparación de los espaciamientos observados y estimados entre zanjas (P1, P2 y P3)

La construcción de las zanjas bordo implica cortes y rellenos para conformarlas, por ello, a la superficie que ocupan las zanjas y el bordo se le consideró como un área disturbada. La zona

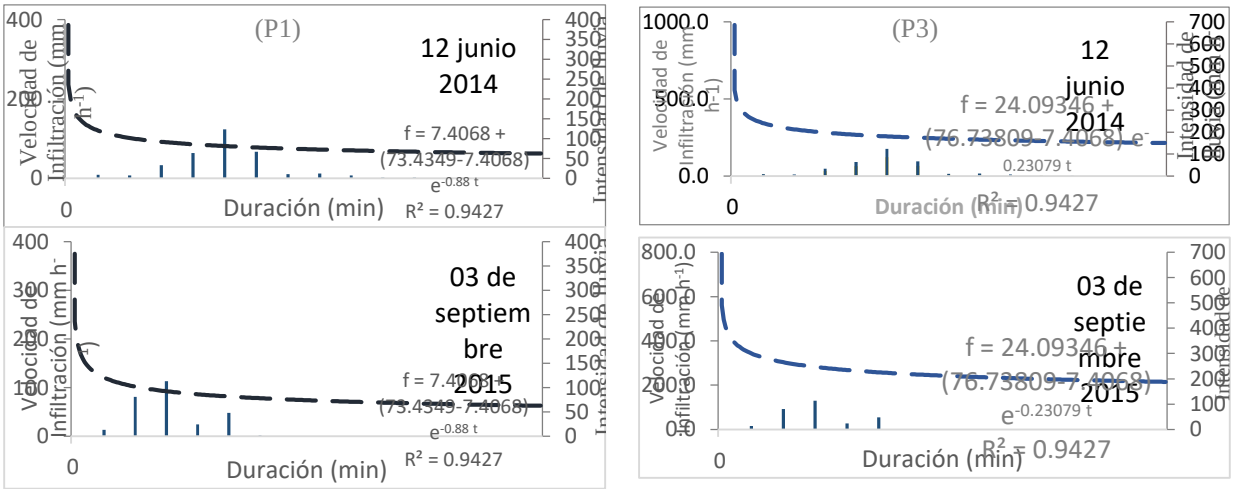
disturbada varío de 1,243.39 a 2,540.91 m^2 ha^{-1} en las tres parcelas, de 12 a 25% de disturbio en una hectárea para alcanzar los objetivos de conservación. Esta superficie representa el 25.05% en promedio del área de las parcelas P1 y P2, mientras que en la parcela P3 el área disturbada fue sólo de 13.8%.

Eficacia de trazo de las zanjas bordo en la captación de agua

La eficacia promedio en la captación de agua por trazo, fue de 84% para las tres parcelas. En general, se aprecia que el 64% de las zanjas tienen una eficacia alta y muy alta para captar los escurrimientos, el 24% tiene una eficacia regular y solo el 12% tiene eficacias que varían de baja a muy baja. Los resultados sugieren que a pesar de las deficiencias en el trazo de las zanjas la relación entre la captación potencial y la real es buena; asumiendo que todo el volumen precipitado escurre y sin tomar en cuenta la estimación del exceso de lluvia, producto de la relación precipitación e infiltración. La captación potencial de agua de las zanjas fue en promedio para las tres parcelas de 30.83 mm, en cambio la captación real fue de 26.17 mm. En la parcela P2, la captación de agua real fue de 38.3 mm en promedio, en la parcela P1 de 27.43 mm, mientras que en las zanjas de la parcela P3 fue la menor (12.77 mm). Estos resultados muestran que las zanjas de la parcela P2 fueron las que cumplieron con la recomendación de la CONAFOR (2014) para captar el 50% de la lluvia máxima en 24 h (Pr 5años) de la zona que es de 35.35 mm (WWF, 2015), situación que no se presentó en las parcelas P1 y P3, lo que repercute en la eficacia de la construcción de las zanjas bordo.

Exceso de lluvia en el sistema zanjas bordo

El exceso de lluvia (escurrimiento) se produce cuando la intensidad de la precipitación es mayor que la velocidad de infiltración en el tiempo de duración del evento. Durante los tres eventos analizados en la parcela P1 se presentó escurrimiento, en el evento de 2014 el exceso fue de 8.2 mm, en 2015 de 7.5 mm y en 2016 únicamente 1.1 mm (Figura 2).



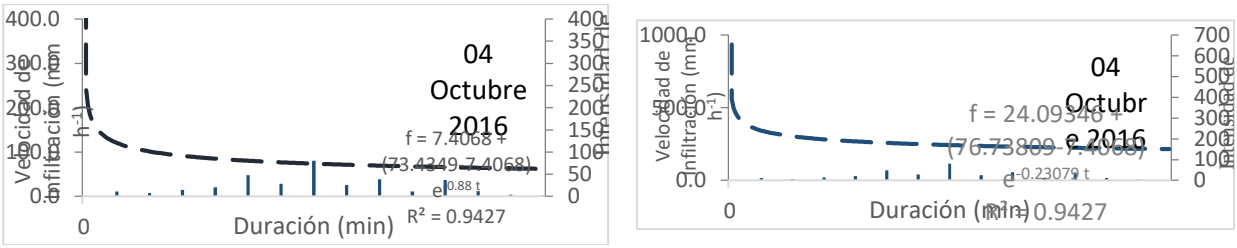


Figura 2. Curva de infiltración en entre zanjas de las parcelas P1 y P3, Hietogramas de los eventos seleccionados.

Con los datos de exceso de lluvia y la lámina precipitada por evento se calculó el coeficiente de escurrimiento, para el evento de 2014 fue de 0.15, el de 2015 de 0.16 y el de 2016 de 0.02, estos valores indican que para eventos de alta intensidad hay más escurrimiento que, contrasta con los coeficientes de escurrimiento bajos, los cuales, se reportan en eventos de baja intensidad como el de 2016, esta información no coincide con los coeficientes de escurrimiento de 0.9 que proponen Pizarro *et al*., (2008) para asegurar el funcionamiento de las zanjas.

El volumen escurrido por metro lineal varió de acuerdo con la separación entre zanjas, en el evento de 2014 el volumen escurrido varió de 0.05 a 0.13 m^3 metro lineal, mientras que en el evento de 2016 fue de 0.1 – 0.2 m^3 metro lineal, estos valores fueron menores que la capacidad de captación real de las zanjas que, en promedio, para la parcela P1 fue de 0.28 m^3 metro lineal, incluso menores al volumen que recomienda la CONFOR (2014) de 0.16 m^3 metro lineal, estos resultados muestran que, el espaciamiento entre zanjas puede ampliarse, sin comprometer la capacidad de captación de agua.

La parcela P3 no presentó excesos de lluvia en ninguno de los eventos seleccionados, ya que la infiltración básica de los suelos someros fue de más de 200 mm h^{-1}, mayor que, las intensidades máximas de precipitación de 123, 112 y 80 mm h^{-1} reportada para los eventos de los años 2014, 2015 y 2016 respectivamente (Figura 2). Esto indica que, aunque las parcelas están muy cercanas, los excesos de lluvia son muy diferentes en los tres eventos, influido por la profundidad del suelo y la velocidad de infiltración del agua en el suelo. En la parcela P1 los excesos de lluvia fueron 54% menores que la capacidad de almacenamiento real de las zanjas construidas, para eventos de altas intensidades, por lo que, es recomendable aumentar el espaciamiento entre zanjas al doble, en las de máximo espaciamiento y al más del triple en las de menor espaciamiento; en la parcela P3 las zanjas bordo no son necesarias para cumplir el objetivo de captación de escurrimientos e infiltración, ya que, la infiltración en esta parcela es rápida.

Conclusiones

Las especificaciones de diseño como dimensiones, pendiente, espaciamiento y capacidad de almacenamiento de agua de las zanjas difieren de las normas, e inciden en un mayor volumen de obra y área de disturbio en su construcción, en relación con las características del suelo, sin embargo, la eficacia de trazo es de regular a muy alta.

El diseño de las zanjas no tomó en cuenta las características y profundidad de los suelos, la pendiente de los terrenos y la relación precipitación e infiltración para estimar el exceso de lluvia que se requiere para definir el espaciamiento y dimensiones de las zanjas para captar los escurrimientos. Por lo que, las zanjas evaluadas estuvieron sobradas en la captación de escurrimientos frente a eventos extremos, especialmente en la parcela con suelo somero.

Agradecimientos

A los MC. Pedro D. Guerrero Cruz y del Sr. Ángel Guerrero Cruz quienes facilitaron el acceso a sus terrenos. A los laboratorios de génesis, física y química de suelos del programa de Edafología, COLPOS. Al Fondo mundial para la conservación (WWF por sus siglas en inglés) a través del proyecto Módulos demostrativos para el monitoreo de los servicios ecosistémicos en la Mixteca de Oaxaca. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Referencias

Anschütz, J., Kome, A., Nederlof, M., Neef, R. and T., Ven. 1997. Water harvesting and soil moisture retention. 2nda ed, Agrodok. Editado por J. Anschütz y M. Nederlof. Wageningen: Agromisa Foundation.

Assouline, S., 2013. Infiltration into soils: Conceptual approaches and solutions. Water Resources Research, 49(4): 1755–1772.

CONAGUA 2016. Registros de precipitación, estación meteorológica automatizada (EMA) Huajuapan de León. https://smn.cna.gob.mx/es/emas

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2014. Protección, restauración y conservación de suelos forestales, Manual de Obras y Prácticas. 1ra reimpresión. In. J. N. Bolaños, V. R. Cardoza, C. J. S. García, H. J. A. Guerrero, Q. M. de L. Lira, F. J. L. Nieves, E. F. A. Rodríguez, y S. D. Tejeda. Zapopan, Jalisco, México: SEMARNAT.

Cuanalo, D. la C.H., 1990. Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo 3a ed., Chapingo, México: Colegio de Postgraduados.

INEGI (Instituto de Nacional de Estadística y Geografía), 2013. Conjunto de Datos de Erosión del Suelo, Escala 1: 250 000 Serie I. Available at: http://www.inegi.org.mx/ (Consultado diciembre 15, 2016).

FAO (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura), 2015. Base referencial mundial del recurso suelo (WRB) 2014, Sistema internacional de clasificación de suelos P. (IUSS W. G. W. Schad et al., eds., Roma, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Flores, V.J.P., 2012. Diseño de zanjas de infiltración en zonas no aforadas usando sig. Tecnología y Ciencias del Agua, 3(2):27–39.

McBratney, A., Field, D.J. and A., Koch. 2014. The dimensions of soil security. Geoderma, 213:203–213.

Mishra, S.K., Tyagi, J. V and V.P., Singh. 2003. Comparison of infiltration models. 2629–2652.

Ortiz, S. C. A. (2014) Levantamiento de suelos para dar recomendaciones a nivel parcelario. 1a ed. Montecillos, Texcoco, Edo de Mex.: Programa de Edafología, COLPOS-CONACYT. 11pp

Pizarro, T. R., Flores, V. J. P., Sangüesa, P. C., Martínez, A. E. y G. L., León. 2008. Diseño hidrológico de zanjas de infiltración en el secano costero e interior de las regiones semiáridas de Chile. Bosque (Valdivia), 29(2): 136–145.

SAS, 2013. Base SAS 9.4 Procedures Guide Statistical Procedures 2nd ed., Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.

Singh, G., Mishra, D., Singh, K. y R. Parmar. 2013. Effects of rainwater harvesting on plant growth, soil water dynamics and herbaceous biomass during rehabilitation of degraded hills in Rajasthan, India. Forest Ecology and Management, 310: 612–622.

Soil Survey Staff, 1984. Soil Survey Manual. USDA. Govt. Printing Office, Washington, D. C. 332 pp.

Van Reeuwijk, L.P., 2003. Procedimiento para análisis de suelos Estado de. C. A. T. Trad. al español por M. C. Gutiérrez Castorena & E. y C. A. O. Solorio., eds., Colegio de Postgraduados. Montecillo.

Vohland, K. and Barry, B., 2009. A review of in situ rainwater harvesting (RWH) practices modifying landscape functions in African drylands. Agriculture. Ecosystems and Environment, 131(3–4): 119–127.

Warren, A., 2002. Land degradation is contextual. Land Degradation and Development, 13(6): 449–459.

Williams, B. K. y Brown, E. D. 2016. Technical challenges in the application of adaptive management. Biological Conservation. 195: 255–263

WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza), 2014. Conjunto vectorial de uso de suelo y vegetación escala 1:50,000, Oaxaca, México.

WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza), 2015. Módulos demostrativos para el monitoreo de los servicios ecosistémicos de la Mixteca Oaxaqueña (convenio OP74), Oaxaca, México.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

ESTIMACIÓN DE LA EROSIVIDAD DE UN FAOSEM (PH) DEL CENTRO DE MÉXICO

López-Santos, A.[1*]; Navarrete-Molina C.[1]; Torres-González J. A.

[2]Universidad Autónoma Chapingo, Programa de Posgrado en Recursos Bióticos y Medio Ambiente de Zonas Áridas de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Durango, México
Centro de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad # 940, Ciudad Universitaria, C. P. 20131, Aguascalientes, Ags. México. Tel. +52 (449) 910-74003

*Autor responsable: alopez@chapingo.uruza.edu.mx; Dom. km. 40, carretera Gómez Palacio-Cd. Juárez Chihuahua, Cd. Bermejillo, Durango. México. CP 35230. AP # 8. Tels +52(872)776-0160, 901

Resumen
Datos recientes sobre la erosión potencial en México, basados en modelos predictivos como USLE o RUSLE, presentan discrepancias debido a la generalización de la información para el cálculo de pérdida de suelo, primordialmente la relacionada la erodabilidad o factor K (*FK*), creando con ello errores en los límites permisibles de erosión anual. El objetivo de la presente investigación fue evaluar *FK* de un Phaoesem (PH) en un predio de pastoreo del centro de México (21.967° N, -102.376° O). Se obtuvieron muestras compuestas a partir de un muestreo aleatorio en tres sitios (P1, P2, P3) de una superficie de 3 hectáreas. Se determinó porcentaje de materia orgánica, clase textural, tipos de estructura y permeabilidad. Los resultados revelan diferencias importantes entre FK estimada (*FKe*) y *FK* de referencia (*FKr*) derivado del método tradicional, que son de +0.004, +0.017 y +0.018, para P3, P2 y P1, respectivamente. Diferencias que representan sobrestimaciones en el valor de *FKr* de 1.9, 1.81 y 1.19 veces mayor que el valor de *FKe*. Además de ello, del análisis estadístico se descarta la hipótesis nula (H_0) de similitud para los promedios de cada sitio evaluado (P1 = P2 = P3); es decir, se observaron diferencias altamente significativas con una probabilidad del 95%.

Palabras clave: *Perdida de suelo, USLE, degradación edáfica*

Introducción
La susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica (EH) es determinada primordialmente por el potencial erosivo de la lluvia, la inclinación del terreno o grado de pendiente, la superficie y posición de captación o (área) de impacto de la lluvia, así como las cubiertas en su superficie. La erodabilidad se refiere a la susceptibilidad del suelo a la erosión por el agua, y este se identifica como un controlador secundario en la intensidad de la EH. La EH es la forma de degradación territorial más ampliamente distribuida a nivel global. Se estima en aproximadamente 1094 millones de hectáreas, y se considera como la principal amenaza para la estabilidad de los sistemas naturales y antrópicos (FAO-ITPS, 2015; Cherlet, *et al*., 2018).

En México, debido a sus características ecológico-geográficas, donde se combinan ambientes de montaña y planicie la EH ocupa el primer lugar en ésta problemática con 49.4 millones de hectáreas que representan aproximadamente el 25.4% del territorio nacional (Bolaños *et al*., 2016). Las causas inmediatas de la degradación del suelo incluyen factores biofísicos y prácticas de manejo inadecuadas, siendo el suelo susceptible a la pérdida parcial o total del suelo (Nkonya et al., 2016).

Derivado de la importancia de ésta problemática, se han realizado estudios a distintas escalas mediante técnicas de modelación principalmente mediante aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS), cuyas discrepancias son frecuentes (Montes-León, *et al*., 2011; López-Santos, 2016), debido a la generalización de la información disponible, primordialmente la asociada a la erodabilidad edáfica (*FK*); por ejemplo, Montes-León *et al*. (2011) para la creación de mapa nacional de erosión potencial menciona que: "*…debido a que no se cuenta con información detallada y completa* (sobre el componente edáfico) *para el empleo de la metodología tradicional, se aplicó la metodología descrita por la FAO*"; de manera que en dicho estudio solamente se basaron en datos de tipo de suelo y textura. Como consecuencia de ello, los estudios podrían conducir a errores en la estimación de las tasas de erosión, así como en los criterios de permisividad o tolerancia a la erosión para los distintos grupos de suelo principales (GSP) sometidos a los diferentes usos a lo largo del territorio nacional. El objetivo de la presente investigación fue evaluar *FK* de un Phaoesem (PH) en un predio de pastoreo del centro de México.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el predio del Centro de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA), lugar conocido también como "La Posta"; se localiza en el municipio de Jesús María del estado de Aguascalientes, México (21.967° N, -102.376° O). De acuerdo al inventario edafológica nacional de la serie II del INEGI (2000), el estudio se centró en un Phaeozem álbico-epiléptico con textura media (PHablep/2); su clima es de tipo seco (BSkw), con promedios anuales de temperaturas y lluvia de 18°C y 540 mm, respectivamente (INEGI, 2013). La vegetación predominante del lugar es de tipo herbácea, con presencia de las familias: *Poaceas*, *Asteráceas* y *Fabáceas*.

Se definieron tres parcelas o sitios (P1, P2, P3) al azar. De cada sitio se obtuvo una muestra compuesta a partir de sub-muestras elegidas al azar tras un recorrido en *zigzag*. *FK* fue estimada con base en la metodología propuesta por Wischmeier y Smith (1978), que integra cuatro parámetros clave como se indica a continuación (Ecuación 1):

$$FK = \left[\frac{2.1\ x\ 10^{-4}\ (12 - MOS)M^{1.14} + 3.25\ (S - 2) + 2.5(P - 3)}{100}\right] 0.1318 \qquad (1)$$

donde, *MOS* es el porcentaje de materia orgánica en el horizonte superficial; *M*, es el parámetro que se define por la notación como *M* = % de arena fina + % de limo × 100 - % de arcilla; *S*, se refiere al tipo de estructura, que puede tomar los siguientes valores : 1 (gránulo muy fino y grumo fino), 2 (gránulo fino y grumo fino), 3 (gránulo medio y grueso, grumo medio), 4 (gránulo liso, prismático, columnar y muy grueso); *P*, define el tipo de permeabilidad, que cuyos valores pueden ser los siguientes: 1 (muy rápida a rápida), 2 (medianamente rápida), 3 (moderada), 4 (moderadamente lenta), 5 (lenta), 6 (muy lenta).

Los parámetros de la ecuación (1), con excepción de *P*, fueron determinados a partir de lo descrito en la Norma Oficial Mexicana, NOM-021 (DOF, 2002). *P* se determinó a partir de la conductividad hidráulica saturada (*Khs*) a partir de pruebas de infiltración *in situ* con el uso de un Mini-Infiltrómetro de doble anillo (TURF-TEC, mod. 76946); los datos de estas pruebas fueron tratados con base en modelo Kostiakov-Lewis (K-L) empleado en estudios semejantes para determinar una de las siete

clases de permeabilidad citadas por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA-NRCS, 2009).

Resultados y Discusión

Los resultados indican que debido al predomino de arena (50%) y proporciones de limo y arcilla cercanas entre sí, la clase textural de los sitios P1 y P2 es Francosa (C), en tanto que para el sitio con casi 54% de arena, la clase textural corresponde la Franco arenosa (Ca). Además, debido a que los porcentajes de MOS son de alrededor del 4%, los tres sitios califican como alta. La densidad aparente (*da*) tuvo una variación de 100 kg con respecto al promedio de las tres parcelas (Tabla 1).

Tabla 1. Caracterización edáfica para determinar erodabilidad por sitio de muestreo.

Sitio	1	3	3	Textura	*da*	*Pt*	CC	PMP	MOS	
	-------- *kg* --------			*Clase*	*kg m^{-3}*	---------- *%* ----------				*Clase*
P1	50.8	29.2	19.9	C	1,003	61	19.5	9.7	4.07	Alto
P2	51.8	29.8	18.3	C	1,230	53	18.7	9.0	3.94	Alto
P3	53.8	28.2	17.9	Ca	1,130	57	18.1	9.0	3.94	Alto

1= Arena; 2=Limo; 3=Arcilla; C = francosa; Ca = franco arenosa; Clase textural; MOS = Materia orgánica del suelo; *da* = densidad aparente.

Con base en los valores medidos en campo desde t = 0 hasta t = 30 (min), para los tres sitios (P1, P2, P3) de se obtuvieron los modelos potenciales (negativos), cuyos coeficientes de estimación resultaron suficientemente confiables por tener valores (R^2) ≥ 0.82. A partir de éstos modelos se estimaron las tasas de infiltración en cm h^{-1} para las condiciones de flujo transitorio o dinámico (Kh_{te}) y para el flujo estacionario (Kh_{se}). Al final, con esta prueba, se observó que la conductividad hidráulica en el sitio P1 es dos veces menor que la registrada en P2 y P3 (Tabla 2).

Tabla **2**. Parámetros que caracterizan la conductividad hidráulica en los tres sitios de prueba.

Sitio	Modelo K-L	R^2	Humedad		--------- ***Medidos*** ---------				---------- ***Estimados*** ----------			
			hi	*hf*	t_i	t_f	Kh_{tm}	Kh_{sm}	Kh_{te}	Kh_{se}	*Ft*	*Fe*
			---- *%* ----		-- *min* --		---------- *cm h^{-1}* ----------				*log I (cm h^{-1})*	
P1	I=70.093x$^{-0.822}$	0.82	1.8	24.5	1	30	13.7	3.8	4.7	2.3	0.7	0.3
P2	I=20.834x$^{-0.509}$	0.85	2.6	33.5	1	30	7	3.7	6.6	3.8	0.8	0.6
P3	I=16.542x$^{-0.572}$	0.84	3.7	20.3	1	30	4.7	2.3	12.9	4.3	1.1	0.6

I = tasa de infiltración; Hi = humedad inicial; Hf = humedad final; t_i =tiempo inicial; t_f = tiempo final; min = minutos; Kh_{im} = conductividad hidráulica inicial medida; Kh_{sm} = conductividad hidráulica a saturación medida; Kh_{te} = conductividad hidráulica transitoria estimada; Kh_{se} = conductividad hidráulica saturada estimada; log = logaritmo con base 10.

FK fue calculada a partir de los parámetros definidos en la Ecuación 1, y conforme a lo descrito en la metodología de referencia (Kirkby y Morgan, 1980) los valores del factor *FK* estimados (*FKe*) fueron semejantes para los tres sitios muestreados, ya que promediaron 0.021 t ha h MJ^{-1} mm^{-1} h^{-1} (±0.001); al comparar éstos valores con los propuestos por Kirkby y Morgan (1980), quienes considera únicamente la textura y MOS, los valores para las clases texturales definidas y MOS con 4 y 3.9%, fueron 0.038 y 0.025 t ha h/MJ^{-1} mm^{-1} h^{-1}, para C y Ca, respectivamente (Tabla 3).

Tabla 3. Variables empleadas, factor K de referencia (*FKr*) y Factor K estimado (*FKe*) de cada sitio.

Sitio	Textura	MOS (%)	M	S	P	*FKe*	*FKr*[a]
	Clase		---------- *Parámetros Ec 1* ----------			-- *t ha h MJ*$^{-1}$ *mm*$^{-1}$ *h*$^{-1}$ --	
P1	C	4	6408.0	2	5	0.020	0.038
P2	C	3.9	6666.7	2	5	0.021	0.038
P3	Ca	3.9	6732.2	2	5	0.021	0.025

[a]*FKr* = Factor K de referencia obtenido de Kirkby y Morgan (1980)

El análisis de los datos de la Tabla 3, revelan diferencias importantes entre *FKe* y *FKr* que son de +0.004, +0.017 y +0.018, para P3, P2 y P1, respectivamente. Diferencias que representan sobrestimaciones en el valor de *FKr* de 1.9, 1.81 y 1.19 veces el valor de *FKe* con datos de campo. Además de ello, del análisis estadístico se descarta la hipótesis nula (H_0) de similitud para los promedios de cada sitio evaluado (P1 = P2 = P3); es decir, se observaron diferencias altamente significativas con una probabilidad del 95% (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados del ANOVA para un factor de variación.

OV	*SC*	*GL*	*PC*	*F*	*P*	*VCF*
Entre grupos	0.0002535	1	0.00025	8.947058	0.0402917	7.708647422
Dentro de los grupos	0.000113333	4	0.00003			
Total	0.000366833	5				

OV = Origen de la variación; *SC* = Suma de cuadrados; *GL* = Grados de libertad; *PC* = Promedio de cuadrados; *F* = Valor de *F*; *P* = probabilidad; *VCF* = Valor crítico para *F*

Conclusiones

La erodabilidad del Phaosem estudiado presenta una menor susceptibilidad a la erosión que la obtenida por el método de referencia, lo cual genera una sobrestimación de ésta propiedad, cuyas magnitudes en términos de tasa de erosión debe ser evaluada en otros estudios.

Referencias

Bolaños Gonzalez, M. A. *et al*. (2016) 'Erosion map of Mexico soils and its possible implications for soil organic carbon pool.', Terra Latinoamericana, 34(3), pp. 271–288.

Cherlet, M., Hutchinson, C., Reynolds, J., Hill, J., Sommer, S., von Maltitz, G. (Eds.) (2018) World Atlas of Desertification, Office of the European Union, Luxembourg, 2018. doi: 10.2760/9205.

FAO-ITPS (2015) Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report. First, Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. First. Rome, Italy: FAO. doi: ISBN 978-92-5-109004-6.

INEGI (2000). Conjunto de datos vectorial Edafológico escala 1:250,000 Serie II (Continuo Nacional. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/edafologia/vectorial_serieii.aspx

Kirkby, M. J. and R. P. C. M. (1980) No TitleSoil erosion. First. Chichester, [England]; New York : Wiley, 1980.

López-Santos, A. (2016) 'Neutralizar la degradación de las tierras, una aspiración global¿ Es posible lograrlo en México?', Terra Latinoamericana, 34(2), pp. 239–249.

Montes-León, M. A. L., Uribe-Alcántara, E. M. and García-Celis, E. (2011) 'Mapa nacional de erosión potencial', Tecnologia y Ciencias del Agua, 2(1), pp. 5–17.

DOF, Diario Oficial de la Federación (2002). Publicación de la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT, 2000), que establece las especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos, Estudio, Muestreo y Análisis. Consultado en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php%3Fcodigo=717582%26fecha=31/12/2002

Wischmeier, W. H. and D. D. Smith (1978) Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning (Agricultural Handbook No. 537), Washington, DC: Science and Educational Administration, USDA.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

DETECCIÓN DE INTERRELACIONES DENTRO DEL SISTEMA SITIO RAMSAR NO. 2027 (PRESA MANUEL ÁVILA CAMACHO) CON BASE EN EL ESTADO ACTUAL DE LA DEGRADACIÓN DEL SUELO

López-Teloxa, L.[1*]; Castelán-Vega, R.[2]; Cruz-Montalvo, A.[3]; Tamaríz-Flores, J.[4] y Monterroso Rivas, A.[5]

[1] Departamento de suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco de Mora, México. México
[2]Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas-BUAP. Puebla, Puebla, México.
[3] Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas-BUAP. Puebla, Puebla, México.
[4] Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas-BUAP. Puebla, Puebla, México.
[5]Departamento de suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco de Mora, México. México

*Autor responsable: citlaly_lo@hotmail.com Km 38.5 carr. México-Texcoco, Texcoco Estado de México. CP 56230

Resumen

Los sitios Ramsar por sus múltiples funciones, valores y atributos, son de gran importancia tanto ecológicamente como socioeconómicamente. Sin embargo, muchos de estos sitios presentan diversos niveles de degradación tanto social, económica y ambiental, como es el caso del Sitio Ramsar Presa Manuel Ávila Camacho. Para entender la dinámica de este ecosistema, en este trabajo se propone abordarlo como un sistema complejo, ya que son múltiples los procesos relacionados en su degradación. La idea es rebasar las explicaciones unicausales y lineales de los fenómenos ambientales. Con base a estudios previos sobre las condiciones actuales y considerando al Sitio Ramsar como un sistema complejo, se determinaron las principales interrelaciones entre los subsistemas que lo forman y los elementos que componen los subsistemas, así como los niveles en que se desarrollan los procesos que se llevan a cabo dentro del mismo. Las inadecuadas políticas públicas han traído consigo la migración de la población en busca de una mejor vida, promoviendo la pérdida de tradiciones y herencia entre las nuevas generaciones, proceso que provoca prácticas nocivas como la deforestación para nuevas zonas agrícolas y ganaderas, procesos que favorece a la erosión del suelo y la disminución de la productividad del mismo. Lo anterior, generan menor cantidad de ingreso promedio a los hogares, además, al aumentar la población interna y la proveniente de la ciudad, que llega para construir o comprar viviendas ya construidas por las inmobiliarias, provoca marginación y rezago social. De seguir con ese patrón, la pérdida del humedal es inminente.

Palabras clave: Sistema complejo; uso de suelo; carbono orgánico

Introducción

Por sus múltiples funciones, valores y atributos, los humedales son de gran importancia tanto ecológicamente como socioeconómicamente (DeGroot, Stuip, Finlayson, y Davidson, 2007). México posee estos ecosistemas que son de gran riqueza natural por lo que se deben crear políticas que conlleven a su conservación y aplicar el marco legal inter y nacional existente, para una gestión adecuada que procure su uso racional (SEMARNAT, 2013). Sin embargo, estos ecosistemas se ven fuertemente afectados, principalmente por el derroche económico en estas áreas, ya que son sobreexplotados de manera insustentable (Szmulewicz y Liscovsky, 2016). Diferentes autores consideran que la población humana se apropia de entre el 20 y el 40% de la productividad primaria

neta terrestre del planeta, asimismo el tamaño de la población y sus patrones de consumo tienen una influencia directa en la transformación de los ecosistemas (Evangelista, López, Nieto, y Martínez, 2010). Los humedales son sistemas complejos que requieren de su conservación, ya que son de gran importancia, y es por ello que son designados como Sitios Ramsar; tal es el caso de la Presa Manuel Ávila Camacho. De lo anterior, partiendo del hecho que el Sitio Ramsar es un sistema complejo, el objetivo de este trabajo realizar las propuestas de manejo y conservación del suelo que rodea a la presa en base a las principales interrelaciones entre los subsistemas que componen al Sitio Ramsar, así como también detectar los problemas que afectan al mismo trayendo consigo la posible pérdida del sistema.

Materiales y Métodos

La metodología utilizada para este trabajo se dividió en dos etapas. La etapa 1, de diagnóstico, en donde se obtuvo información oficial y científica de la zona, como indicadores socioeconómicos del INEGI y CONAPO (2000-2010), así como también mapas cartográficos para determinar la variabilidad espacial y temporal del uso del suelo de los años 1976 – 2013. Se realizaron salidas de prospección y toma de muestras de suelo en tres temporadas del año, el primer muestreo realizado se llevó a cabo en el mes de febrero (Sequía $_{(1)}$), el segundo en el mes de julio (Lluvia) del 2014, y el tercero se realizó en el mes de febrero del 2015 (Sequía $_{(2)}$) y a dos profundidades (0-10 y 10-20 cm), después de procesarlas se les determino el contenido de carbono orgánico y nitrógeno total, pH y densidad aparente (DA) de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000. A la vez, se determinaron las pérdidas de suelo de acuerdo a la Ecuación Universal de Perdida de Suelo (USLE) y con ayuda de la metodología provisional de FAO (1980) se establecieron los grados de erosión. La etapa 2, de acuerdo a lo encontrado en la etapa 1, consistió en detectar las principales interrelaciones que se llevan a cabo dentro del sistema, así como los elementos que ayudan a entender lo que afecta o no al sistema. Al finalizar se establecieron las propuestas adecuadas para el manejo y conservación del Sitio Ramsar No. 2027.

Resultados y Discusión

Localización del sitio

El sitio Ramsar se localiza en el estado de Puebla, al sur del municipio de Puebla, abarca una superficie de 24042 hectáreas (Figura 1). Forma parte de la Cuenca del Alto Balsas e incluye un valle aluvial formado por el Río Atoyac. El clima predominante es templado sub-húmedo con lluvias en verano, presenta una precipitación media anual entre 700-1000 mm y temperaturas medias anuales entre 14-18°C.

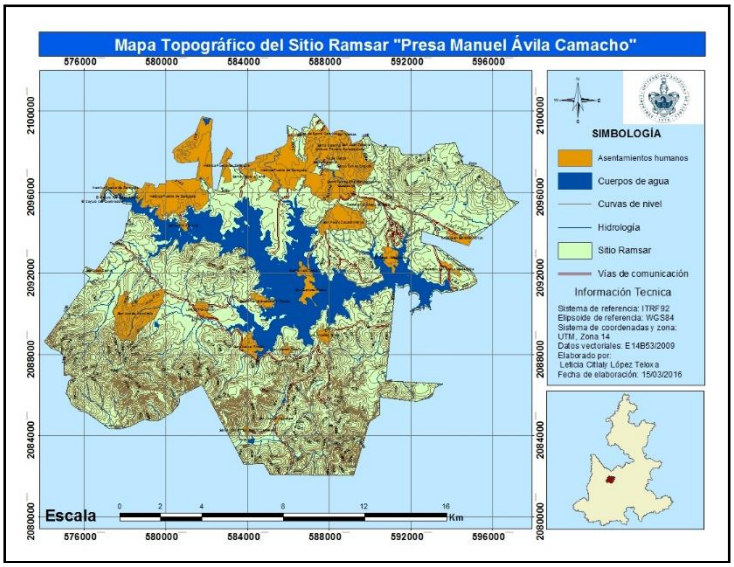


Figura 1. Localización del Sitio Ramsar.

Variabilidad espacial y temporal del uso del suelo de los años 1976 – 2013

El uso del suelo en el sitio RAMSAR ha experimentado cambios sustanciales (Cuadro 1); entre el año de 1976 y 2013 se perdió más del 50% de la vegetación natural. En el primer año existían 356 ha de Bosque de encino (BE), las cuales desaparecieron para el año 2013, dando paso al aumento en superficie de pastizal inducido (PI). Por otro lado, se observa la disminución de 810 ha de bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva en este mismo periodo. Además, se presenta una importante disminución de la superficie destinada a la agricultura de temporal, es decir, que para 1976 abarcaba casi 37% de la superficie y para el 2013 se redujo casi 14% con respecto al primer año. Los campesinos de las localidades ubicadas dentro del Sitio Ramsar No. 2027 se han percatado que el suelo ya no produce como años anteriores, por lo que se han visto en la necesidad de utilizar fertilizantes químicos, sin embargo, con el tiempo este ha incrementado su costo, causando dificultad para su adquisición, trayendo como consecuencia el abandono de tierras.

Cuadro 1. Dinámica de cambio de uso del suelo, 1976-2013.

Uso de suelo	Superficie (ha)											
	1976	%	1993	%	2000	%	2003	%	2010	%	2013	%
BQ	356	1	95	0	341	1	0	0	0	0	0	0
BQ/VSa	4,910	20	4,714	20	3,862	16	4,144	17	4,349	18	4,115	17
BQ/VSA	0	0	220	1	0	0	0	0	0	0	0	0
CUA	2,759	11	2,596	11	2,673	11	2,669	11	2,675	11	2,659	11
PI	6,273	26	6,233	26	4,726	20	7,953	33	7,189	30	7,207	30
AR	593	2	108	0	72	0	0	0	0	0	0	0
AT	8,880	37	7,460	31	9,785	41	6,616	28	5,699	24	5,575	23
AH	271	1	2,616	11	2,583	11	2,660	11	4,130	17	4,487	19
TOTAL	24,042	100	24,042	100	24,042	100	24,042	100	24,042	100	24,042	100

BQ=Bosque de encino, BQ/VSa= Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva, BQ/VSA= Bosque de encino con vegetación secundaria arbórea, CUA=Cuerpo de agua, PI=Pastizal inducido, AR=Agricultura de riego, AT=Agricultura de temporal, AH=Asentamientos humanos.

Pérdidas y grados de erosión del suelo

El Sitio Ramsar presenta más del 55% del territorio con grado de erosión nula, el cual abarca áreas dedicadas a la agricultura de temporal, donde después de pasar la temporada se quedan en una etapa de barbecho, quedando a expensas de las condiciones climáticas; 30% de la superficie presenta erosión ligera, en áreas de agricultura de temporal y pastizal inducido, además, el grado de pendiente es más elevado; 10% de la superficie con erosión moderada, en zonas de pastizal inducido, principalmente y por último, aproximadamente el 5% de la superficie, presentan erosión severo, que corresponde a las partes más altas del sitio, aunado a esto no se les ha dado un buen manejo llevando al incremento de la erosión de esos suelos (Figura 2). Durante años, los suelos del ahora denominado Sitio Ramsar, han sido degradados principalmente por la siembra de maíz, siendo este cultivo prácticamente el único que se desarrolla en la zona, otras razones que pueden atribuirse a las condiciones de la zona es que los pobladores se dedican a cortar madera para producir carbón y leña, además de pastorear su ganado.

Contenido de Carbono orgánico y Nitrógeno total en suelo

En la Gráfica 1**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se representan los resultados obtenidos para los tres muestreos: nitrógeno total (NTS) y carbono orgánico del suelo (COS) en ambas profundidades (0-10 y 10-20 cm). En el primer muestreo, a los primeros 10 cm de profundidad se observa que los suelos con mayor contenido de COS y NTS son los que se encuentran cubiertos por vegetación de bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva y pastizal inducido, mientras que los valores más bajos son los que se encuentran bajo la influencia de la zona urbana; esto mismo ocurre con el contenido de COS y NTS a los 20 cm de profundidad. En el segundo y tercer muestreo, los resultados presentan cierta diferencia con respecto al primero, se puede observar que los suelos son mayor contenido de COS son los cubiertos por pastizal inducido y con menores concentraciones se encuentran bajo la influencia de asentamientos humanos, esto mismo ocurre con el contenido de COS a los 20 cm de profundidad. Sin embargo, a diferencia del primero, los dos últimos muestreos presentan importantes pérdidas de COS, aproximadamente 17 t/ha.

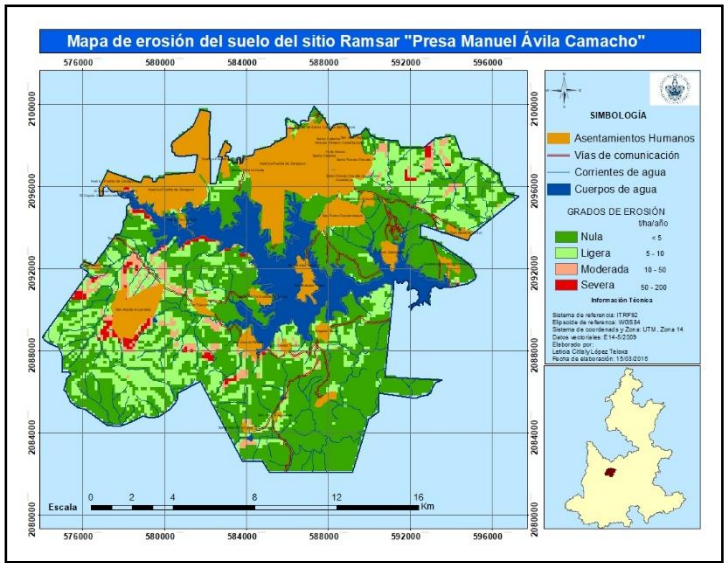
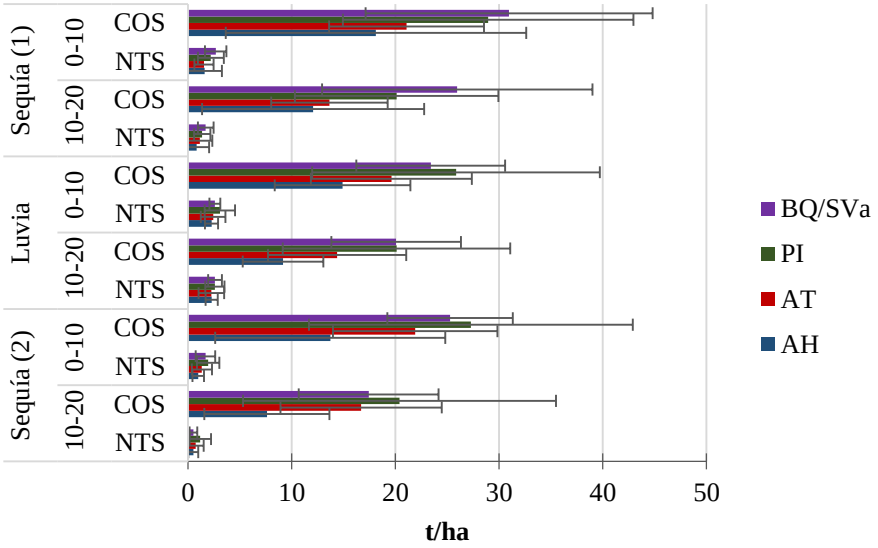


Figura 2. Pérdidas de suelo y Grados de erosión en el Sitio RAMSAR



Gráfica 1. Carbono Orgánico y nitrógeno total almacenado por uso de suelo y profundidad.

NOTA:
Sequía (1)=Muestreo 1;Lluvia=muestreo 2; sequía (2)=muestreo 3; COS= Carbono orgánico del suelo; NTS= Nitrógeno total del suelo; BQ/VSa= Bosque de encino con vegetación arbustiva; PI= Pastizal inducido; AT= Agricultura de temporal; AH = Asentamientos humanos

Interrelaciones detectadas

Se realizó la evaluación del uso de los bienes naturales del Sitio Ramsar, su estado y condición actual, en especial del bien común suelo, además del servicio ecosistémico de captura de carbono que tiene como beneficio mitigar los efectos del cambio climático que contribuye a regular el clima local y

regional, esto solo puede llevarse a cabo si el ecosistema se mantiene conservado. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto el acelerado estado de degradación socio-ambiental del sistema. Por lo que en base a lo anterior, se determinaron las interrelaciones que estructuran al Sistema Complejo sitio Ramsar "Presa Manuel Ávila Camacho", las cuales se describe en el siguiente diagrama (Figura 3). El sistema se dividió en dos subsistemas (socio-económico y ambiental), los cuáles a la vez se dividen en tres niveles de procesos que describen los cambios que tienen lugar en el sistema, el *1er nivel* son cambios producidos en los métodos de producción y en las condiciones de vida asociados a modificaciones del sistema productivo en la región; el 2do *nivel son* las modificaciones en el sistema productivo, que indujeron cambios significativos en el primer nivel y el *3er nivel* son políticas nacionales de desarrollo que determinan la dinámica de los procesos de segundo nivel.

Conclusiones

Dentro del Sistema Sitio Ramsar Presa "Manuel Ávila Camacho" se lleva a cabo un círculo vicioso que representa a lo complejo del sistema; este inicia con las políticas públicas inadecuadas, que provocan un cambio o alteración en el sistema como es el caso de técnicas ancestrales de cultivo, y problemas entre la sociedad que conlleva a la disminuyendo la biodiversidad, contaminación del agua, procesos de erosión y disminución de fertilidad del sistema.

La estimación de las condiciones actuales del suelo del sitio Ramsar 2027 podría servir como punto de partida punto para el desarrollo de un plan de manejo y conservación en general del Sitio Ransar No. 2027.

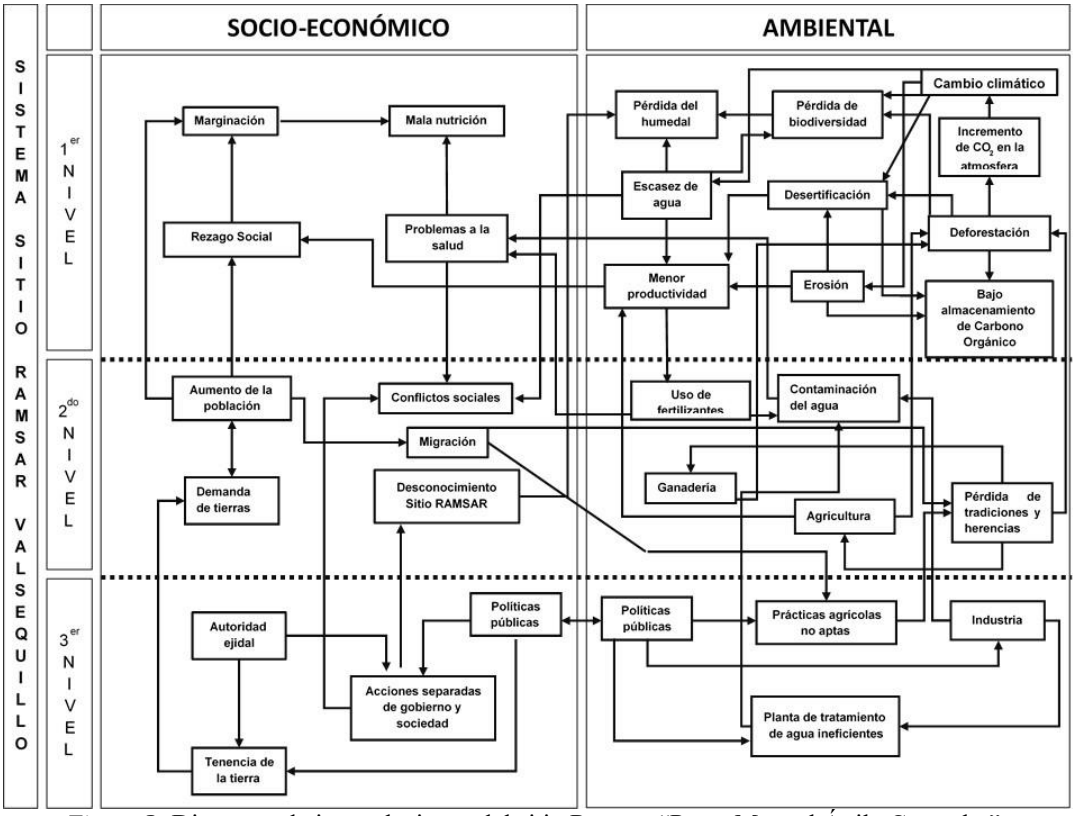


Figura 3. Diagrama de interrelaciones del sitio Ramsar "Presa Manuel Ávila Camacho".

Referencias

DeGroot, R., Stuip, M., Finlayson, M., y Davidson, N. (2007). *Valoración de humedales: Lineamientos para valorar los beneficios derivados de los servicios de los ecosistemas de humedales*. Recuperado a partir de http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_rtr03_s.pdf

Evangelista, V., López, J., Nieto, J., y Martínez, M. Á. (2010). Patrones espaciales de cambio de cobertura y uso del suelo en el área cafetalera de la sierra norte de Puebla. Spatial patterns of land use/cover change in the coffee crop area of the Sierra Norte de Puebla Abstract. *Investigaciones Geográficas UNAM*, *72*, 23–38. https://doi.org/10.14350/rig.19273

Núñez Solís, J. (2001). *Manejo y Conservación de Suelos* (Primera). Costa Rica: Euned. Recuperado a partir de https://books.google.com.mx/books?id=-l47PHoTfjoC

Lambin, E. F., N. Baulies, G. Bockstael, T. Fisher, R. Krug, E. F. Lemmans, R. R. Moran, Y. Rindfuss, D. Sato, B. L. Skole, Turner II and C. Vogel (1999), Land use and land cover change implementation strategy, IGBP report, 48, IHDP, report 10, Estocolmo.

SEMARNAT. (2013). *Política Nacional de Humedales*. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. Recuperado a partir de http://ramsar.conanp.gob.mx/docs/PNH_SEMARNAT.pdf

Szmulewicz, M., y Liscovsky, I. J. (2016). La resistencia como entramado del lugar: el caso de la gente de los médanos (Las Aguadas, Argentina). *Ambiente y desarrollo*, *20*(39), 9–20. https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd20-39.relc

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

INFLUENCIA DE LA POROSIDAD TOTAL EN LA CURVA DE INFILTRACIÓN IN SITU DEL HORIZONTE AP EN UN SISTEMA DE LABRANZA INTENSIVA MECANIZADA Y DE CONSERVACIÓN

Guillen-Moreno J.[1]; Gutiérrez-Castorena E.V.[1*]; Ramírez-Gómez G.A[1].; Gutiérrez-Castorena, Ma. del C.[2]; Vázquez-Alvarado, R.E.[1]; Encinia-Uribe, V.V.[1]

[1]Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Gral. Escobedo, Nuevo León, México.
[2]Colegio de Postgraduados, Montecillos, Estado de México, México.

*Autor responsable: edgar.gutierrezcs@uanl.edu.mx; Francisco I. Madero S/N, Hacienda el Canadá, Sin Nombre de Col 17, 66050 Cd Gral. Escobedo, N.L; Tel. +52(81) 83294000 extensión 3515

Resumen
Los estudios micromorfologico en los sistemas de labranza de conservación (LC) y mecanizada (LM) son de gran apoyo para comprender los procesos físicos y químicos en el suelo, sin embargo, en el noreste del estado de Nuevo León existe muy poca información. Al evaluar los cambios micromorfologico e hidráulicos de los sistemas de LC y LM se observó que se presenta una mayor infiltración en las parcelas con 10 años de cero labranzas y el suelo natural esto debido a la estabilidad de agregados y una porosidad total mayor 14.47% y 14.37% respectivamente, de un área de 421 mm^2, seguidos por la parcela bajo labranza mecaniza en la cual se reportó una porosidad total de 26.76%. Las parcelas que presentaron una menor tasa de infiltración y una menor porosidad fueron las que tenían 3 y 6 años de cero labranzas. El análisis micromorfologico en mosaicos de sección delgada proporciona la cuantificación de la macro y microporosidad, la cual nos proporciona una idea de cómo lleva acabo el movimiento del agua, y la evaluación de infiltración *in situ* se corrobora la valides de los resultados.

Palabras clave: *Micromorfométria, Carga hidráulica, Micro-fotomosaicos de sección delgada.*

Introducción
La susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica (EH) es determinada primordialmente por el potencial La labranza de conservación a incrementado en las últimas décadas debido a beneficios económicos y ambientales encaminados a una reducción de la escorrentía, la erosión, mitigación de la contaminación por elementos nutrimentales y la mejora del carbono orgánico del suelo (COS) (Soane *et al*., 2012).

El movimiento del flujo de agua y oxígeno a través de la estructura del suelo está directamente relacionada con la agregación de las partículas y el espacio poroso que según Cameron y Buchan (2006) estos pueden clasificarse de acuerdo al tamaño, tipo e inter o entre conexión de poros, proponiendo una clasificación de esta en: cryptopores (0.0074-0.1 µm), ultramicropores (0.1-5 µm), microporos (5-30 µm), mesopores (30-75 µm) y macroporos (75-100 µm). Los métodos utilizados para obtener la distribución y tamaño de poro son determinados por la curva de retención de agua del suelo (Ogunwole et al., 2015), porosimetría de mercurio y adsorción de nitrógeno (Hajnos et al.,

2006), técnicas de análisis de imágenes en 2D (Lipiec et al., 2007; Pires et al., 2013) o micro-TC (N. Dal Ferro *et al*., 2014).

Suelos bajo labranza cero tiene mayor infiltración por su relacionó a una mayor contribución de macroporos, los cuales fueron elaborados por la fauna del suelo o por raíces de cultivos precedentes (Tebrügge y Düring, 1999). Mientras que suelos bajo labranza convencional reportan la mayor porosidad dentro de la capa arable, lo cual dio como resultado una mayor infiltración durante 3 h de aplicación de agua reduciendo la infiltración del 36 al 62% con otros tratamientos de labranza (Lipiec *et al*., 2006). Siendo la labranza un mecanismo que podría aumentar la infiltración de agua al alterar las capas compactadas y aflojar el suelo en relación con el manejo de labranza de conservación, sin embargo las prácticas de labranza constantes puede reducir la infiltración ocasionado por la inestabilidad de los agregados del suelo y a su macroporosidad, de manera que incrementa la formación de costras en la superficie, endureciendo al suelo por la ausencia de residuos (Unger, 1992; Blanco *et al*., 2017) o de forma natural por la génesis en zonas áridas y semiáridas.
La diferencia en la infiltración y porosidad del suelo entre los sistemas de labranza de conservación y mecanizada, pueden ser más altos inmediatamente al realizar la labranza e ir disminuyendo con el tiempo a medida que las partículas del suelo se consolidan por la presión de sobrecarga e impactos de gotas (Strudley *et al.,* 2008). El objetivo del presente estudio es evaluar los cambios micromorfológicos, hidráulicos y físicos en sistemas bajo 8 años de labranza de conservación y labranza mecanizada intensiva en suelos semiáridos del noreste del estado de Nuevo León.

Materiales y Métodos

Área experimental.
El experimento fue llevado a cabo en un suelo con horizontes de diagnóstico cámbico (FAO), en el noreste del Estado de Nuevo León (25°52´49´´N, 100°05´12´´O): con precipitaciones medias de 548 mm/anuales, temperatura media anual de 22.1°C, y una evapotranspiración total de 1998 mm/anuales en tierras irrigadas y producción intensiva de nopal verdura y maíz.
Se establecieran parcelas experimentales (PE) con producción intensiva orgánica de 2000 m², con riego por cintilla y fertilización orgánica con gallinaza procesada (Meyfer ®) en cantidades de 2 ton/ha durante los últimos 11 años sin interrupción. El sistema de labranza de conservación se instauró para cuatro tratamientos: PE-1, PE-2, PE-3 y PE-4 en diversos periodos de tiempo de reposo sin mecanización (20/04/2015, 15/11/2013, 5/2/2010, 15/03/2009, ciclo agrícola establecido como punto de partida de cero labranza para la producción intensiva del cultivo de nopal verdura); otra parcela con labranza mecanizada (LM) para la producción intensiva del maíz y un testigo del suelo natural sin labranza ni deforestación de la vegetación nativa de la región (N).

Obtención de muestras micromorfológicas, pruebas hidráulicas y físicas.
Se realizó el muestreo a diferente profundidad de 0-10 y 10-20 cm con núcleos inalterados de suelo del horizonte Ap para el análisis micromorfológico por medio de micro-fotomosaicos de imágenes secuenciales de secciones delgadas realizadas a partir del 20 de febrero del 2015, estos fueron colectados en cajas de acero inoxidable para la elaboración y obtención de secciones delgadas (Kubiëna,- 19238; Fitzparck 1984).

La preparación de los núcleos inalterados y posterior obtención de secciones delgadas para el análisis micromorfológico inició con el secado y extracción de la humedad lentamente a temperatura ambiente

(4-7 días), posteriormente colocadas en una estufa por 48 h a 50°C (hasta peso constante), con remplazo de la humedad por acetona antes de impregnar la muestra (Kubië 1938; Fitzparck 1984).

Los datos de infiltración fueron determinados por el método de doble anillo, donde el primero tiene un diámetro interior de 20 cm y el anillo exterior de 40 cm. Las pruebas se efectuaron en intervalos de 45 días entre ellas durante todo un año, iniciando en el mes de Noviembre, Enero, Marzo, Mayo. Los anillos se insertaron a una profundidad de 15 cm de profundidad a partir de la superficie del suelo. En cada análisis y toma de infiltración se añadió agua a ambos anillos manteniendo una columna de agua constante durante la medición. Los datos en *in situ* de la tasa de infiltración fueron durante un periodo de tres horas y se registraron los cambios en la altura del nivel del agua en el anillo interno a intervalos de tiempo específicos.

Micro-fotomosaicos de secciones delgadas en imágenes de 2D.
El análisis de las imágenes secuenciales de las secciones delgadas fue mediante una cámara fotográfica CANON montada sobre un microscopio petrográfico con diferentes compensadores; luz polarizada plana (PPL), luz polarizada oscura (XPL) y luz polarizada compensada (CPL). La metodología empleada para la captura de las fotografías a escala microscópicas fue empleando la metodología (Ma. Del C. Gutiérrez-Castorena et al., 2017).

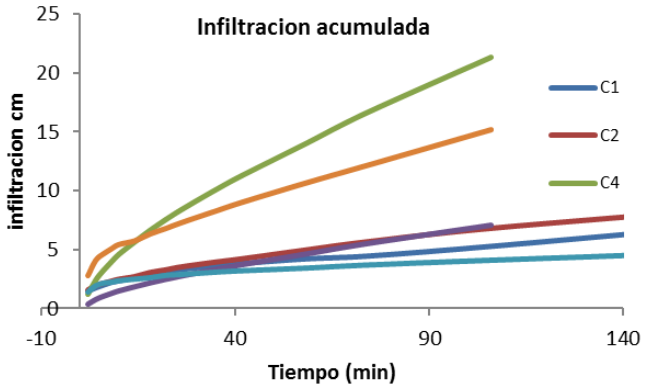
Resultados y Discusión

Los resultados de la porosidad total a profundidad de 0-10 cm en tierras con labranza mecanizada tiene una Pt del 26.76% seguida por labranza de conservación (LC) en la parcela experimental (PE) PE-4 y N con (14.47%-14.37%), y en menor porcentaje PE-1, PE-3 y PE-2 (13.78%, 11.24% y 9.54% respectivamente). Mientras que a profundidad de 10 a 20 cm la Pt en la LM reportó un 23.42% y en LC en la PE-4 y N alcanzaron el 21%, seguidos de PE-3, PE-2, PE-1 (17.76%, 15.07% y 9.30% respectivamente). Por otra parte, al evaluar tanto la macroporosidad del perfil (MAC-P) como en la microporosidad (MIC-P) en la labranza mecanizada (LM) estas fueron de mayor en las dos profundidades (0-10 cm y 10-20 cm) en comparación a las labranzas de conservación (LC) para todas las parcelas experimentales (PE) al paso del tiempo.

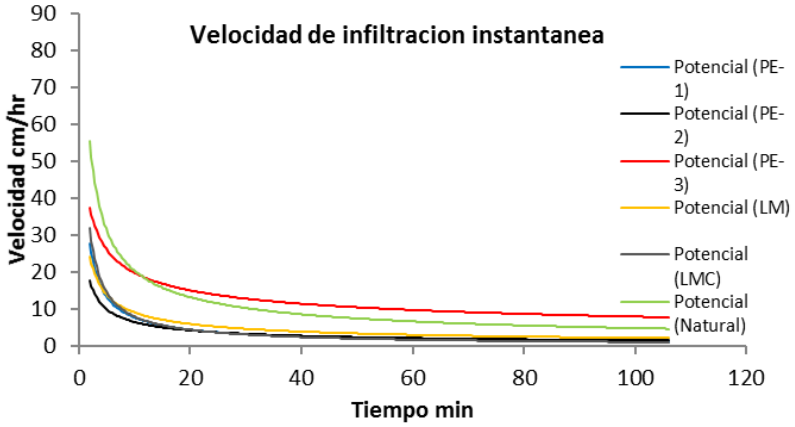
El índice de filtración reportada en la curva de infiltración reporta una mayor infiltración acumulada en las parcelas natural (N) y PE-4 como se muestra en la Grafica 1, al infiltrar en un periodo de 2 horas 22 y 16 cm respectivamente, en comparación con las parcelas experimentales PE-1, PE-2, las cuales reportaron una infiltración acumulada de 5.2 y 6.7 cm respectivamente. Mientras que en la parcela de LM la infiltración due de 7.2 cm durante el mismo periodo de prueba.

Autores como (Lipiec *et al*., 2006) mencionan que bajo sistemas de labranza mecanizada se observó una mayor porosidad total dentro de la capa arable, lo cual dio como resultado una infiltración mayor, en comparación con los resultados obtenidos en la presente investigación si se presenta una mayor porosidad total en la parcela LM, mas sin embargo la infiltración es mayor en las parcelas EP-4 y Natural por lo cual se comprobó lo que menciono (Tebrügge y Düring, 1999) el cual nos dice que suelos bajo labranza cero presentan una mayor infiltración esto debido a la contribución de macroporos, los cuales pueden ser elaborados por la fauna o raíces.

Graficas 1.



Grafica 2.



Grafica 3.

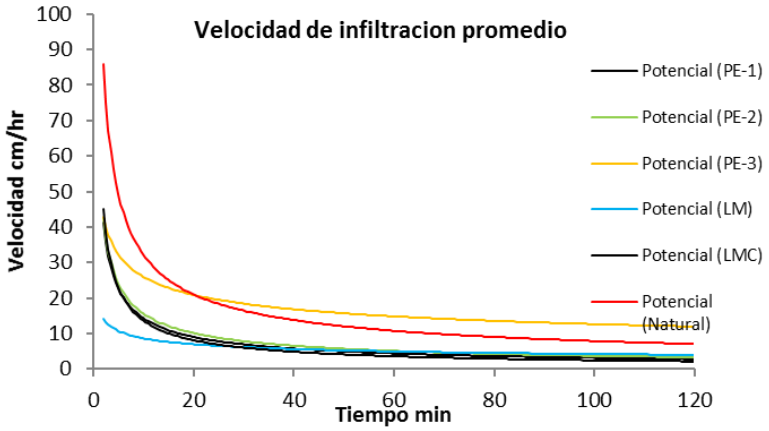


Tabla 1: Ecuaciones de Kostiakov

	Ecuación de Kostiakov	
Parcela	**Velocidad de infiltración instantánea**	**Velocidad de infiltración promedio**
Parcela experimental 1	$49.346\ X^{-0.396}$	$130.94\ X^{-0.611}$
Parcela experimental 2	$85.383\ X^{-0.622}$	$53.161\ X^{-0.312}$
Parcela experimental 4	$58.094\ X^{-0.838}$	$65.524\ X^{-0.624}$
Labranza mecanizada	$37.131\ X^{-0.609}$	$17.72\ X^{-0.312}$
Labranza mecanizada compactada	$48.404\ X^{-0.795}$	$75.684\ X^{-0.746}$
Parcela Natural	$26.965\ X^{-0.615}$	$65.187\ X^{-0.66}$

Conclusiones

El análisis micromorfologico en micro-fotomosaicos de secciones delgadas proporciona la cuantificación y caracterización de macro y micro porosidad detallada. La cual brinda una idea del cómo se presenta el movimiento del agua en el suelo. De manera que el análisis de infiltración in situ puede correlacionar la porosidad total (macro y micro) con el flujo del agua. Las parcelas experimentales que presentaron una mayor porosidad total e infiltración fueron PE-4, Natural y labranza mecanizada, donde el suelo natural y la parcela experimental de conservación de 10 años presentan una estabilidad de agregados y flujo de agua muy similares a través de la porosidad, mientras que los suelos en un sistema de labranza mecanizada es debido al constante movimiento de la distribución de tamaño de partículas. Posterior a 6 años la labranza de conservación en suelos agrícolas estas recuperan las características micromorfológicas (macroporosidad, microporosidad y porosidad total) presentes en el suelo natural.

Referencias

Soane, B.D., Ball, B.C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, f., Roger-estrada, J., 2012. No-till in norte, wester and south-western Europe: a reviw of problems and opportunities for crop producction and the enviroment. Soil Till. Res. 118, 66-87).

Cameron, K.C., Buchan, G.D., 2006. Porosity and pore size distribution. In: Lal, R. (Ed.), Encyclopedia of Soil Science. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 1350–1353.

Ogunwole, J.O., Pires, L.F., Shehu, B.M., 2015. Changes in the structure of a nigerian soil under different land management practices. Rev. Bras. Ciência do Solo 39, 830–840.

Hajnos, M., Lipiec, J., Swieboda, R., Sokołowska, Z., Witkowska-Walczak, B., 2006. Complete characterization of pore size distribution of tilled and orchard soil using water retention curve, mercury porosimetry, nitrogen adsorption, and water desorption methods. Geoderma 135, 307–314.

Lipiec, J., Walczak, R., Witkowska-Walczak, B., Nosalewicz, A., Słowi _nska- Jurkiewicz, A., Sławi _nski, C., 2007. The effect of aggregate size on water retention and pore structure of two silt loam soils of different genesis. Soil Tillage Res. 97, 239–246.

Pires, L.F., Borges, F.S., Passoni, S., Pereira, A.B., 2013. Soil pore characterization using free software and a portable optical microscope. Pedosphere 23, 503–510.

N. Dal Ferro, L. Sartori, G. Simonetti, A. Berti, F. Morari., 2014. Soil macro- and microstructure as affected by different tillage systems and their effects on maize root growth. Soil & Tillage Research 140 55-60.

J, Lipiec., J, Kús., A, Slowińska-Jurkiewicz., A, Nosalewicz., 2006. Soil Porosity and wáter infiltration as influenced by tillage methods. Soil & Tillage Research 89, 210–220.

Unger, 1992. Infiltración de lluvia simulada: sistema de labranza y efectos de residuos de cultivo Sci. Del suelo Soc. A.m. J. , 56 (1992) , pp. 283 – 289.

Humberto Blanco-Canquia, Brian J. Wienholdb, Virginia L. Jinb, Marty R. Schmerb, Leonard C. Kibetc., 2017. Long-term tillage impact on soil hydraulic properties. Soil & Tillage 170, 38-42.

Kubië, W.L.W 1938 Micropedolofy. Collegiate Press, inc. Ames, lowa. 243p.

FitzPatrick, E.A. 1984. Micromorphology of soil. Chapman &Hall, New York

Ma. C., Gutiérrez-Castorena, E. V. Gutiérrez-Castorena. 2017. Thematic micro-maps of soil components using high-resolution spatially referenced mosaics from whole soil thin sections and image analysis. European Journal of Soil

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

INFLUENCIA DE LA POROSIDAD TOTAL EN LA CURVA DE INFILTRACIÓN IN SITU DEL HORIZONTE AP EN UN SISTEMA DE LABRANZA INTENSIVA MECANIZADA Y DE CONSERVACIÓN

Guillen-Moreno J.[1]; Gutiérrez-Castorena E.V.[1*]; Ramírez-Gómez G.A[1].; Gutiérrez-Castorena, Ma. del C.[2]; Vázquez-Alvarado, R.E.[1]; Encinia-Uribe, V.V.[1]

[1]Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Gral. Escobedo, Nuevo León, México.
[2]Colegio de Postgraduados, Montecillos, Estado de México, México.

*Autor responsable: edgar.gutierrezcs@uanl.edu.mx; Francisco I. Madero S/N, Hacienda el Canadá, Sin Nombre de Col 17, 66050 Cd Gral. Escobedo, N.L; Tel. +52(81) 83294000 extensión 3515

Resumen
Los estudios micromorfologico en los sistemas de labranza de conservación (LC) y mecanizada (LM) son de gran apoyo para comprender los procesos físicos y químicos en el suelo, sin embargo, en el noreste del estado de Nuevo León existe muy poca información. Al evaluar los cambios micromorfologico e hidráulicos de los sistemas de LC y LM se observó que se presenta una mayor infiltración en las parcelas con 10 años de cero labranzas y el suelo natural esto debido a la estabilidad de agregados y una porosidad total mayor 14.47% y 14.37% respectivamente, de un área de 421 mm^2, seguidos por la parcela bajo labranza mecaniza en la cual se reportó una porosidad total de 26.76%. Las parcelas que presentaron una menor tasa de infiltración y una menor porosidad fueron las que tenían 3 y 6 años de cero labranzas. El análisis micromorfologico en mosaicos de sección delgada proporciona la cuantificación de la macro y microporosidad, la cual nos proporciona una idea de cómo lleva acabo el movimiento del agua, y la evaluación de infiltración *in situ* se corrobora la valides de los resultados.

Palabras clave: *Micromorfométria, Carga hidráulica, Micro-fotomosaicos de sección delgada.*

Introducción
La susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica (EH) es determinada primordialmente por el potencial La labranza de conservación a incrementado en las últimas décadas debido a beneficios económicos y ambientales encaminados a una reducción de la escorrentía, la erosión, mitigación de la contaminación por elementos nutrimentales y la mejora del carbono orgánico del suelo (COS) (Soane *et al*., 2012).

El movimiento del flujo de agua y oxígeno a través de la estructura del suelo está directamente relacionada con la agregación de las partículas y el espacio poroso que según Cameron y Buchan (2006) estos pueden clasificarse de acuerdo al tamaño, tipo e inter o entre conexión de poros, proponiendo una clasificación de esta en: cryptopores (0.0074-0.1 µm), ultramicropores (0.1-5 µm), microporos (5-30 µm), mesopores (30-75 µm) y macroporos (75-100 µm). Los métodos utilizados para obtener la distribución y tamaño de poro son determinados por la curva de retención de agua del suelo (Ogunwole et al., 2015), porosimetría de mercurio y adsorción de nitrógeno (Hajnos et al.,

2006), técnicas de análisis de imágenes en 2D (Lipiec et al., 2007; Pires et al., 2013) o micro-TC (N. Dal Ferro *et al*., 2014).

Suelos bajo labranza cero tiene mayor infiltración por su relacionó a una mayor contribución de macroporos, los cuales fueron elaborados por la fauna del suelo o por raíces de cultivos precedentes (Tebrügge y Düring, 1999). Mientras que suelos bajo labranza convencional reportan la mayor porosidad dentro de la capa arable, lo cual dio como resultado una mayor infiltración durante 3 h de aplicación de agua reduciendo la infiltración del 36 al 62% con otros tratamientos de labranza (Lipiec *et al*., 2006). Siendo la labranza un mecanismo que podría aumentar la infiltración de agua al alterar las capas compactadas y aflojar el suelo en relación con el manejo de labranza de conservación, sin embargo las prácticas de labranza constantes puede reducir la infiltración ocasionado por la inestabilidad de los agregados del suelo y a su macroporosidad, de manera que incrementa la formación de costras en la superficie, endureciendo al suelo por la ausencia de residuos (Unger, 1992; Blanco *et al*., 2017) o de forma natural por la génesis en zonas áridas y semiáridas.
La diferencia en la infiltración y porosidad del suelo entre los sistemas de labranza de conservación y mecanizada, pueden ser más altos inmediatamente al realizar la labranza e ir disminuyendo con el tiempo a medida que las partículas del suelo se consolidan por la presión de sobrecarga e impactos de gotas (Strudley *et al.,* 2008). El objetivo del presente estudio es evaluar los cambios micromorfológicos, hidráulicos y físicos en sistemas bajo 8 años de labranza de conservación y labranza mecanizada intensiva en suelos semiáridos del noreste del estado de Nuevo León.

Materiales y Métodos

Área experimental.
El experimento fue llevado a cabo en un suelo con horizontes de diagnóstico cámbico (FAO), en el noreste del Estado de Nuevo León (25°52´49´´N, 100°05´12´´O): con precipitaciones medias de 548 mm/anuales, temperatura media anual de 22.1°C, y una evapotranspiración total de 1998 mm/anuales en tierras irrigadas y producción intensiva de nopal verdura y maíz.
Se establecieran parcelas experimentales (PE) con producción intensiva orgánica de 2000 m², con riego por cintilla y fertilización orgánica con gallinaza procesada (Meyfer ®) en cantidades de 2 ton/ha durante los últimos 11 años sin interrupción. El sistema de labranza de conservación se instauró para cuatro tratamientos: PE-1, PE-2, PE-3 y PE-4 en diversos periodos de tiempo de reposo sin mecanización (20/04/2015, 15/11/2013, 5/2/2010, 15/03/2009, ciclo agrícola establecido como punto de partida de cero labranza para la producción intensiva del cultivo de nopal verdura); otra parcela con labranza mecanizada (LM) para la producción intensiva del maíz y un testigo del suelo natural sin labranza ni deforestación de la vegetación nativa de la región (N).

Obtención de muestras micromorfológicas, pruebas hidráulicas y físicas.
Se realizó el muestreo a diferente profundidad de 0-10 y 10-20 cm con núcleos inalterados de suelo del horizonte Ap para el análisis micromorfológico por medio de micro-fotomosaicos de imágenes secuenciales de secciones delgadas realizadas a partir del 20 de febrero del 2015, estos fueron colectados en cajas de acero inoxidable para la elaboración y obtención de secciones delgadas (Kubiëna,- 19238; Fitzparck 1984).

La preparación de los núcleos inalterados y posterior obtención de secciones delgadas para el análisis micromorfológico inició con el secado y extracción de la humedad lentamente a temperatura ambiente

(4-7 días), posteriormente colocadas en una estufa por 48 h a 50°C (hasta peso constante), con remplazo de la humedad por acetona antes de impregnar la muestra (Kubië 1938; Fitzparck 1984).

Los datos de infiltración fueron determinados por el método de doble anillo, donde el primero tiene un diámetro interior de 20 cm y el anillo exterior de 40 cm. Las pruebas se efectuaron en intervalos de 45 días entre ellas durante todo un año, iniciando en el mes de Noviembre, Enero, Marzo, Mayo. Los anillos se insertaron a una profundidad de 15 cm de profundidad a partir de la superficie del suelo. En cada análisis y toma de infiltración se añadió agua a ambos anillos manteniendo una columna de agua constante durante la medición. Los datos en *in situ* de la tasa de infiltración fueron durante un periodo de tres horas y se registraron los cambios en la altura del nivel del agua en el anillo interno a intervalos de tiempo específicos.

Micro-fotomosaicos de secciones delgadas en imágenes de 2D.
El análisis de las imágenes secuenciales de las secciones delgadas fue mediante una cámara fotográfica CANON montada sobre un microscopio petrográfico con diferentes compensadores; luz polarizada plana (PPL), luz polarizada oscura (XPL) y luz polarizada compensada (CPL). La metodología empleada para la captura de las fotografías a escala microscópicas fue empleando la metodología (Ma. Del C. Gutiérrez-Castorena et al., 2017).

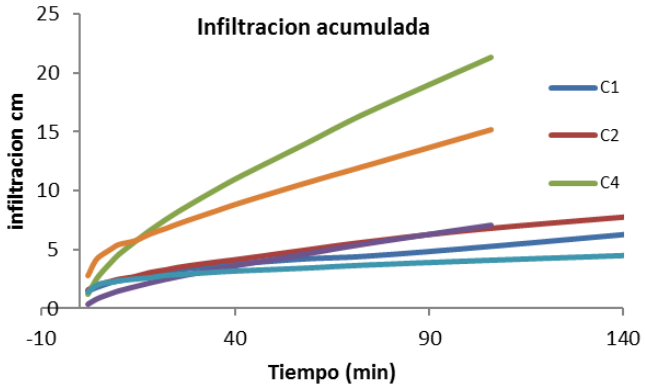
Resultados y Discusión

Los resultados de la porosidad total a profundidad de 0-10 cm en tierras con labranza mecanizada tiene una Pt del 26.76% seguida por labranza de conservación (LC) en la parcela experimental (PE) PE-4 y N con (14.47%-14.37%), y en menor porcentaje PE-1, PE-3 y PE-2 (13.78%, 11.24% y 9.54% respectivamente). Mientras que a profundidad de 10 a 20 cm la Pt en la LM reportó un 23.42% y en LC en la PE-4 y N alcanzaron el 21%, seguidos de PE-3, PE-2, PE-1 (17.76%, 15.07% y 9.30% respectivamente). Por otra parte, al evaluar tanto la macroporosidad del perfil (MAC-P) como en la microporosidad (MIC-P) en la labranza mecanizada (LM) estas fueron de mayor en las dos profundidades (0-10 cm y 10-20 cm) en comparación a las labranzas de conservación (LC) para todas las parcelas experimentales (PE) al paso del tiempo.

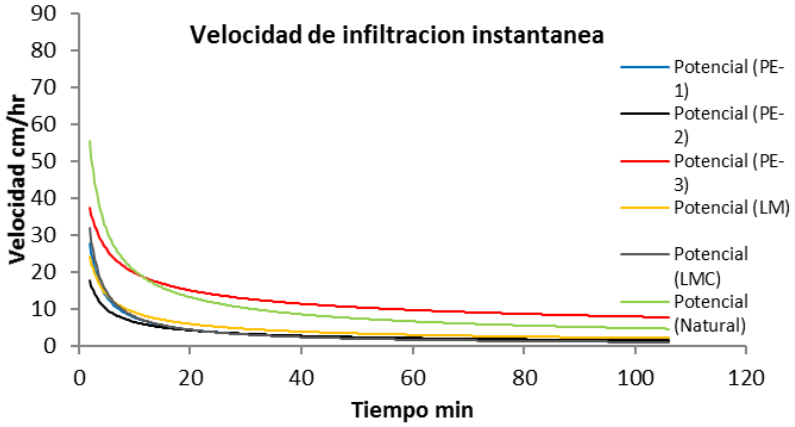
El índice de filtración reportada en la curva de infiltración reporta una mayor infiltración acumulada en las parcelas natural (N) y PE-4 como se muestra en la Grafica 1, al infiltrar en un periodo de 2 horas 22 y 16 cm respectivamente, en comparación con las parcelas experimentales PE-1, PE-2, las cuales reportaron una infiltración acumulada de 5.2 y 6.7 cm respectivamente. Mientras que en la parcela de LM la infiltración due de 7.2 cm durante el mismo periodo de prueba.

Autores como (Lipiec *et al*., 2006) mencionan que bajo sistemas de labranza mecanizada se observó una mayor porosidad total dentro de la capa arable, lo cual dio como resultado una infiltración mayor, en comparación con los resultados obtenidos en la presente investigación si se presenta una mayor porosidad total en la parcela LM, mas sin embargo la infiltración es mayor en las parcelas EP-4 y Natural por lo cual se comprobó lo que menciono (Tebrügge y Düring, 1999) el cual nos dice que suelos bajo labranza cero presentan una mayor infiltración esto debido a la contribución de macroporos, los cuales pueden ser elaborados por la fauna o raíces.

Graficas 1.



Grafica 2.



Grafica 3.

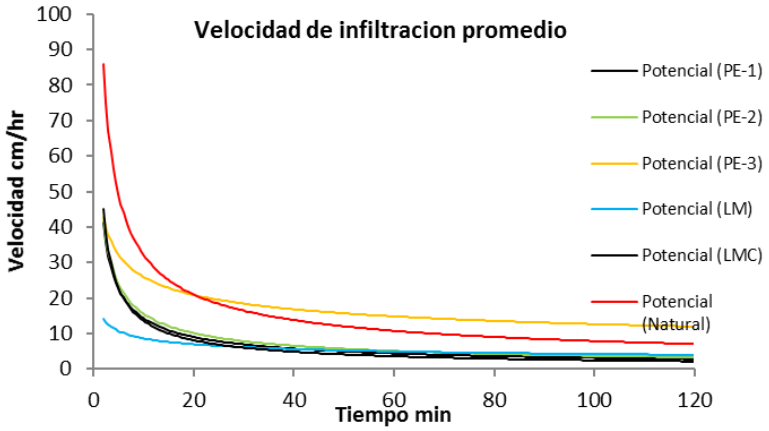


Tabla 1: Ecuaciones de Kostiakov

	Ecuación de Kostiakov	
Parcela	**Velocidad de infiltración instantánea**	**Velocidad de infiltración promedio**
Parcela experimental 1	$49.346\ X^{-0.396}$	$130.94\ X^{-0.611}$
Parcela experimental 2	$85.383\ X^{-0.622}$	$53.161\ X^{-0.312}$
Parcela experimental 4	$58.094\ X^{-0.838}$	$65.524\ X^{-0.624}$
Labranza mecanizada	$37.131\ X^{-0.609}$	$17.72\ X^{-0.312}$
Labranza mecanizada compactada	$48.404\ X^{-0.795}$	$75.684\ X^{-0.746}$
Parcela Natural	$26.965\ X^{-0.615}$	$65.187\ X^{-0.66}$

Conclusiones

El análisis micromorfologico en micro-fotomosaicos de secciones delgadas proporciona la cuantificación y caracterización de macro y micro porosidad detallada. La cual brinda una idea del cómo se presenta el movimiento del agua en el suelo. De manera que el análisis de infiltración in situ puede correlacionar la porosidad total (macro y micro) con el flujo del agua. Las parcelas experimentales que presentaron una mayor porosidad total e infiltración fueron PE-4, Natural y labranza mecanizada, donde el suelo natural y la parcela experimental de conservación de 10 años presentan una estabilidad de agregados y flujo de agua muy similares a través de la porosidad, mientras que los suelos en un sistema de labranza mecanizada es debido al constante movimiento de la distribución de tamaño de partículas. Posterior a 6 años la labranza de conservación en suelos agrícolas estas recuperan las características micromorfológicas (macroporosidad, microporosidad y porosidad total) presentes en el suelo natural.

Referencias

Soane, B.D., Ball, B.C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, f., Roger-estrada, J., 2012. No-till in norte, wester and south-western Europe: a reviw of problems and opportunities for crop producction and the enviroment. Soil Till. Res. 118, 66-87).

Cameron, K.C., Buchan, G.D., 2006. Porosity and pore size distribution. In: Lal, R. (Ed.), Encyclopedia of Soil Science. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 1350–1353.

Ogunwole, J.O., Pires, L.F., Shehu, B.M., 2015. Changes in the structure of a nigerian soil under different land management practices. Rev. Bras. Ciência do Solo 39, 830–840.

Hajnos, M., Lipiec, J., Swieboda, R., Sokołowska, Z., Witkowska-Walczak, B., 2006. Complete characterization of pore size distribution of tilled and orchard soil using water retention curve, mercury porosimetry, nitrogen adsorption, and water desorption methods. Geoderma 135, 307–314.

Lipiec, J., Walczak, R., Witkowska-Walczak, B., Nosalewicz, A., Słowi _nska- Jurkiewicz, A., Sławi _nski, C., 2007. The effect of aggregate size on water retention and pore structure of two silt loam soils of different genesis. Soil Tillage Res. 97, 239–246.

Pires, L.F., Borges, F.S., Passoni, S., Pereira, A.B., 2013. Soil pore characterization using free software and a portable optical microscope. Pedosphere 23, 503–510.

N. Dal Ferro, L. Sartori, G. Simonetti, A. Berti, F. Morari., 2014. Soil macro- and microstructure as affected by different tillage systems and their effects on maize root growth. Soil & Tillage Research 140 55-60.

J, Lipiec., J, Kús., A, Slowińska-Jurkiewicz., A, Nosalewicz., 2006. Soil Porosity and wáter infiltration as influenced by tillage methods. Soil & Tillage Research 89, 210–220.

Unger, 1992. Infiltración de lluvia simulada: sistema de labranza y efectos de residuos de cultivo Sci. Del suelo Soc. A.m. J. , 56 (1992) , pp. 283 – 289.

Humberto Blanco-Canquia, Brian J. Wienholdb, Virginia L. Jinb, Marty R. Schmerb, Leonard C. Kibetc., 2017. Long-term tillage impact on soil hydraulic properties. Soil & Tillage 170, 38-42.

Kubië, W.L.W 1938 Micropedolofy. Collegiate Press, inc. Ames, lowa. 243p.

FitzPatrick, E.A. 1984. Micromorphology of soil. Chapman &Hall, New York

Ma. C., Gutiérrez-Castorena, E. V. Gutiérrez-Castorena. 2017. Thematic micro-maps of soil components using high-resolution spatially referenced mosaics from whole soil thin sections and image analysis. European Journal of Soil

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS DE CULTIVO DE ROSA

Díaz-González, X. D[1].; Arévalo-Galindo, J. L[1]; Ramírez-Gerardo, M. G. [1]*

[1]Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable. Tecnológico de Estudios Superiores de Villa Guerrero, Villa Guerrero, Estado de México, México.

*Autor responsable: maritthza@gmail.com; Carretera Toluca-Ixtapan de la Sal, Km. 54.5, Col. La Finca, Villa Guerrero, Estado. De México, México. CP 51767; Tel. +52(714)-146-1465.

Resumen

El contenido de materia orgánica y carbono orgánico influyen en las propiedades fisicas y químicas del suelo y contribuyen a la conservación de la calidad del mismo. El objetivo planteado fue cuantificar el contenido de carbono orgánico en suelo (COS) de sistemas productivos de rosa y analizar la relación entre la forma de producción con la conservación del carbono. En nueve invernaderos del municipio de Villa Guerrero, Estado México se muestreó suelo a 0.20 m de profundidad, se cuantificó el porcentaje de COS, además se midió el pH y conductividad eléctrica (CE). Asimismo, se registró la forma de producción, área cultivada, edad del cultivo, tipo de fertilización y cultivar utilizado. Los resultados indican una forma de producción mayormente convencional donde predomina el uso de productos químico sintéticos. El pH de los suelos osciló entre 5.4 y 7.2. Los valores de CE oscilaron entre 0.57 y 3.5 mS m^{-1}. Ambos, pH y CE fueron diferentes estadísticamente ($P<0.05$) en los sistemas evaluados. El porcentaje de carbono orgánico en suelo se registró entre 1 y 5 % siendo diferente estadísticamente entre los sitios muestreados. La incorporación de abonos orgánicos en los sistemas con más años de producción tienden a neutralizar el pH de los suelos y a disminuir la CE, otorgando ventajas al suelo y cultivo. Además, la incorporación de materia orgánica (estiércol o compost), impacta positivamente en la conservación de COS, pues los valores mas altos se relacionan con una aplicación continua de estos productos orgánicos.

Palabras clave

Rosa x hybrida; almacenamiento de carbono; sistemas de producción florícola.

Introducción

La agricultura es una actividad que contribuye con el 38.1 % de las emisiones de gases de efecto invernadero hacia la atmosfera (López *et al.*, 2014), por lo tanto, pequeños cambios en el contenido del carbono orgánico del suelo (COS) puede significar un impacto importante en eventos de gran relevancia como el cambio climático del planeta.

De igual forma, la pérdida de materia orgánica contribuye en una baja producción y mala calidad, además de contribuir a la pérdida de fertilidad de los suelos. Los estudios indican que entre la mitad y dos terceras partes del carbono orgánico de suelos cultivados se han perdido debido a la forma producción agrícola intensiva (Zhang *et al.,* 2016). Para algunos autores la especie de cultivo, las áreas sembradas, la actividad microbiana existente en el suelo, y el manejo del mismo promueven en menor o mayor grado la pérdida de carbono (Quintín *et al.,* 2015).

El COS es importante ya que como parte de la materia orgánica influye en las propiedades del suelo como la estructura, la capacidad de intercambio catiónico, la densidad aparente, la porosidad y la infiltración (Bojórquez *et al*., 2015). El COS es notorio en el suelo pudiendo estar en 1.8 veces más en los primeros veinte centímetros.

La región sur del Estado de México se dedica a la agricultura, siendo la principal actividad económica para el sustento de muchas familias. Aunque se cultivan algunas hortalizas, las flores de corte en monocultivo destacan por la cantidad de producción, entre los cultivos más importantes destaca el de rosa (Ros x hybrida). La forma convencional de producción de rosa con altas entradas de insumos agroquímicos (fertilizantes y plaguicidas) desarrollado durante décadas, ha ocasionado pérdida de la calidad de los suelos. Además, la actividad florícola en general ha ocasionado también la apertura de nuevos espacios donde se destruye la vegetación nativa para establecer nuevos cultivos, ocasionando que los reservorios de carbono se pierdan. Por otra parte, a partir del acuerdo de Kioto, la FAO promueve actualmente, identificar, desarrollar y promover las prácticas que reduzcan las emisiones agrícolas y retengan el carbono.

Estudios realizados en cultivo de arroz con rotación de trigo al comparar el tipo de manejo encontraron que con la labranza convencional se acumularon anualmente 2.32 kg C ha^{-1}, mientras que con la aplicación de estiércol fue de 159 a 326 kg C ha^{-1} $año^{-1}$ y dejando los residuos de cosecha entre 489 a 1005 kg C ha^{-1} $año^{-1}$ respectivamente (Zhang *et al.,* 2016). Las prácticas como la adición de composta a los suelos genera una acumulación de C más estable (recalcitrante) en el suelo en comparación de un suelo sin composta. Además se ha demostrado que la fertilización química disminuye la cantidad de C recalcitrante e incrementa la fracción lábil de C (Nava *et al.,* 2017).

El tiempo que lleva en uso un suelo en agricultura permite comparar los beneficios que se tienen en sistemas orgánicos cuando han sido manejados varios años de esa forma. Este tipo de sistemas además de mostrar diferencias en el contenido de nutrientes se cuadruplicaron los porcentajes de C (y N) totales son inferiores en el suelo convencional (4.04 y 0.41 respectivamente) con respecto al orgánico (6.24 y 0.59), indicando que los sistemas orgánicos presentan niveles más altos de C orgánico, mayor aireación y retención de humedad y en general una mejor calidad del suelo comparados con los sistemas convencionales (Marín, 2017).

El objetivo de esta investigación fue cuantificar el contenido de carbono en suelos con diferentes prácticas agrícolas de sistemas productivos de rosa para con ello analizar las posibles acciones para fomentar la conservación del mismo.

Materiales y Métodos

El estudio se llevó acabo en la zona florícola de Villa Guerrero, Estado de México, en 9 sistemas productivos de rosa bajo invernadero. El suelo se recolectó a una profundidad de 20 cm. Se tomó una muestra compuesta de 6 submuestras. El suelo se secó a temperatura ambiente y tamizó (<2 mm), posteriormente se determinó el porcentaje de carbono orgánico y se midió el pH y CE con base a la norma mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Se tuvieron tres repeticiones por sitio muestreado.
En cada sistema de producción de rosa, se recabó información de: ubicación, años en monocultivo, tipo de manejo, área de producción y prácticas agrícolas utilizadas. Se compararon los valores promedios de COS en cada sitio. Se compararon las diferencias del contenido de COS, pH y CE con un análisis de varianza, con α=0.05. Y donde existieron diferencias, se realizó una prueba de mínima diferencia significativa (MDS), con el software SAS System for Windows.

Resultados y Discusión

El contenido de carbono orgánico del suelo osciló entre 1 y 5 % en los nueve sitios muestreados (Figura 1) siendo diferentes estadísticamente (P<0.05). La variabilidad que se presenta en los sistemas de productivos depende de la edad del sistema y de la incorporación de materia orgánica ya sea en forma de estiércol, compost o residuos del mismo cultivo.

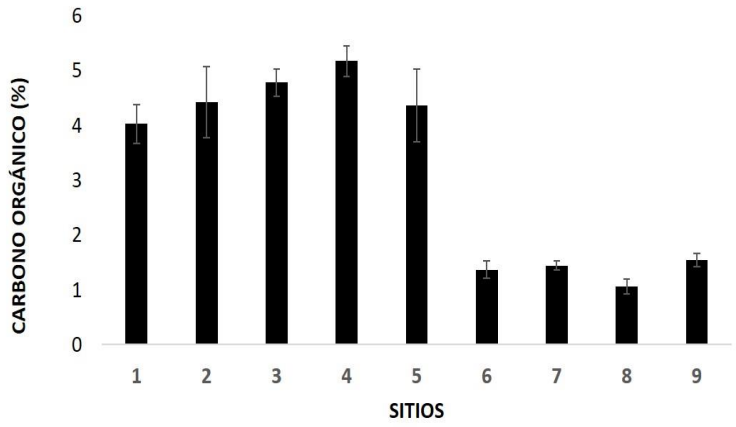


Figura 1. Contenido de carbono orgánico en suelos de cultivos de rosa en Villa Guerrero, Estado de México

Los valores de pH en los suelos muestreados se ubican entre 5.4 y 7.2 mientras que la conductividad eléctrica osciló entre 0.57 a 3.5 mSm^{-1}. Se observa que el pH de la mayoría de los suelos es ácido y destaca que en suelos donde se ha aplicado un mayor porcentaje de materia orgánica por más tiempo y de manera diversa (estiércoles, compost, bioles) presentan un pH neutro. El análisis de varianza indicó diferencias significativas entre sitios ($P<0.05$) para pH y CE.

La información recaba en cada sistema de producción indicó que los cultivos de rosa tienen de 2 hasta 12 años de producción en monocultivo (Cuadro 1). Aunque la mayoría tiene un manejo convencional, en la comunidad de Santa María Aranzazú se tienen prácticas con tendencia a una producción orgánica (80% orgánico y 20% convencional), en el primero sitio muestreado se tiene mayor aplicación de materia orgánica como lombricompost, el cual se incorpora directamente en las camas donde se ubica el cultivo. De igual forma se realiza la incorporación de los residuos vegetales del mismo cultivo, principalmente tallos y hojas.

Cuadro 1 Descripción general de los sitios productivos de rosa en Villa Guerrero, Estado de México.

Sitio	Comunidad	Años	Tipo de manejo	Área (m^2)	Prácticas agrícolas relevantes. Fertilización, control de plagas, entre otros.
1	Santa María Aránzazu	12	80% orgánico y 20% convencional	500	Triple 19 NPK, Composta, Ácidos húmicos y Ácidos fúlvicos, Lombriz composta.
2	Santa María Aránzazu	7	70% orgánico y 30% convencional	3500	Bioles, Estratos, Materia Orgánica (estiércol de ganado vacuno y ovino) y productos de etiqueta verde.
3	San Francisco	5	95% convencional y 5% convencional	900	Triple 16, abono con NPK, Productos de etiqueta verde.
4	San Mateo	6	90%convencional y 10% orgánico	875	Estiércol de ganado vacuno y ovino, lama, abono con NPK.
5	Buena Vista	2	90% convencional y 10% orgánico	1000	Estiércol de ganado vacuno, ovino, avícola, Nematicidas para suelo, NPK, ácidos húmicos y fúlvicos.
6	Ejido de Coapexco	3	95% convencional y 5% convencional	2500	Triple 16, NPK.
7	Buena Vista	4	90% convencional y 10 % orgánico	1500	Estiércol de ganado vacuno, ovino, avícola, Nematicidas para suelo, NPK, ácidos húmicos y fúlvicos.
8	San Felipe	10	90% convencional y 10 % orgánico	2000	NPK granulado, estiércol de vacuno y ovino
9	San Felipe	3	90% convencional y 10 % orgánico	1700	Estiércol avícola, vacuno, abonos inorgánicos, UREA, fosfonitrato, nitrato de calcio, manganeso, azufre.

Aunque no se puede comparar en su totalidad estos resultados con otras investigaciones debido a diferentes aspectos como el periodo de evaluación, así como al tipo de suelo de origen, clima, cultivo y forma de manejo (Lok *et al*., 2013), se observa que los valores de COS obtenidos fueron mayores a los reportados en sistemas como pastizales (Castañeda-Martin y Montes-Pulido, 2016). Respecto a otros sistemas agrícolas como maíz los valores están dentro de lo reportado (Marcos et al. 2015). En el segundo sitio de esta misma comunidad se tiene un 70% de manejo orgánico y un 30% convencional en donde se utiliza mayoritariamente productos químicos de etiqueta verde y aplicación de estiércol vacuno. Cabe destacar que los sitios donde se encontró un porcentaje de COS mayor al 4% pero que tienen un manejo mayormente convencional se debió a una reciente incorporación de algún abono orgánico commercial, que aplican pero no de manera constante.

Conclusiones

Se concluye que la producción de rosa en Villa Guerrero es en promedio 90% convencional, aunque se aplica materia orgánica principalmente en forma de estiércoles, esta práctica en la mayoría de los sistemas no es constante.
El contenido de COS depende de la forma de producción por lo que fomentar prácticas como la incorporación de los residuos de cosecha o compost, contribuiran a la conservación de la calidad fisica y química del suelo, favoreciendo la productividad de los sistemas.

Referencias

Bojorquez, J. I., L. Castillo, A. Hernández, J. García y A. Madueño. 2015. Cambios en las reservas de carbono orgánico en suelo con diferentes coberturas. Cultivos Tropicales 4: 63-69.

Castañeda-Martin, A. y E. Montes- Pulido. 2016. Carbono almacenado en paramo andino. Cienc. Agr.13:2010-2021.

Lok, S., S. Fraga, A. Noda y M. Garcia. 2013. Almacenamiento de carbono en el suelo de tres sistemas ganaderos tropicales en explotación con ganado vacuno. Rev. Cub. Cien. Agríc. 47:75-82

Marcos, B., A.R. Martínez, G.A., C.A. López y T.T. Arteaga. 2017. La biomasa de los sistemas productivos de maíz nativo (Zea mays) como alternative a la captura de carbono. Int. Contam. Ambie. 32:361-367.

Nava, E., V. Constante, J.L. Salazar, M.I. Guerra, K. Santellanez, G. González, J.A Muñoz, 2017. Efecto de la aplicación de composta y vermicomposta en el potencial de secuestro de carbono ede suelos agrícolas del norte-centro de México. Agrofaz. 17:137-147

Quintín, C., J.C. Montoya, I. Enrique. 2015. Liberación de CO_2 a la atmosfera por actividad rizosférica de diferentes cultivos en zona cafetalera del departamento del Cauca. Rev. Mex. Ciencias Agricola. 32(2):68-79.

Zhang, L., Q. Zhuang, Y. He, Y. Liu, D. Yu, Y. Zhao, Z. Shi, S. Xing, and G. Wang. 2016. Toward optimal soil organic carbon sequestration with effects of agricultural management practices and climate change in Tai-Lake paddy soils of China. Geoderma, 272: 28-39.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN CÁRCAVAS.

Hernández-Sánchez, J.M.D.[1]; Martínez-Menez M.R.[1*]; Fernández-Reynoso, D.S.[1]; Figueroa-Sandoval, B.[2]; Rubio-Granados, E[1].

1. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Montecillo, Estado de México, México.
2. Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Salinas de Hidalgo, S. L. P.

*Autor responsable: mmario@colpos.mx. Área de Manejo Integral de Cuencas. Postgrado de Hidrociencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Montecillo, Estado de México, México. CP: 56230. Tel: 01 55 5804 5900 Ext. 1213.

Resumen

En el ejido de Santo Domingo, Huasca de Ocampo, Hidalgo; debido a los cambios de uso de suelo, condiciones topográficas, geomorfológicas y el incremento de los escurrimientos, se ha propiciado la formación de cárcavas, provocando pérdida de la fertilidad del suelo y reducción de los terrenos agrícolas. El objetivo de esta investigación fue caracterizar la morfología de cárcavas y estimar su velocidad de avance lateral a nivel cárcava (AVc) y sección transversal (AVsc). Se seleccionaron dos cárcavas para el levantamiento topográfico de 20 secciones trasversales (SC). El área de las SC en ambas cárcavas, mostró un comportamiento similar, al disminuir aguas abajo. El ancho y profundidad media de la cárcava 1 fue de 15.73 y 3.73 m y de la cárcava 2 de 16.23 y 3.83 m. El 55% de las sc, obtuvieron un índice de forma (S_i) entre 0.4 y 0.6 (forma intermedia) y el 45% restante un $S_i < 0.4$ (forma "V"). El AVc de la cárcava 1 y 2 fue de 0.08 y 0.20 m/año respectivamente, y el AVsc varió de 0.11 a 0.53 m/año. La velocidad de avance lateral en la zona de estudio, se asocia al tipo de suelo (vertisol), que tiene una alta proporción de arcillas expandibles que propician la formación de grietas en la superficie, y aunado a la falta de cobertura vegetal, causan problemas de erosión remontante lateral e inestabilidad en los taludes de las cárcavas.

Palabras clave: erosión, cárcavas, morfología, velocidad de avance lateral, vertisol.

Introducción

El suelo es uno de los recursos de mayor importancia, y su conservación es esencial para la seguridad alimentaria y un futuro sostenible. Sin embargo, la erosión del suelo aumenta dia con dia; siendo su expresión más severa la erosión en cárcavas. El crecimiento de cárcavas es estimado como un incremento de su área y /o longitud a través del tiempo, evaluado mediante series de fotografías (Burkard y Kostaschuk, 1997). Martínez-Casasnovas *et al*., (2003), evaluaron el crecimiento lateral en taludes (Anoia-Penedès, España), utilizando modelos de elevación digital y análisis de regresión logística, encontrando un retroceso de 0.2 m $año^{-1}$.

En el Estado de Hidalgo, se reporta que el 1.44 % de su superficie presenta afectación por cárcavas (INEGI, 2014). En el ejido de Santo Domingo (Huasca de Ocampo, Hidalgo), los terrenos de uso forestal se convirtieron en terrenos de uso agrícola, que debido a las condiciones topográficas, geomorfológicas y el incremento de los escurrimientos, dio lugar a la formación de cárcavas, provocando pérdida de la fertilidad del suelo y reducción de los terrenos agrícolas. El objetivo de esta

investigación fue determinar los factores que favorecen la estabilidad de taludes en cárcavas, a través de la evaluación de variables de cobertura vegetal, características topográficas, y propiedades físico-químicas y mecánicas del suelo; sin embargo, en este primer documento sólo se muestra la caracterización morfológica y la velocidad de avance lateral de las cárcavas.

Materiales y Métodos

El área de estudio se localiza en la porción sur de la cuenca del Río Seco, aledañas a la corriente intermitente que forma parte de la red de drenaje del río Metztitlan, Hidalgo. En el área de estudio se seleccionaron dos cárcavas para su caracterización; la cárcava 1 se ubicó en las coordenadas geográficas 20°09'30.16" y 20°09'26.07" de Latitud Norte; 98° 29' 09.96" y 98° 29' 19.99"de Latitud Oeste, y la cárcava 2 en las coordenadas 20°08'55.57" y 20° 8' 53.26"de Latitud Norte; 98° 29' 32.31" y 98° 29' 32.95" de Latitud Oeste. La cuenca que comprende a ambas cárcavas, se encuentra al sur del municipio de Huasca de Ocampo, en una porción del Ejido de Santo Domingo, a 2360 msnm. El clima es templado sub-húmedo con una precipitación y una temperatura media de 862 mm y 17 °C. El tipo de suelo dominante es vertisol crómico, asociado a agricultura de temporal, bosque de encino y vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino.

En las cárcavas seleccionadas se realizó el levantamiento topográfico de 20 secciones trasversales (5 secciones transversales en la cárcava 1 y 15 en la cárcava 2), con una estación total SOKIA SET 630RK3. La información se procesó con el software AutoCAD Map 3D 2013, y se calcularon las siguiente covariables: área de la cárcava, longitud de la cárcava, pendiente del lecho, área de la sección, ancho de la sección (W_t), profundidad media de la sección (D) e índice de forma de la sección (Si). El índice de forma se calculó de acuerdo a la fórmulas propuesta por Qingchun (2015). La velocidad de avance lateral se determinó a nivel de cárcava (AVc) y sección transversal (AVsc). La AVc se estimó mediante la diferencia de áreas de una ortofoto digital de 1995 (INEGI, 1995) y una imagen satelital de 2016 (Google Earth, 2016), dividida entre la longitud de la cárcava y los años del periodo comprendido de 1995 a 2016. La AVsc se calculó mediante la diferencia entre W_t de cada sección transversal obtenido en el levantamiento topográfico (2017) y la ortofoto digital de 1995, dividida entre el periodo comprendido de 1995 a 2017.

Resultados y Discusión

Caracterización de las cárcavas

La cárcava 1 presentó un área de drenaje de 0.72 ha, considerada por su forma de tipo "bulbosa" [ancha en su parte superior y lineal en la parte baja, que al irse desarrollando da origen a una cárcava de tipo dendrítico, Ireland (1939)], tiene una longitud de 256.77 m, una profundidad media de 3.73 m y una pendiente del lecho de 2.2 % (Figura 1a). De acuerdo a su profundidad, la cárcava se consideró grande y en relación a su área de drenaje (25.24 ha), mediana. El área promedio de las secciones transversales varío de 17.6 a 45.5 m^2, siendo mayor aguas arriba y disminuyendo aguas abajo de la cárcava. El ancho y profundidad variaron de 10.8 a 21.06 y de 2.10 a 4. 8 m (Cuadro 1).

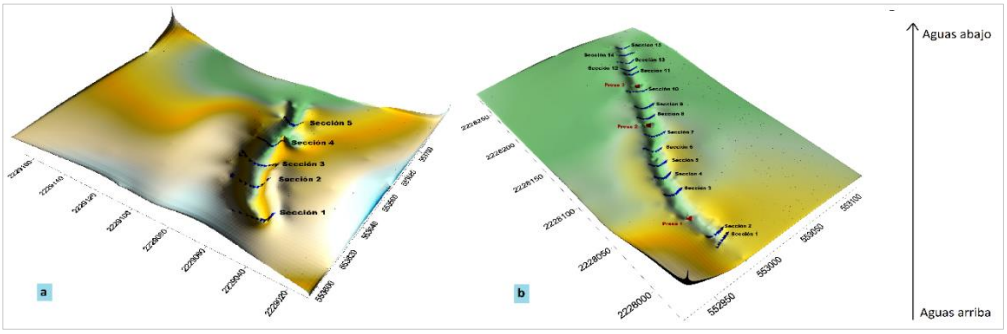


Figura 1. Ubicación de las secciones transversales: a) Cárcava 1; b) Cárcava 2.

La cárcava 2 (Figura 1b) de tipo lineal [larga y con cabeza angosta, de pocos tributarios en sus costados y asociada al laboreo en el sentido de la máxima pendiente y a la inadecuada canalización del agua (Ireland, 1939)], con un área de 0.65 ha, una longitud de 370.11 m, una profundidad media de 3.83 m y una pendiente del lecho es de 3.97 %. Se clasificó como una cárcava grande de acuerdo a su profundidad y área de drenaje (74 ha). El área de las secciones trasversales aumento aguas abajo de la cárcava, vario de 14.2 a 21.5 m^2; la profundidad y el ancho de la sección transversal variaron de 2.3 a 4.86 y 12.79 a 20.25 m respectivamente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Covariables determinadas por sección en cárcava 1 y 2.

Cárcava	Sección	Área de la sección (m^2)	Ancho de sección (m)	Profundidad media (m)	Índice de forma (S_i)	Clasificación
1	1	45.26	16.30	4.80	0.36	v
	2	42.22	16.85	4.57	0.41	u-v
	3	45.50	21.06	3.74	0.43	u-v
	4	23.83	13.63	3.42	0.31	v
	5	17.16	10.81	2.10	0.56	u-v
Promedio	-	34.79	15.73	3.73	0.41	-
2	1	20.31	12.79	2.64	0.46	u-v
	2	44.90	14.86	4.39	0.50	u-v
	3	42.79	15.86	4.28	0.42	u-v
	4	37.93	13.34	4.80	0.37	v
	5	42.83	14.99	4.53	0.39	v
	6	44.00	15.04	4.86	0.38	v
	7	50.43	18.05	4.28	0.47	u-v
	8	48.75	16.75	4.33	0.50	u-v
	9	46.95	17.47	4.05	0.48	u-v
	10	40.85	20.25	2.74	0.46	u-v
	11	35.53	15.47	3.81	0.36	v
	12	35.80	16.16	3.61	0.40	u-v
	13	36.28	17.39	3.52	0.39	v
	14	29.09	19.00	2.30	0.32	v
	15	35.83	16.03	3.30	0.54	u-v
Promedio	-	39.48	16.23	3.83	0.43	-

Forma de la sección trasversal: U = S_i > 0.6, relacionado con una forma en "U"; V = S_i < 0.4, relacionado con una forma en "V"; U-V = S_i entre 0.4 - 0.6, relacionado con una forma intermedia.

El ancho de una cárcava no es uniforme, ya que aumenta constantemente aguas abajo, disminuyendo aguas arriba (Heede, 1970), o, alcanzar un máximo en su longitud media para volver a descender a un mínimo relativo aguas abajo (Poesen y Govers, 1990). Para las cárcavas de estudio, la cárcava 1, mostró un ancho mayor aguas arriba en comparación aguas abajo; mientras que para la cárcava 2, se alcanzó un máximo alrededor de su longitud media y disminuyó nuevamente aguas abajo.

Respecto al S_i, la cárcava 1, tuvo una media de 0.41, con variaciones de 0.31 a 0.56; mientras que la cárcava 2 mostró un promedio de 0.43, con variaciones de 0.32 a 0.54. El 55% de las 20 secciones transversales, obtuvieron un S_i entre 0.4 y 0.6 (forma intermedia) y el 45% restante un $S_i < 0.4$ (forma "V"). Las secciones transversales con forma "V", suelen formarse en suelos donde el subsuelo es más resistente que la capa superior de este y donde existe la presencia de altos contenidos de arcilla y sodio (Rowntree, 1991; Qingchun, 2015), favoreciendo el escurrimiento.

Avance lateral de las cárcavas y secciones transversales

Las cárcavas presentan un crecimiento lateral (AVc), a pesar de que en ambas existe la presencia de presas de control de azolves. El AVc de la cárcava 1, fue de 0.08 m año^{-1}, aumentando su superficie 456.85 m^2 durante el periodo comprendido del 1995 a 2016, observando que la cárcava incrementan principalmente en su margen izquierdo, así como en su cabecera (Figura 2a). Por su parte, la cárcava 2, presentó una AVc de 0.20 m año^{-1}, con un incremento de 1548.64 m^2, es decir 31.5 % de su superficie inicial (año 1995); mostrando un incrementó en ambos márgenes (Figura 2b).

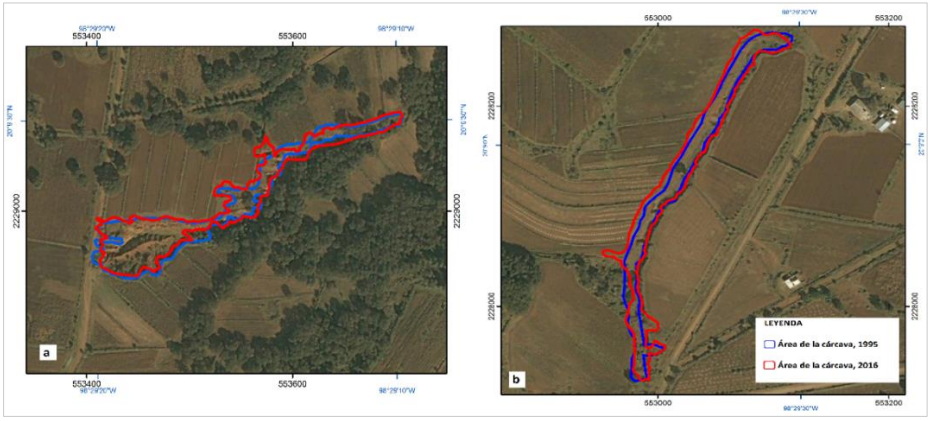


Figura 2. Evolución de la superficies de la cárcavas durante 1995-2016: a) Cárcava 1; b) Cárcava 2.

El AVsc para la cárcava 1 muestra un máximo en la sección 3 y un mínimo en la sección 5, con un avance de 0.53 y 0.13 m año^{-1}. Mientras que para la cárcava 2 se obtuvo un máximo y un mínimo de 0. 29 y 0.11 m año^{-1} (Cuadro 3).

Cuadro 3. Avance lateral de secciones trasversales, cárcava 1 y 2.

Car	1					2														
Sc	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
AvSc (m/año)	0.25	0.16	0.53	0.20	0.13	0.15	0.11	0.16	0.13	0.18	0.17	0.28	0.17	0.13	0.28	0.16	0.20	0.27	0.29	0.13

El avance lateral de las cárcavas, está asociado al tipo de suelo presente en el área de estudio, ya que al ser vertisol crómico de textura media, tiene un factor de erodabilidad de 0.55 (t htons^{-1} pie^{-1} pulg^{-1}), siendo un suelo con baja resistencia y alta susceptibilidad a la remoción de partículas por el flujo del escurrimiento (Figueroa, 1991). Los vertisols tienen un alta proporción de arcillas expandibles que dan lugar a grietas profundas, favorecido en el área de estudio, durante los meses de noviembre a marzo, al presentarse un periodo de sequía que propicia la evaporación del

agua en los poros del suelo y con ello la formación de grietas en la superficie. Estas grietas pueden dar lugar a zonas susceptibles a problemas de erosión por "piping" y erosión remontante e inestabilidad en taludes con poca cobertura vegetal. El predominio de arcillas expandibles en los vertisols, propician un estrecho rango de humedad del suelo entre estrés de humedad y exceso de agua, que en conjunto con la resistencia mecánica del suelo a la penetración de raíces, impiden el desarrollo de la vegetación sobre los taludes de las cárcavas, exponiéndolos a procesos erosivos.

Conclusiones

En el área de estudio, el avance lateral de las cárcavas sobre vertisols es mayor en la parte alta, dando lugar a la presencia de erosión remontante, influenciada por los ciclos de expansión y contracción de las arcillas que dan lugar a la formación de grietas, modificando la estructura del suelo y disminuyendo su resistencia a la erosión; por lo que es necesario propiciar el desarrollo de la vegetación sobre taludes y realizar cabeceo de cárcavas, a fin de favorecer la estabilización y reducir el avance lateral de las cárcavas.

Referencias

Burkard, M.B. and and R. A. Kostaschuk. 1997. Patterns and controls of gully growth along the shoreline of lake Huron. Earth Surface Processes and Landforms 22: 901–91.

Figuera S.B., A. Amante, H.G. Cortes, J. Pimentel, E.S. Osuna, J.M. Rodríguez y J.F. Morales. 1991. Manual de producción de pérdidas de suelo por erosión. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulcos. Colegio de Postgraduado. México. 91 pp.

Google Earth. 2016. Imagen de satélite de Ejido de Santo Domingo, Huasca de Ocampo, Hidalgo. México.

Govers, G. W. Everaert, J. Poesen, G. Rauws, J. De Ploey and J.P. Lautridou. 1990. A long flume study of the dynamic factors affecting the resistance of a loamy soil to concentrated flow erosion. Earth Surface Processes and Landforms 15: 313-328.

Heede, B.H. 1970. Morphology of gullies in the Colorado rocky mountains. International Association of Scientific Hydrology. Bulletin 15 (2): 79-89.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2014. Erosión de suelos en México. Boletín de prensa núm. 295/14: 18pp.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1995. Orotofoto digital.

Ireland, H A., C. F. S. Sharpe and D.H. Eargle. 1939. Principles of gully erosion in the piedmont of South Carolina. U. S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Technical Bulletin 633. 143 pp.

Martínez-Casasnovas. 2003. A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion. Catena 50: 293-308.

Qingchun, D., Q. Fachao., B. Zhang., H. Wang., M. Luo., C. Shu., H. Lui and G. Lui. 2015. Characterizing the morphology of gully cross-sections based on PCA: A case of Yuanmou Dry-Hot Valley. Geomorphology 228: 703-713.

Rowntree, K. M. 1991. Morphological Characteristics of Gully Networks and their Relationship to Host Materials, Baringo District, Kenya GeoJournal 23 (1): 19-27.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

PRODUCCIÓN DE MAÍZ FORRAJERO CON DOS SISTEMAS DE ESTERCOLADO EN BASE A NECESIDADES NUTRIMENTALES

Buendía-García Alain[1]; Cueto-Wong J.A.[2]; Figueroa-Viramontes U.[2]; Urbina-Martínez M.A.[1]; Reta-Sánchez D.G.[2]; Luna-Anguiano J[1].

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez km 1.5 y carretera a santa fe s/n. Torreón, Coah., México.
[2]Campo Experimental La Laguna-INIFAP. Blvd. José Santos Valdez 1200 Pte., Col. Centro, Matamoros C. P. 27440, Matamoros Coahuila. Tel: 01 871 182 30 70.

*Corresponding Author: drlunajesusluna@gmail.com Tel: 8711633515

Introducción

En la agricultura moderna es absolutamente necesario el uso de agroquímicos para mantener altos rendimientos en los cultivos. La fertilización nitrogenada es el nutrimento de mayor demanda y el más limitante para los cultivos, (Menezes *et al*., 2013; González Torres *et al*.,2016). Actualmente, el costo de los fertilizantes y su aplicación puede representar del 20 al 40% del costo de producción de cultivos forrajeros, los cuales constituyen uno de los principales insumos para la alimentación del ganado bovino. La práctica más común en el manejo de estiércol es la aplicación de dosis mayores de 80 Mg ha^{-1} (Fortis *et al*., 2009), en adición a dosis convencionales de fertilizantes químicos. El manejo eficiente de los fertilizantes nitrogenados en los sistemas de producción agrícolas es fundamentales para evitar aplicaciones excesivas, evitando riesgos potenciales de contaminación al medio ambiente, sin disminuir la rentabilidad del cultivo (Fallah y Tadayyon, 2010; Cueto *et al*., 2013). En México, el sustrato más utilizado para la producción de cultivos es el estiércol de bovino, (Ocampo *et al*., 2005). Una vaca genera aproximadamente 6.5 kg dia^{-1} de estiércol en base materia seca (Sylla, 2011), las estimaciones para la Comarca Lagunera son de 464,086 cabezas de ganado lechero (Figueroa *et al.*, 2009; SIAP, 2015), las cuales generan aproximadamente 1, 101, 000 Mega gramo por año, (Mg $año^{-1}$) de estiércol base seca (MS), con una aportación promedio de N de 1.6% con base a peso seco o 14 800 Mg $año^{-1}$ (Figueroa *et al*., 2009). Sin embargo, hay muy pocos antecedentes donde se analice el desempeño económico de tratamientos de fertilización con estiércoles a largo plazo (Schoney, 1985; Zentner y Campbell, 1988; Ferraris *et al*., 2015), especialmente con enfoque al manejo de la fertilización en base al rendimiento esperado y la sustentabilidad. Sagarpa (2014), en la Comarca Lagunera, se establecieron cerca de 30,000 hectáreas (has) de maíz forrajero en el periodo de primavera-verano. El incremento en la demanda de alimentos constituye un desafío constante el cual ha obligado al sector agrícola a generar nuevas tecnologías que permitan aumentar el rendimiento por unidad de superficie y la calidad (Godfray *et al*., 2010). En este sentido el objetivo de esta investigación fue evaluar la factibilidad de sustituir en su totalidad el fertilizante nitrogenado por estiércol de corral o estiércol de un separador de solidos de un biodigestor anaeróbico en la producción de maíz forrajero, en dosis estimadas mediante un balance de N para cubrir el requerimiento del cultivo.

Materiales y Métodos

Localización del área experimental

El experimento se estableció en el área agrícola de Granja Porvenir, en el kilómetro 21, carretera Gómez Palacio – Fco. I Madero, ubicada en el Municipio de Fco. I. Madero Coahuila, se localiza en las coordenadas 25º 27' 2.46'' Norte y 103º 18' 56.32'' Oeste.

Factores de estudio

Para la determinación de los tratamientos en estudio se calcularon las cantidades de estiércol por aplicar en base a los rendimientos esperados de materia seca de forraje de maíz para verano (13 Mg ha^{-1}) y para primavera (18 Mg ha^{-1}), utilizando la ecuación para estimar la cantidad de estiércol requerida de acuerdo a las cantidades de unidades de nitrógeno necesarias para la nutrición del cultivo:

$$\mathbf{N_{aprov} = D_{est} * \% M.S.* \%N_{tot} *0.45 *10* Efic}$$

Dónde: $\mathbf{N_{aprov}}$=Nitrógeno aprovechable, $\mathbf{D_{est}}$= Dosis de Estiércol (Mg ha^{-1}), **MS**= % de materia seca, $\mathbf{N_{tot}}$= % de Nitrógeno total en estiércol,**0.45**=Constante de mineralización del nitrógeno, **Efic**= Eficiencia del uso de nitrógeno: Riego por gravedad 60%, riego por aspersión 70%, (Figueroa, 2011) y para la extracción unitaria de N se consideró 14 kg Mg^{-1} de MS, (Nuñez et al., 2006).

Los tratamientos se establecieron con un diseño de bloques al azar y 8 repeticiones en 2014, los tratamientos fueron: ESSB. - Estiércol del separador de solidos de un biodigestor (229 Mg ha^{-1}), ESC.- Estiércol de corral (58 Mg ha^{-1}), FQ. -Fertilizante químico (182-80-00) y un T.- Testigo sin aportación de nutrientes, para el ciclo de primavera en 2015 los tratamientos fueron, ESSB. -(318 Mg ha^{-1}), ESC.- (101 Mg ha^{-1}), FQ. - (252-80-00) y T.- sin aportación de nutrientes. El área total experimental constó de ocho tendidas con 20 m de ancho de centro a centro de bordo y 40 m de largo, en cada tendida se establecieron 24 surcos a 0.76 m de distancia entre hileras, cada unidad experimental midió 20 m de ancho por 10 m de largo. La parcela útil para la evaluación del rendimiento de forraje verde y seco se cosecho una distancia total de 16 m lineales, los cuales correspondieron a los 2 surcos centrales de cada unidad experimental.

Variables evaluadas en planta

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño en bloques al azar con 8 repeticiones. Se midió la altura final de planta (AP), altura de mazorca (AM) al final del ciclo, en una parcela útil de dos surcos centrales por 8 m de largo, en cada tratamiento para esto se utilizó un estadal de 3 m. Para la evaluación del rendimiento de forraje verde se cosecharon todas las plantas contenidas en dos surcos centrales por 8 metros de longitud resultando una superficie de 6.08 m^2 o 16 m lineales. Para ello se pesaron todas las plantas utilizando una báscula de reloj con capacidad de 20 kg, se midió rendimiento de forraje verde (FV) y forraje seco (FS). Para evaluar el % materia seca (MS), se cosecharon tres plantas por tratamiento a las cuales se les determino su peso en verde, se cortaron en trozos y se colocaron en bolsas de papel perforadas, se dio un pre-secado bajo una estructura de invernadero y posteriormente se le dio el secado final en una estufa a una temperatura de 65-70 ºC por un tiempo de 72 h o bien hasta llegar a peso contante. Posteriormente se obtuvo el peso seco y con la diferencia del peso verde de las muestras se calcula el porcentaje de materia seca, para obtener el rendimiento en materia seca se multiplico el rendimiento en verde por el porcentaje de materia seca obtenido. Para

evaluar la extracción de nutrientes se utilizaron las muestras secadas y tamizadas de tres plantas por tratamiento. Para ello se determinaron las concentraciones foliares de nitrógeno total se determinó con el método Kjeldhal, el fósforo y potasio por fotometría de flama (Chapman y Parker, 1986), carbono total, magnesio, fierro, manganeso, cobre, zinc, boro y relación carbono-nitrógeno. Para los análisis bromatológicos se envió una muestra a un laboratorio particular en donde se determinó proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), fibra detergente neutro libre de cenizas y cenizas con química húmeda. Los carbohidratos no fibrosos (CNF), nutrientes totales digestibles (NTD) y energía neta de lactancia (ENL) se determinaron mediante fórmulas.

Resultados y Discusión

Rendimiento

En el ciclo de verano 2014, según el análisis del ANDEVA no se presentaron diferencias significativas (P >0.05) en los rendimientos de forraje verde y seco, igualmente para materia seca, altura de planta y mazorca al momento de cosecha, las alturas de planta oscilaron entre 247 y 229 cm presentando la máxima el tratamiento de fertilización química, el mayor rendimiento de materia seca se obtuvo con el tratamiento de estiércol del separador de sólidos con 12, 733 kg ha^{-1} y el menor fue de 11, 322 kg ha^{-1}en el tratamiento de fertilización química. En estudios realizado con el mismo enfoque (Figueroa *et al.,* 2010; Castellanos-Ramos *et al.,* 2000) encontraron que la falta de respuesta al estiércol en el primer año se debió a que el N residual inicial estuvo en un nivel medio con 36.5 mg kg^{-1} (Características de suelo y estiércoles).
En el ciclo 2015, los rendimientos en verde y en seco, la altura de planta y de mazorca fueron estadísticamente iguales entre los tratamientos. Estos resultados coinciden con otros autores (Trejo *et al.,* 2013; Lithourgidis *et al.,* 2007), en estudios con un enfoque similar de sustituir N del fertilizante por estiércol, no registraron diferencias significativas, entre el testigo sin fertilizar y la aplicación de estiércol o fertilizante en los dos primeros años de estudio, sino hasta el tercer y cuarto año de evaluación. Por su parte Luna Anguiano *et al.,* (2018), reportan rendimientos de maíz forrajero con aplicación de estiércol bovino solarizado y hongos micorrízicos arbusculares en surcos estrechos con riego por goteo con rendimientos de 88.5 Mg ha^{-1} de forraje verde con dosis de 80 Mg ha^{-1} de estiércol solarizado.

Calidad de forraje

Solo se realizó para el ciclo 2015 encontrando diferencia no significativa entre los tratamientos (p>0.05). Para la proteína cruda (PC) oscilo de 8.65 a 9.31 %, la fibra acido detergente (FDA) oscilo de 21.41 a 24.66 % la fibra neutro detergente oscilo (FDN) de 40.3 a 44.39 % y la energía neta de lactancia (ENL) oscilo de 1.45 a 1.5 %. Los resultados encontrados concuerdan con los reportados por Núñez et al. (2015), en un estudio con híbridos de maíz de grano amarillo evaluados en el ciclo de primavera, que el porcentaje de proteína cruda varió de 6.75 a 8.15 % con una media de 7.23 % (p<0.05). En relación a las fracciones fibrosas, en concentración de fibra detergente acido, los híbridos tuvieron una variación de 16.56 a 30.92 % con media de 25.00 %. En concentraciones de fibra detergente neutro, se observaron variaciones de 27.47 a 51.06 % con media de 41.80 %.

Conclusiones

Es factible prescindir de la fertilización química convencional y orgánica hasta por dos ciclos de cultivo de maíz forrajero sin afectar su rendimiento ni la calidad cuando se tiene tan elevada disponibilidad nutrimental como la que se tuvo antes de la siembra en el suelo del sitio experimental. Lo anterior plantea la posibilidad real no solo de ahorrarse los gastos de fertilizantes y fertilización, sino contribuir a reducir de manera significativa el riesgo de emitir nitrógeno a la atmósfera por desnitrificación microbiológica o al subsuelo por lixiviación.

Referencias

Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle y A. Aguilar S. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. Instituto Nacional de Capacitación para la productividad Agrícola (INCAPA). Celaya, Gto., México.

Celaya-Michel, Hernán, Castellanos-Villegas, Alejandro E., MINERALIZACIÓN DE NITRÓGENO EN EL SUELO DE ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS. Terra Latinoamericana 2011, 29. Disponible en:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57321283013> ISSN

Cueto-Wong, J. A.; Reta-Sánchez, D. G.; Figueroa-Viramontes, U.; Quiroga-Garza, H. M.; Ramos-Rodríguez, A. y Peña-Cabriales, J. J. 2013. Recuperación de nitrógeno aplicado en forma fraccionada en maíz forrajero utilizando 15N. Ingeniería Agrícola y Biosistemas. 5:11-16.

De-Menezes, L. F. G.; Ronsani, R.; Pavinato, P. S.; Biesek, R. R.; Da-Silva, C. E. K.; Martinello, C. e Da Silveira, M. F. 2013. Produção, valor nutricional e eficiências de recuperação e utilização do nitrogênio de silagens de milho sob diferentes doses de adubação nitrogenada. Semina: Ciências Agrárias. 34:1353-1362.

Fallah, S. and Tadayyon, A. 2010. Absorción y eficiencia del nitrógeno en maíz forrajero: efectos del nitrógeno y la densidad de población. Agrociencia. 44:549-560.

Ferraris, GN; M Toribio; R Falconi & L Couretot. 2015. Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos, el balance de nutrientes y su disponibilidad en los suelos en el largo plazo. Pp. 137-142. En: FO García & AA., Correndo (eds). Actas del Simposio Fertilidad 2015: Nutriendo los Suelos para las Generaciones del Futuro. 19-20 de mayo de 2015. Rosario, Santa Fe, Argentina. IPNI-Fertilizar AC. ISBN 978-987-24977-6-7.

Figueroa V. U., M. Flores O., y M. Palomo R. 2003. Uso de biosólidos en suelos agrícolas. Folleto técnico No. 3. INIFAP-Campo Experimental Valle de Juárez. 17 p.

Figueroa, V.U. y J.A. Cueto W. (2003). Uso sustentable del suelo y abonos organicos. En: E. Salazar S., M. Fortis H. y A. Vazquez A. (Eds.). Abonos Organicos y Plasticultura. FAZ-UJED, SMCS. Gomez Palacio, Dgo., Mexico. pp. 1-22.

Figueroa, V.U., G. Nunez H., J.A. Delgado, J.A. Cueto W. y J.P. Flores M. (2009). Estimacion de la produccion de estiércol y de la excrecion de nitrogeno, fosforo y potasio por bovino lechero en la comarca lagunera. En: I. Orona C., E. Salazar S. y M. Fortis H. (Eds.), pp. 128-151. Agricultura Organica. 2a ed. FAZ-UJED, SMCS. Gomez Palacio, Dgo., Mexico.

Figueroa, V.U., J.A. Cueto, W., J.A. Delgado, G. Nunez, H., D.G. Reta, S., H.M. Quiroga, G., R. Faz, C. y J.L. Marquez, R. (2010). Estiercol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperacion aparente de nitrogeno en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana* 28: 361-369.Figueroa V., U., J. A. Delgado, J. A. Cueto W., G. Nuñez H., D. G. Reta S., and K. A. Barbarick. 2011. A new nitrogen index to evaluate nitrogen losses in intensive forage systems in Mexico. Agric. Ecosyst. Environ. 142: 352-264.

García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Editorial Offset Larios, S. A. México, D. F. 217 p.

Godfray, H. C. J. et al. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. Science 327, 812–818. 2010.

González T. A.; Figueroa-Viramontes, U.; Preciado R. P.; Núñez H. G.; Luna O. J. G. y Antuna G. O. 2016. Uso eficiente y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero en suelos diferentes. Rev. Mex. Cienc. Agr. 7 (2): 301-309.

Infostat. 2008. Software estadistico. Version actualizada 11-09-2017. Universidad Nacional de Córdoba http://www.infostat.com.ar

Luna-Anguiano, J.; Salazar S. E.; López M.J.D.; Valenzuela, G.A.A.; Orona. C.I. & García H.J.L.2018. Corn Forage Yield with Bovine Manure Solarized and Mycorrhiza. México. International Journal of New Technology and Research. 4 (2): 36-41.

Ocampo, F. C. 2005. Revision of the southern South American endemic genus Anomiopsoides Blackwelder.1944. Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae: Eucraniini with description of its food relocation behavior. Journal of Natural History, 39: 2537–2557.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2014. Delegación Comarca Lagunera. http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/laguna/informacion.htm.

Salazar-Sosa, E., H. I. Trejo Escareño, C. Vázquez-Vázquez y J. D. López-Martínez. 2007. Producción de maíz bajo riego por cintilla, con aplicación de estiércol bovino. Rev. Int. Bot. Exp. 76: 169-185.

SEMARNAT (2000). Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificacion de suelos, estudios, muestreo y analisis. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Schoney, RA. 1985. The economic impact of extended crop rotations on Saskatchewan grain farms. Analytical Division, Prairie Farm Rehabilitation Administration, University of Saskatchewan, Regina, Sask. Zentner, RP & CA Campbell. 1988. First 18 years of a long-term crop rotation study in Southwestern Saskatchewan: yields, grain protein and economic performance. Can. J. Plant Sci. 68(Jan): 1-21.

Naturales. http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/

Trejo-Escareño, Héctor Idilio, Salazar-Sosa, Enrique, López-Martínez, José Dimas, y Vázquez-Vázquez, Cirilo. 2013. Impacto del estiércol bovino en el suelo y producción de forraje de maíz. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 4(5), 727-738. Recuperado en 09 de noviembre de 2015, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007934201300050006&lng=es&tlng=es

Vázquez-Vázquez Cirilo., García-Hernández José Luis., Salazar-Sosa Enrique., López-Martínez José Dimas., Valdez-Cepeda Ricardo David., Orona-Castillo Ignacio., Gallegos-Robles Miguel Angel., Preciado-Rangel Pablo. 2011. Aplicación de estiércol solarizado al suelo y la producción de chile jalapeño (Capsicum annuum L.). Revista Chapingo serie horticultura 17 (Especial 1): 69-74, 2011.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS QUE INCIDEN EN LA FERTILIDAD DE SUELOS BAJO CULTIVO DE *Prunus persica* (L.) Batsch

Chávez-Gómez, J.A.[1]; Vázquez-Cuecuecha, O.G.[1]; López-López, A.[2]; García-Gallegos, E.[1*]

[1]Maestría en Ciencias en Sistemas del Ambiente. Centro de Investigación en Genética y Ambiente. Universidad Autónoma de Tlaxcala, Tlaxcala. México.
[2]Cátedra CONACyT. Centro de Investigación en Genética y Ambiente. Universidad Autónoma de Tlaxcala, Tlaxcala. México.

*Autor responsable: gallegoseg@hotmail.com; Av. Universidad No. 1, Col. La Loma Xicohtencatl, Tlaxcala. CP. 90000. Tel. 01 248 48 1 55 00.

Resumen

Las variables edáficas relacionadas con la fertilidad aportan información importante acerca de lo que se puede esperar con respecto a la disponibilidad de nutrimentos, el potencial productivo y las prácticas de manejo. El objetivo de la investigación fue evaluar las propiedades fisicoquímicas que intervienen en la fertilidad de suelos con árboles de durazno. Los resultados indicaron que en los suelos predomina la fracción arena y tienen cierto grado de compactación por el valor mayor a 1 g cm^{-3} que establece la normatividad mexicana para suelos volcánicos. El pH fue neutro (6.5 a 7.3), el contenido de materia orgánica y carbono orgánico fue muy bajo (0.61 a 1.01 y 0.33 a 0.59 % respectivamente); existen pocos sitios de intercambio catiónico, dado por los valores bajos de la capacidad de intercambio catiónico, finalmente existe un efecto despreciable de sales. Los resultados de la investigación permitirán a los productores conocer la condición del suelo en cuanto a las variables analizadas, con lo cual podrán ir diseñando estrategias de manejo para poder implementarlas.

Palabras clave:
Durazno; Parámetros edáficos; Prunus persica (L.) Batsch.

Introducción

El durazno [*Prunus persica* (L.) Batsch] es una drupa de 4 a 10 cm de diámetro, de colores rojizos y amarillos (de acuerdo a la variedad) con forma ovoide y puede presentar exocarpo tomentoso (Cárdenas y Fischer, 2013). En México las principales entidades federativas productoras de durazno son: Zacatecas, Michoacán y Estado de México; Tlaxcala ocupa el noveno lugar como productor a nivel nacional y el municipio con mayor extensión sembrada es Altzayanca (Valencia, 2016). El duraznero es uno de los frutales comúnmente sembrados en zonas de trópico alto (o clima frío), debido a que posee ventajas comparativas con los que se siembran en las zonas templadas (Pinzón *et al.*, 2014).

La evaluación de la fertilidad del suelo es útil para valorar su capacidad productiva, esclarecer los factores edáficos que pueden limitar dicho potencial, y establecer diversas prácticas de manejo (Castellanos *et al.,* 2000). Existen variables químicas y físicas que están indirectamente relacionadas con la fertilidad del suelo, cada una de ellas en lo particular y todas en su conjunto proporcionan información de lo que se puede esperar con respecto a la disponibilidad de un nutrimento en particular o de varios de ellos (González y Trejo, 2008); dentro de dichas variables químicas se encuentran la reacción del suelo (pH), el contenido de materia orgánica y carbono orgánico, la conductividad eléctrica además de la capacidad de intercambio catiónico. Específicamente, la materia orgánica es considerada la propiedad química más importante en el suelo y tiene un efecto positivo en los sistemas productivos (Lavado, 2006). Dentro de las variables físicas se encuentran la textura del suelo y la densidad aparente; las cuales intervienen en la porosidad para un buen desarrollo de las raíces. Para el duraznero el contenido de materia orgánica es prioritario, Montes *et al*. (2016) reportan que el suelo debe tener de 3 a 4 % para un adecuado desarrollo del frutal. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue determinar algunas propiedades químicas y físicas que influyen en la fertilidad de suelos cultivados con *Prunus persica* (L.) Batsch. en el municipio de Altzayanca, Tlaxcala.

Materiales y Métodos

El área de estudio se ubica en parcelas (Cuadro 1) en la comunidad de Concepción Hidalgo perteneciente al municipio de Altzayanca, Tlaxcala, localizado en las coordenadas geográficas entre los 19° 26' latitud norte y 97° 48' longitud oeste. Fueron proporcionadas 11 parcelas cultivadas con *Prunus persica* (L.) Batsch var. Escarcha. De cada parcela se tomaron de 6 a 10 muestras simples de suelo en época de latencia frutal y sequía, a una profundidad de 0-40 cm en zig-zag. Las muestras de suelo se colocaron en bolsas de plástico, se etiquetaron y trasladaron al laboratorio para su preparación. Cada muestra se colocó sobre papel Kraft para que a temperatura ambiente y a la sombra se secaran; posteriormente, se pasaron por un tamiz de malla 2 mm para obtener un tamaño de partícula homogéneo, todo lo anterior se llevó a cabo conforme a la NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002). A cada muestra de suelo se le determinó: pH, en una suspensión de suelo: agua (1:2 p/v) (Jackson, 1976); conductividad eléctrica de acuerdo con Álvarez y Marín (2011); el porcentaje de materia orgánica, por el método de Walkley-Black, así como el contenido de carbono orgánico (Jackson, 1976; Rodríguez y Rodríguez, 2002); la capacidad de intercambio catiónico de acuerdo a Fuentes (1971); textura, por el hidrómetro de Bouyoucos (Rodríguez y Rodríguez, 2002); densidad aparente y el porcentaje de porosidad de acuerdo a Hernández (2007). A los datos se les aplicó un análisis de varianza, comparación de medias por el método Tukey ($p<0.05$) empleando el software Info Stat versión 8 (Di Rienzo *et al*., 2008).

Cuadro 1. Localización, superficie y manejo de las parcelas con *P. persica* (L.) Batsch var. Escarcha en el municipio de Altzayanca, Tlaxcala.

Parcela	Coordenadas geográficas	Altitud (msnm)	Superficie (ha)	Manejo
1	N 19°20’40.93’’ O 97°49’28.50’’	2562	0.59	Ri, S y FQ
2	N 19°23’38.40’’ O 97°49’35.20’’	2602	0.90	Ri, S y FQ
3	N 19°23’38.40’’ O 97°49’33.20’’	2604	0.27	Ri, S y FQ
4	N 19°23’31.80’’ O 97°49’34.30’’	2602	0.74	Ri, S, MA y FQ
5	N 19°23’32.10’’ O 97°49’39.40’’	2598	1.1	Ri, S y FQ
6	N 19°23’31.80’’ O 97°49’34.30’’	2602	0.88	Ri, S y FQ
7	N 19°23’26’’ O 97°49’44.60’’	2599	0.31	Ri, S y FQ
8	N 19°23’26.60’’ O 97°49’44.50’’	2599	0.30	Ri, S y FQ
9	N 19 23’28’’ O 97°49’55’’	2591	2.2	T, Te, y CM
10	N 19°23’38’’ O 97°49’53.9’’	2576	0.56	Ri, S y FQ
11	N 19°23’40.6’’ O 97°49’53.5’’	2567	0.16	Ri, S y FQ

*Ri: De riego; T: De temporal; S: Surco; Te: Terrazas; CM: Control de malezas; MA: Malla antigranizo; FQ: Fertilización química.

Resultados y Discusión

De acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002) el pH fue neutro (6.5 a 7.3); la parcela 10 presentó diferencia significativa con respecto a las demás parcelas ($p<0.05$) (Cuadro 2). Borges *et al.* (2012) mencionan que los suelos con un pH neutro tienen mayor disponibilidad de nutrimentos como N, K, S, Ca, Mg y P. Torres *et al*. (2008) reportan que el pH en suelos cultivados con duraznero fluctúo de 4.9 a 6.4, inferior a lo encontrado en las diferentes parcelas de Altzayanca. El contenido de materia orgánica en todas las parcelas analizadas es muy bajo (0.61 a 1.02 %) según al valor de referencia para suelos volcánicos de México de la NOM-021; además, no se presentan diferencias significativas entre parcelas (Cuadro 2). Los autores anteriores encontraron que en suelos con *Prunus persica* (L.) Batsch hubo un porcentaje de materia orgánica de 0.11 a 0.88 %; mientras que Santiago y Cortés (2008) reportaron que el contenido de materia orgánica para suelos cultivados con durazno fue de 2.53 a 4.10 %, mayor a los suelos de Altzayanca. Montes *et al.* (2016) puntualizan que un contenido de materia orgánica idóneo para el frutal de durazno debe ser de 3 a 4 %. Los resultados encontrados dan respuesta a que los suelos de las parcelas son pobres y esto incurre sin duda en la fertilidad de los mismos. Rodríguez *et al*. (2015) mencionan que un bajo contenido de materia orgánica en los suelos provoca el deterioro de la estructura de éstos, lo cual es una limitante para su

productividad. Respecto a los valores de carbono orgánico, en los suelos analizados se tuvo un intervalo de 0.33 a 0.59 %, no se presentaron diferencias significativas entre los sitios ($p<0.05$) (Cuadro 2). De acuerdo a Rodríguez y Rodríguez (2002) los valores son bajos; asimismo, mencionan que su contenido indica la capacidad relativa del suelo para retener nutrimentos por lixiviación, la estabilidad de su estructura y susceptibilidad a la erosión, el movimiento del agua y aireación, esto último es importante para el sistema radical. En cuanto a la capacidad de intercambio catiónico, ésta se clasifica como baja, con valores de 5.33 a 12.08 $Cmol^{(+)}$ kg^{-1} de acuerdo a la NOM-021. Orsag (2010) indica que su determinación es la capacidad que tiene un suelo para absorber o retener nutrimentos (cationes o aniones) en forma intercambiable (Cuadro 2). Los suelos refieren un efecto despreciable de sales (0.03 a 0.06 dS m^{-1}) por la NOM-021, esta variable representa la cantidad de sales presentes en el suelo; un exceso puede perjudicar el crecimiento de las plantas y en muchos casos afectar su calidad, por su incidencia directa sobre el metabolismo de las mismas (Orsag, 2010).

Cuadro 2. Parámetros químicos de los suelos con *P. persica* (L.) Batsch var. Escarcha.

Parcela	pH	MO %	CO %	CIC Cmol (+) kg^{-1}	CE dS m^{-1}
1	6.7 ± 0.12b	0.93 ± 0.17a	0.54 ± 0.10a	10.17 ± 1.48a	0.05 ± 0.01b
2	6.6 ± 0.12b	0.61 ± 0.17a	0.33 ± 0.10a	7.92 ± 1.48a	0.03 ± 0.01ab
3	6.5 ± 0.12b	0.66 ± 0.17a	0.38 ± 0.10a	9.08 ± 1.48a	0.03 ± 0.01b
4	6.7 ± 0.12b	1.02 ± 0.17a	0.59 ± 0.10a	6.75 ± 1.48a	0.04 ± 0.01ab
5	6.6 ± 0.12b	0.96 ± 0.17a	0.56 ± 0.10a	12.08 ± 1.48a	0.04 ± 0.01ab
6	6.6 ± 0.12b	1.01 ± 0.17a	0.59 ± 0.10a	8.83 ± 1.48a	0.04 ± 0.01ab
7	6.5 ± 0.12b	0.89 ± 0.17a	0.52 ± 0.10a	9.50 ± 1.48a	0.06 ± 0.01a
8	6.8 ± 0.12ab	0.76 ± 0.17a	0.44 ± 0.10a	5.33 ± 1.48a	0.04 ± 0.004ab
9	6.6 ± 0.09b	0.76 ± 0.13a	0.44 ± 0.08a	9.30 ± 1.48a	0.05 ± 0.03ab
10	7.3 ± 0.11a	0.83 ± 0.16a	0.48 ± 0.09a	9.64 ± 1.48a	0.05 ± 0.01ab
11	6.9 ± 0.12ab	0.95 ± 0.17a	0.55 ± 0.10a	8.0 ± 1.48a	0.03 ± 0.01ab

*Media Tukey ± E.E. (n = 77). $p \leq 0.05$. Medias con la misma letra por fila son estadísticamente iguales.

Dentro de las propiedades físicas analizadas, se determinó que los suelos de las parcelas son areno francoso por el triángulo de texturas (Rodríguez y Rodríguez, 2002); las fracciones arena, limo y arcilla tienen diferentes cualidades para transmitir o retener el agua, aire y nutrimentos, por consiguiente, las combinaciones de éstas en diferentes proporciones le propician al suelo una fertilidad variada (Orsag, 2010). Respecto a la densidad aparente los valores oscilaron entre 1.18 y 1.33 g cm^{-3}, la NOM-021 estipula que el valor máximo debe ser 1 g cm^{-3}; aun así, el porcentaje de porosidad fue de 49.69 a 60.28 %, adecuados para el desarrollo radical. La densidad aparente es una propiedad que depende la textura del suelo, materia orgánica y estructura (Porta *et al.*, 2008).

Conclusiones

Los sitios destinados para el cultivo de durazno requieren de un considerable porcentaje de materia orgánica (4-5%) para su apropiado desarrollo; en Altzayanca, esta condición no se está cumpliendo y, al ser un fruto importante en el estado de Tlaxcala, es conveniente que se incorporen enmiendas orgánicas que permitan incrementar el porcentaje de materia orgánica. En consecuencia, esto permitirá mejorar la estructura del suelo con un impacto positivo en su fertilidad y aumentar el

potencial del suelo para proveer nutrimentos al frutal con una repercusión en el incremento de la capacidad productiva de las huertas. Si bien estas medidas, son parte de un proceso a desarrollarse de mediano a largo plazo, los conocimientos generados con este estudio pueden ser considerados para el diseño e implementación de estrategias de un manejo adecuado a las parcelas.

Agradecimientos

Se reconoce al C. José Abel Hernández Lima, Presidente de la *Sociedad de Productores de duraznos selectos de Tlaxcala S.P.R. de R.L.*, por las facilidades proporcionadas para el desarrollo de este proyecto.

Referencias

Álvarez, M. E., A. Marín 2011. Manual de procedimientos analíticos de suelo y planta. Laboratorio de Química, Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 64 p.

Borges, J. A., M. Barrios. 2012. Características fisicoquímicas del suelo y su asociación con macroelementos en áreas destinadas a pastoreo en el estado de Yaracuy. Bioagro. 24:121-126.

Cárdenas, J., G. Fischer. 2013. Clasificación botánica y morfología de manzano, peral, duraznero y ciruelo. Bogotá, Colombia. 30 p.

Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle-Bueno, A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. Celaya, Guanajuato, México. 226 p.

Di Rienzo J. A., Casanoves F., Balzarini M.G., González L., Tablada M., Robledo C.W. 2008. Info Stat, versión 2008, Grupo Info Stat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Diario Oficial de la Federación (DOF). 2002. NOM-021-SEMARNAT-2000. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. 31 de dic. 2002. 85 p.

Fuentes, R. 1971. Comportamiento de la CIC en algunos suelos ácidos de origen volcánico. Tesis MSC. Turrialba Costa Rica, IICA, 107 pp.

Hernández, J. L. 2007. Métodos para el análisis físico de los suelos. Manual de laboratorio. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Ediciones INCA, La Habana, Cuba. 54 p.

González, G. A., L. Trejo 2008. Nutrición de cultivos. Colegio de Posgraduados. Ciudad de México, México. 454 pp.

Jackson, M. L. 1976. Análisis químico de suelos. J. Beltrán M., traductor. 3ª ed. Omega. Barcelona, España. 622 pp.

Lavado, R. 2006. La región Pampeana: Historia, características y uso de sus suelos. En: Materia Orgánica "Valor Agronómico y Dinámica en Suelos Pampeanos". Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 12 p.

Montes, M. R., S. González, C. Mondragón 2016. Guía para cultivar duraznero en Tlaxcala. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Tlaxcala, Tlaxcala. 57 p.

Orsag, V. 2010. El recurso suelo principios para su manejo y conservación. Universidad Mayor de San Andrés. San Pedro, Bolivia. 473 p.

Porta, J., M., López-Acevedo, R., Poch 2008. Introducción a la Edafología: uso y protección del suelo. Mundi-Prensa. Madrid, España. 451 p.

Pinzón, E. H., A. Cruz Morillo, G. Fischer. 2014. Aspectos fisiológicos del duraznero (*Prunus persica* [L.] Batsch) en el trópico alto. Rev. UDCA Act. Div. Cient. 17: 401-411.

Rodríguez F. H., Rodríguez A. J. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas. Trillas. México, D. F. 196 p.

Rodríguez C. J., Cortiza M. A. W., Pereira M. C. A., Chacón I. A., Gattorno M. S., Rodríguez L. O., Rodríguez U. A., Jiménez C. R., Torres A. P. N. 2015. Determinación VIS/NIR del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas pardos mullidos medianamente lavados. Centro Agrícola 42 (3): 5-12.

Santiago, E., I. Cortés 2008. Calidad del fruto del duraznero en el sistema milpa intercalada con árboles frutales en laderas. Agricultura Técnica en México. Agricultura Técnica en México. 34:159-166.

Torres, J. P. 2008. Rendimiento de fruto y número de ramas principales en árboles de durazno intercalados con milpa. Terra Latinoamericana 26:265-273.

Valencia, P. R. 2016. Problemática fitosanitaria del Durazno y su manejo en Tlaxcala. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Tlaxcala, Tlaxcala. 57 pp.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO EN NOGAL PECANERO Y SU EFECTO EN COMPONENTES DE RENDIMIENTO.

Gorostiola-Herrera, M.[1]; Ojeda-Barrios, D.[1*]; Hernández-Rodríguez, A[1]; Guerrero-Prieto, V.[1]; Parra-Quezada R.; Orozco-Meléndez L[1]

[1]Facultad de Ciencias Agrotécnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua, Escorza 900, CP 31300. Chihuahua, Chih., México.

*Autor responsable: dojeda@uach.mx [1]Facultad de Ciencias Agrotécnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua, Escorza 900, CP 31300. Chihuahua, Chih., México.

Resumen
La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el manejo del nitrógeno adicionado en forma total o fraccionada como sulfato de amonio para determinar la dosis adecuada y su efecto en los componentes de rendimiento para mantener los niveles óptimos de N-total en las hojas, así como incidir en la producción de buenas cosechas y de calidad en nogal pecanero cv Western Schley. Para lo cual se evaluaron durante cinco años (2009 al 2014) cuatro tratamientos de sulfato de amonio: 100, 150 y 200 kg de nitrógeno por hectárea aplicados de forma total en marzo y fraccionada, 50% en marzo y 50% en junio. Las variables evaluadas fueron: Concentración foliar de nitrógeno, rendimiento en kg.árbol^{-1}, número de nueces por kilogramo, porcentaje de almendra y área seccional del tronco. Los resultados indican que la aplicación de nitrógeno afectó significativamente el rendimiento. La dosis de 100 kg de nitrógeno por hectárea aplicada en forma total en marzo fue la que tuvo el más alto rendimiento (44.60 kg.árbol^{-1},) en los cinco años de evaluación. No hubo efecto de tratamientos en el resto de las variables estudiadas. Se concluye que un manejo adecuado de la fertilización nitrogenada permite incrementar el rendimiento en el cultivo del nogal pecanero.

Palabras clave
Carya illinoensis, fertilización, producción, porcentaje almendra, Nfoliar

Introducción
El nogal pecanero (*Carya illinoinensis* (Wangenh) K. Koch) es un frutal de alta rentabilidad, la superficie de este cultivo se incrementa anualmente. La superficie establecida de nogal pecanero en México fue de 113 mil ha en el 2015, con una producción de 123 mil toneladas, y una derrama económica de 8 mil 620 millones de pesos. Así mismo, el estado de Chihuahua cuenta con una superficie del 70,5 % del total nacional, produciendo alrededor de 80 mil toneladas, con una aportación de 6 mil 76 millones de pesos. Actualmente, México ocupa el segundo lugar en el mercado internacional, sin embargo, debe competir con los países emergentes, ya que el 70 % de la producción nacional se exporta principalmente a Estados Unidos, y en los últimos cinco años a China. El cultivo del nogal tiene una alta rentabilidad y un importante incremento en su superficie, con un pronóstico favorable como unidad de producción, por lo que todas las practicas que lleven a mejorar la productividad del cultivo podrán ser incorporados en el manejo del cultivo. Aunque, se reportan limitantes para su producción, como las deficiencias y desbalances nutrimentales debido a las

características edáficas, las cuales afectan el rendimiento y la calidad de la nuez, ya que son un reflejo de las condiciones del suelo, manejo y sanidad del nogal (Retes-López, 2014). Debido a esto, es importante contar con un programa nutricional que incremente la producción por hectárea, mejore la calidad de la nuez y disminuya el índice de alternancia (Wells, 2011). Una alternativa en el manejo de los huertos es la fertilización nitrogenada, lo que tiene especial relevancia ante el rendimiento promedio nacional, el cual es alrededor de 1,5 t ha^{-1}· En el norte de México se probaron diferentes dosis de N en árboles en producción de la variedad Western Schley se concluyó que la dosis de 60 kg de nitrógeno por hectárea fue la que tuvo el más alto rendimiento (1.74 kg en cuatro ramas/árbol). Sin embargo, no hubo efecto con las variables de calidad de la nuez (Martínez-Rodríguez y Ávila-Ayala, 2002). El trabajo de Flores-Cordova *et al.*, (2018) sobre la contribución de nutrientes, enmiendas orgánicas, micorrizas sobre los componentes de rendimiento se concluyen que para una producción de 1,94 t ha^{-1}, con 149 nueces kg^{-1} y 59 % de nuez comestible se utilizaron en kg ha^{-1} 226 de N, 121 de P_2O_5, 94 de K_2O, 3,111de Composta, 1,905 de Humus de Lombriz y 33,02 g.cm dt de micorrizas. Por otra parte, se reporta que el nogal tiene la capacidad de absorber cantidades adecuadas de nitrógeno por lo que este elemento debe adicionarse cuando el análisis foliar revele su deficiencia (Medina, 2004). El efecto en el rendimiento no se ha determinado, pero tiende a incrementar el peso de la nuez, aumentando el peso de la almendra (Wells, 2011). Los rangos aceptables en las hojas varian de 2.0 a 2.5% de Ntotal foliar según Medina (2004).

En base a lo antes expuesto se realizó este trabajo que tuvo como objetivo evaluar el manejo del nitrógeno adicionado en forma total o fraccionada como sulfato de amonio para determinar la dosis adecuada para mantener los niveles óptimos de Ntotal en las hojas y producir buenas cosechas y de calidad en nogal pecanero.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el municipio de Jiménez, Chihuahua, durante los ciclos vegetativos 2009-2014 desde la brotación hasta la defoliación (marzo-noviembre de cada año) en árboles 'Western Schley' plantados en 1989 en cuadrado a 12 x 12 m. Esta localidad está situada a 27º 08' Latitud Norte y 104º 08' Longitud oeste con una altitud de 1321 msnm. El clima determinado por Thornthwaite de la localidad, es semiárido extremoso, con una temperatura media anual de 18,6 °C, y una precipitación pluvial media de 369,8 mm (SIAP, 2016).

Los riegos se aplicaron mediante inundación a principios de temporada (de marzo a principios de mayo) en el ciclo vegetativo. El suelo se caracterizó con contenido de arena de 18,1 %, de limo 40,6 y de arcilla 41,3 %, el pH en $CaCl_2$ 0,01 M fue de 7,76, la materia orgánica (MO) 0,75 %, el contenido de carbonatos 8,54 % y la conductividad eléctrica 1,00 dS m-1. Por su parte, los principales nutrientes se estimaron en N-NO3 = 285,0 kg ha^{-1}, P = 21,5 mg kg^{-1}, K=1075,0kgha^{-1}Ca=3900kgha^{-1},Mg=300kgha^{-1}, Cu = 0,79 kg ha^{-1}, Fe = 4,06 kg ha^{-1}, Mn = 6,92 kg ha^{-1} y Zn = 0,86 kg ha^{-1}. El agua de riego empleada proviene de un manto acuífero subterráneo, se extrae por bombeo y de acuerdo a sus características está clasificado como C_3S_1.

Se utilizó un experimento factorial 3^2 en el cual las unidades experimentales se arreglaron en un diseño de bloques aleatorizados completos, con seis repeticiones considerando un árbol como unidad experimental con un total de 36 árboles. La conformación de cada bloque en el diseño se realizó en base al perímetro de tronco. El cual fue medido con una cinta métrica a 60 cm del suelo. Los tratamientos consistieron en tres dosis de N: 100, 150 y 200 kg.$árbol^{-1}$, aplicado de manera total y fraccionada. La fraccionada se aplicó en 1.- floración femenina 50 % (tercera semana de abril); 2.-

crecimiento de fruto 50 % (segunda semana de junio) (Tabla I). La fuente de N fue sulfato de amonio (20,5 % N y 24 % S). Se aplicaron 100 kg.ha^{-1} de P y K respectivamente en una sola dosis con la primera aportación de N. Se utilizó como fuente para P el ácido fosfórico (49 % P2O5, densidad 1,61 kg L^{-1}) y tiosulfato de potasio (12,6 % K2O, densidad 1,46 kg L^{-1}) como fuente de K.

Se realizaron los muestreos foliares el 20 de julio de cada año de estudio al recolectar 30 pares de foliolos por árbol. Todas las muestras de foliolos se tomaron de la hoja media de los crecimientos del año en curso y expuesto al sol. Los foliolos se lavaron en una solución de detergente diluida sin fosfato (0,1% de detergente) seguido de un enjuague con agua desionizada. Todas las hojas se secaron luego a un peso constante a 80 ° C y se trituraron en un molino Wiley Mill (Wiley, Philadelphia, PA) para pasar un tamiz de 1 mm. Los análisis se realizaron por triplicado mediante las siguientes metodologías: N-total se cuantificó por el método Micro-Kjeldahl.

Componentes del Rendimiento:

Producción. Se vibraron los árboles de forma mecánica, se recolectó la nuez y se estimó el peso en kg por cada árbol. Se extrapoló la producción en toneladas por hectárea al multiplicar la producción por árbol por el número de árboles por ha, corregido por un factor de 0,95 debido a la heterogeneidad en la producción individual de los árboles (Tarango-Rivero *et al*., 2009).

Número de nueces por kilogramo. Se contaron el número de nueces de una muestra de 1000 g y se extrapoló el valor a la unidad de peso (kg).

Porcentaje de nuez comestible. Para la determinación del contenido de almendra comestible se seleccionaron 1000 g, se les separa la cáscara de la parte comestible, se pesaron por separados y se determinó el porcentaje del contenido de almendra comestible, cuyo valor permitió determinar la fracción de producto comestible con respecto al total.

Análisis estadístico

Se realizaron los análisis de varianza para cada variable. Se empleó la prueba de rango múltiple de Tukey al 0.05 de probabilidad para comparar las medias de tratamiento que resultaron significativas en el análisis de varianza de los cinco años como el global.

Resultados y Discusión

Componentes de rendimiento y calidad de la nuez

En el Cuadro I, se observa los datos globales de los cinco años de estudio de la producción en kg/ha, la cual fluctuó desde 38.90 hasta 44.60 kg árbol^{-1} de manera global en los cinco años de estudio. Lo cual representó un incremento del 78 %, que se asoció a la dosis de 100 kg.ha^{-1} aplicado de manera total en marzo. Estos resultados son similares a lo encontrado por Acuña-Maldonado (2003), quien aumentó el rendimiento de nuez en el Cv Western con 56 kg de N ha^{-1}. Coincide también con lo expuesto por Martínez-Rodríguez y Ávila-Ayala, (2002), así como con Flores- Córdova et al., (2018) en donde la dosis más baja obtuvo los más altos rendimientos en arboles de nogal pecanero en producción de la variedad Western Schley.

En el caso de la variable número de nueces en este trabajo se encontró un incremento del 95% entre el tratamiento de aplicar 200 kg.ha^{-1} aplicado de manera total en marzo (198.43) y el aplicar 200 kg.ha^{-1} aplicado de manera fraccionada la mitad en marzo y la mitad en junio (188.66). Para porcentaje de almendra solo hubo un incremento de 9,8% entre los valores y todos los tratamientos fueron iguales estadísticamente.

N-total foliar

Los valores obtenidos para N-total foliar nos indicant que todos los tratamientos fueron iguales estadísticamente, sin embargo, hay un incremento de 94% entre el tratamiento de 100 kg ha^{-1} aplicado en marzo y junio (2.89 %N) y el aplicar 100 kg ha^{-1} de N de manera total (2.74% N). Hay que hacer notar que los dos valores se encuentran reportados por Medina (2004) dentro del rango suficiente para árboles en producción en el norte de México. Los resultados coinciden por lo reportado por Martínez-Rodríguez y Ávila-Ayala, 2002 y por Flores-Cordova *et al*., 2018 en donde no se encontraron efecto de los tratamientos aplicados de N como sulfato de amonio a huertas en producción, en el contenido foliar de N-total.

Cuadro 1. Contribución de las variables de rendimiento (kg.$árbol^{-1}$), número de nueces, porcentaje de almendra y N-total Foliar en la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno en arboles adultos de nogal pecanero cv Western Schley. 2009-2014.

Dosis de N Kg/ha	Kg/árbol	No. Nueces	% almendra	N-total foliar
100 Marzo	44.60 a	187.13 a	58.7 a	2.74 a
150 Marzo	38.90 ab	186.73 a	58.3 a	2.88 a
200 Marzo	40.48 ab	198.43 a	57.7 a	2.84 a
100 Marzo y Junio	43.06 ab	196.20 a	57.3 a	2.89 a
150 Marzo y Junio	34.78 b	186.99 a	58.3 a	2.86 a
200 Marzo y Junio	42.09 ab	188.66 a	58.1 a	2.86 a

Medias fueron comparadas con la prueba de Tukey's ($p \leq 0.05$). n=6

Conclusiones

La aplicación de fertilizante nitrogenado suministrado como sulfato de amonio afectó significativamente el rendimiento del nogal pecanero, siendo la dosis de 100 kg N ha^{-1} aplicado de forma total en marzo la que mostró el más alto rendimiento. Sin embargo, los tratamientos no afectaron el número de nueces y el por ciento de almendra, aunque la dosis de 100 kg N ha^{-1} presentó los mayores valores. También se observó que los diferentes tratamientos de nitrógeno aplicados mantuvieron el N-Total en las hojas del nogal en suficiencia Por otro lado, hay que resaltar que no se encontró respuesta a la aplicación total o fraccionada en esta investigación. Finalmente, es importante mencionar que sobresale la dosis 100 kg/ha en las variables estudiadas durante los cinco años de estudio. Se concluye que un manejo adecuado de la fertilización nitrogenada permite incrementar el rendimiento en el cultivo del nogal pecanero.

Referencias

Acuña-Maldonado, L. E., Smith, M. W., Maness, N. O., Cheary, B. S., Carroll, B. L., & Johnson, G. V. (2003). Influence of nitrogen application time on nitrogen absorption, partitioning, and yield of pecan. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *128*(2), 155-162.

Flores-Cordova, M. A., Soto-Parra, J. M., Javier-Piña, F., Pérez-Leal, R., & Sánchez-Chavez, E. (2018). Contribución de nutrientes, enmiendas orgánicas y micorrizas, sobre los componentes de rendimiento en nogal pecanero (Carya ilinoinensis). *Cultivos Tropicales*, *39*(1), 35-42.

Martínez-Rodríguez OA, Ávila-Ayala M. (2002). Efecto del sulfato de amonio en la concentración foliar de nutrimentos, rendimiento y calidad de la nuez del nogal pecanero (*Carya illinoinensis* Koch). Revista Chapingo Serie Zonas Áridas.

3(1):19-24.
Medina-Morales del Consuelo, M. (2004). Normas DRIS preliminares para nogal pecanero. *Terra Latinoamericana*, *22*(4), 445-450.
Tarango Rivero SH, Nevárez Moorillón VG, Orrantia Borunda E. Growth, yield, and nutrient status of pecans fertilized with biosolids and inoculated with rizosphere fungi. Bioresource Technology. 2009;100(6):1992-8. doi:10.1016/j. biortech.2007.12.078
Retes-López R, Palafox ARN, Medina SM, Ballesteros FGD, Rivera MM. Análisis de rentabilidad del cultivo de nogal pecanero en la costa de Hermosillo. Revista Mexicana de Agronegocios. 2014;18(34):872-882.
SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). Atlas agroalimentario 2016 [Internet]. México D. F: SIAP; 2 016. 236 p. Disponible en: http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/ pag/2016/Atlas-Agroalimentario.
Wells, M. L. (2011). Nitrogen availability in pecan orchard soil: implications for pecan fertilizer management. *HortScience*, *46*(9), 1294-1297.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

MANEJO ORGÁNICO: INCREMENTO EN LA ESTABILIDAD DE LOS AGROSISTEMAS ANTE VARIACIONES CLIMÁTICAS

Reyna-Ramírez, C. A.[1*]; Rodríguez-Sánchez, L. M.[1]; Fuentes-Ponce, M.[1]; Etchevers-Barra, J.[2]

[1]Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Ciudad de México. México.
[2]Colegio de Posgraduados. Texcoco, Estados de México. México.

*Autor responsable: cristian.alex.reyna@gmail.com; Calle Calzada del hueso Núm. 1100, Col. Villa de la Quietud. Cuidad de México. México. CP 04960; Tel. +52(55)-7087-1323

Resumen

En el contexto climático actual la producción agrícola debe considerar la reducción del impacto ambiental, y contribuir a la mitigación en un ámbito local de modelos de producción, El objetivo de este estudio fue diseñar, implementar y evaluar diferentes estrategias de manejo agronómico, enfocadas en mejorar la calidad del suelo de los agroecosistemas tradicionales (milpa). Se implementaron manejos alternativos en una parcela experimental durante dos años, los cuales incluyeron el uso de enmiendas orgánicas en comparación a fertilizantes sintéticos. Se midieron los cambios en las características químicas del suelo. Después de 2 años, los tratamientos orgánicos mostraron un aumento en el pH del suelo (de 5.02 a 5.5-5.6), en contraste con el tratamiento convencional donde se acidificó (pH 4.9), lo que repercutió en la disponibilidad del P impactando en los rendimientos esperados. La concentración de nitrato en el suelo (NO_3) en el primer año fue similar en el manejo convencional y orgánico. Sin embargo, en el manejo convencional hubo mayores pérdidas de N por lixiviación en ambos ciclos (112.6 kg ha^{-1} y 212.2 kg ha-^{1} respectivamente), a causa de las altas precipitaciones (972 mm en 2012 y 1231 mm en 2013). En el segundo año se presentaron dos huracanes, el sistema orgánico fue el más estable en términos de rendimiento y calidad del suelo. La aplicación de fertilizantes orgánicos sólidos permitió la mejora del suelo en el agroecosistema "milpa" en la región de la montaña de Guerrero, además de ser un sistema más estable ante las variaciones abruptas del clima.

Palabras clave

Fertilizantes sintéticos; policultivos, montaña de Guerrero, acidez del suelo

Introducción

Los cambios abruptos en el clima causan impactos en la agricultura, principalmente a través de aumentos en la temperatura promedio y en la intensidad y frecuencia de eventos extremos, tales como fuertes precipitaciones y sequias prolongadas (IPCC, 2014). Las regiones en desarrollo y sus agricultores, tienden a verse afectados por los cambios en el clima, ya que carecen del capital social y económico básico necesario para las estrategias de adaptación predominantes (Mendelsohn y Dinar 2009), por lo cual es necesario la búsqueda de nuevos modelos desarrollados localmente con un enfoque de intensificación ecológica para los pequeños agricultores, debido a que contempla el

incremento del rendimiento y el cuidado del medio ambiente y el contexto de la comunidad para el desarrollo e implementación de alternativas (Tittonell, 2014), lo que fomenta el desarrollo de sinergias que podrían ayudar a la adaptabilidad de los cambios a las comunidades y sus sistemas agrícolas en este contexto, y posiblemente a la mitigación. Con base en esto el objetivo de la presente investigación fue proponer, implementar y evaluar diferentes estrategias de intensificación ecológica, enfocadas en mejorar la calidad del suelo de los agroecosistemas tradicionales.

Materiales y Métodos

Este estudio se realizó en la región de la montaña de Guerrero en la comunidad de Mexcaltepec (latitud 17º27'45"N y longitud -98º 54' 20" E) a 2500 msnm. La temperatura media varia de 14 a18 ºC, con una precipitación anual entre 400 y 1450mm (CONAGUA, 2013). Se trabajó con un grupo de productores llamados Coahui-Xochil (flor de tila), y la organización ENLACE. AC. Con los que se construyeron e implementaron las parcelas experimentales por 2 años.
El experimento se basó en el sistema milpa (maíz, frijol y calabaza intercalados), con labranza mínima del suelo, y árboles frutales alrededor de la parcela. Se retuvieron los residuos del cultivo de maíz, el control de malezas se realizó manualmente, la siembra con coa y a curvas a nivel. Se implementaron 5 tratamientos en el primer año con tres repeticiones, y en el segundo año 9 debido a que se le agregó cal (producto de la nixtamalización) algunos tratamientos. Primer año:, vermicomposta (V), vermicomposta + microorganismos de montaña-sólido (V+MMS), vermicomposta + microorganismos de montaña-líquido (V+MMS), vermicomposta líquido (VL) y convencional (C) que fertilizantes inorgánicos. Segundo Del primer año al segundo se cambió de vermicompost sólido a bokashi y vermicomposta líquido por la orina. Además se incorporó cal en los diferentes tratamientos, las unidades experimentales se subdividieron en dos partes, una con tratamientos orgánicos y la otra con el mismo tratamiento más el material calizo: bokashi + cal (B+Ca), bokashi (B), bokashi + micro organismos de montaña solidos+ cal (B+MMS+Ca), bokashi + micro organismos de montaña solidos (B+MMS), bokashi + micro organismos de montaña líquidos+ cal (B+MML+Ca), Bokashi + micro organismos de montaña liquidos (B+MML), Orina + cal (O+Ca), Orina (O) y sistema convencional (C).
Se evaluó la condición inicial del suelo por medio de un muestreo aleatorio del suelo (0 a 20 cm de profundidad). Posteriormente en el año 1 y 2 de experimento se obtuvieron muestras compuestas por unidad experimental a dos profundidades (0 a 10 cm y 10 a 20 cm). Las características químicas del suelo determinadas fueron: pH (potenciómetro, suelo-agua 1:2), materia orgánica (Walkey and Black), NO_3^- y NH_4^+ (Procedimiento de destilación al vapor) y P extraíble (método de Bray).
Los resultados de las características del suelo se compararon usando un ANOVA. La comparación se realizó para cada año experimental. Las medias se compararon con una prueba de Tukey (R Studio Version, 2016).

Resultados y Discusión

En la región de estudio se presentaron dos huracanes (Ingrid-Manuel) en el segundo año de experimentación,, lo que produjo una perdida tanto de suelo como de N. Sin embargo, a pesar de que hubo fuertes lluvias en ambos años, la precipitación fue aún insuficiente para cumplir con los requisitos del maíz en la etapa de llenado de grano (Septiembre 2012, Agosto 2013: Figura 1)

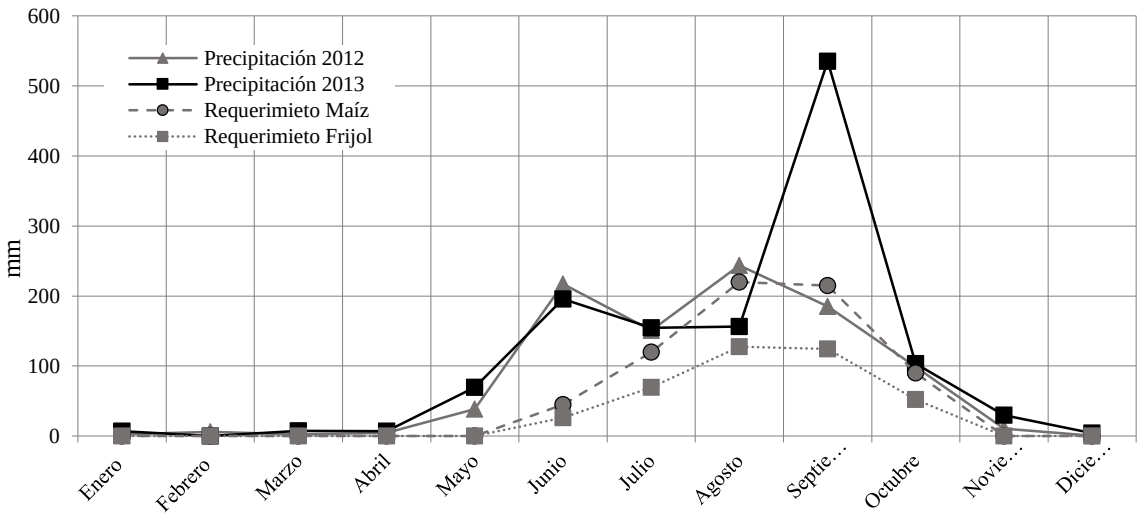


Figura 1. Precipitación mensual (mm) de los años 2012 y 2013 del Estado de Guerrero (CONAGUA, 2013) y requerimientos de agua de los cultivos de maíz y frijol durante todo el ciclo.

Los tratamientos afectaron significativamente ($p > 0.05$) el pH y las concentraciones de $N\text{-}NO_3$ de 0 a 10 y de 10 a 20 cm de profundidad (Figura 2 y 3). Las aplicaciones de fertilizantes orgánicos favorecieron el aumento del pH del suelo respecto al inicial y convencional (Figura 2 y 3), aportando cationes básicos como K^+, Ca^{2+} y Mg^{2+} a la solución del suelo que reacciona para alcalinizar el medio (Arrieche y Mora, 2005; Harfreaves *et al.*, 2008). Sin embargo, la adición del residuo alcalino del proceso de nixtamalización ($Ca(OH)_2 + CaCO_3$) no redujo la acidez del suelo. Los valores de pH más bajos se encontraron en las parcelas tratadas con fertilizantes sintéticos: 4.9 de 0 a 10 cm en el primer año y 5.1 en la misma profundidad en el segundo año (Figura 2 y 3). Lo cual se atribuyó a la incorporación de amonio (sulfato de amonio), que liberó iones H^+ en la nitrificación (Krusche *et al*., 2003). La acidificación del suelo afecta la disponibilidad de nutrientes y la actividad biológica (Bautista *et al.*, 2004); la acidificación con tratamientos convencionales se observó en ambos años de experimentación. El tratamiento con fertilizante sintético presentó la menor productividad de frijol (395.6 kg ha^{-1}), en comparación con los otros tratamientos. El desarrollo de este cultivo es limitado en suelos con pH <5 debido a la toxicidad de aluminio y / o manganeso que reduce la disponibilidad de nutrientes como N y P (Dorcinvil *et al.*, 2010; Wolff *et al.*, 1993) y probablemente la inactivación de la bacteria fijadora de Rhizobium N y un impacto negativo en el desarrollo de sistemas de raíces de plantas (Bayuelo-Jimenéz *et al.*, 2012, Camas *et al*., 2012). Los valores óptimos de pH para el desarrollo de frijol están entre 5.5 y 7.5 (FAO, 1994) similar al de los suelos tratados con enmiendas orgánicas, el rendimiento de frijol en ese tratamiento fue el doble (718 kg ha^{-1} en promedio) que el obtenido con el tratamiento convencional (251 kg ha^{-1}) (Cuadro 1). El aumento en el pH del suelo podría haber sido uno de los factores que mejoró la disponibilidad de nutrientes (particularmente P) y el rendimiento de las plantas de frijol. El fósforo es un factor decisivo en la formación de semillas (Turner *et al*., 2003), por lo cual la menor disponibilidad de este elemento en el sistema convencional como resultado de la acidez del suelo se reflejó en menores rendimientos en comparación con los sistemas que emplearon mejoradores orgánicos. En suelos ácidos, la disponibilidad reducida de P

como consecuencia del pH es uno de los principales factores que limitan la producción de maíz (Bayuelo-Jiménez *et al*., 2012). El porcentaje de MOS en la profundidad de 0-10 cm fue alta en el tratamiento con vermicomposta y baja en el tratamiento convencional, la reducción de MOS en el tratamiento convencional del inicio al primer año fue de 2.6% (de 10.9 to 8.3%). La perdida de MOS podría reducir la disponibilidad de macro y micronutrientes, así como afectar la capacidad buffer relacionada al cambio de pH (Hargreaves *et al*., 2008, Vaca *et al*., 2011).

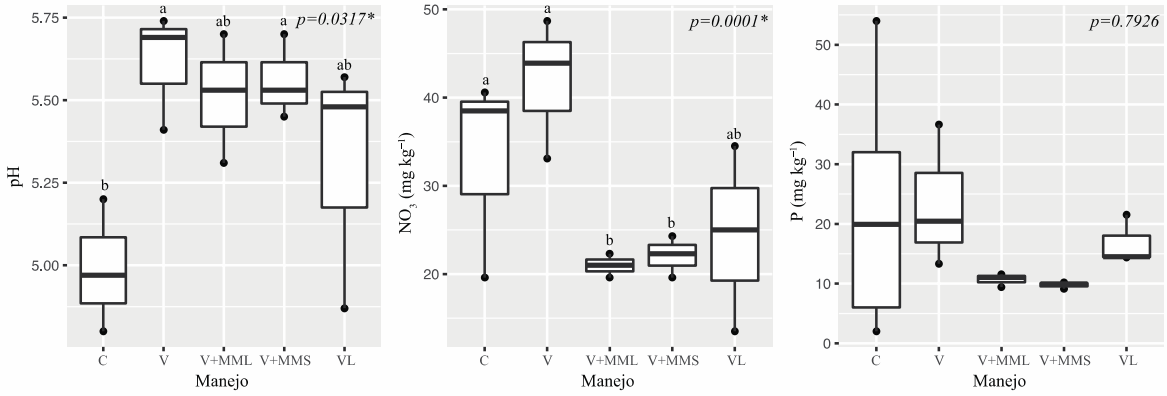


Figura 2. Características químicas del suelo en los diferentes tratamientos en el primer año (0-10 cm).

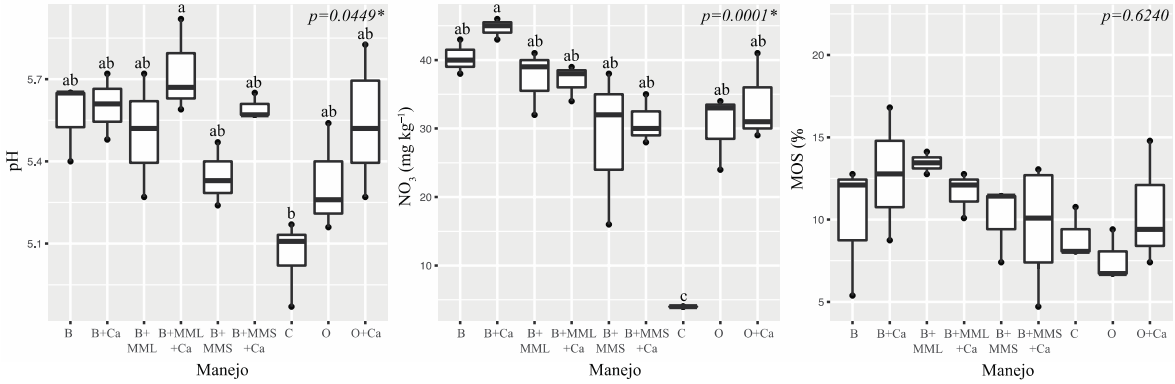


Figura 3. Características químicas del suelo en los diferentes tratamientos en el segundo año (0-10 cm).

Cuadro 1. Rendimientos de las parcelas experimentales de Mexcaltepec, Guerrero ciclo 2012 y 2013

Cultivos	Tratamientos (2012)					Tratamiento (2013)								
Rendimiento (kg ha^{-1})	V	V+ MMS	V+ MML	VL	C	B	B+Ca	B+ MMS	B+ MMS+ Ca	B+ MML	B+ MML+ Ca	O+ Ca	O+ CA	C
Maíz	197	221	235	139.5	729	171	407	142	185	197	224	94	116	117
Frijol	718	645	895	541	295	251	437	255	478	311	360	243	282	173
Calabaza	150	66.6	100	91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	1066	925	1231	772	1124	422	845	398	663	509	584	337	399	290

En el segundo año no se observó diferencia significativa entre tratamientos respecto a la MOS en ninguna profundidad, sin embargo los tratamientos orgánicos presentaron mayor MOS en comparación a los orgánicos líquidos y al convencional (Figura 3). En el primer año de experimentación, los tratamientos de vermicomposta sólido y líquido, así como el convencional presentaron las mayores concentraciones de NO_3 en el suelo en ambas profundidades (Figura 2). En el segundo año, el tratamiento B+Ca presentó la mayor concentración de NO_3 en el suelo (Figura 3), debido a la mineralización del material orgánico aplicado durante el año anterior (Hargreaves *et al*., 2008). Las concentraciones de NO_3 de 40 a 70 mg kg^{-1} en los primeros 15 cm de suelo tienden a lixiviarse con altas precipitaciones independientemente de la textura del suelo (Al-Jamal et al., 1997). En el primer año, el equilibrio entre la permanencia y la pérdida de nitrógeno inorgánico del tratamiento convencional fue el siguiente: al comienzo del ciclo agrícola, el suelo a la profundidad 0 a 20 cm tenía 198 kg ha^{-1} de N (186 kg ha^{-1} del fertilizante y 12 kg ha^{-1} del suelo) pero al final del ciclo, fue de tan sólo 62.3 kg ha^{-1}. El maíz extrajo 23 kg, por lo tanto, 112.6 kg ha^{-1} se perdieron por erosión, lixiviación o emisiones de N a la atmósfera. Este fenómeno fue más evidente en el segundo año debido a la mayor precipitación ocurrida, donde las pérdidas de nitrógeno fueron de 212.2 kg ha^{-1}. El experimento evidenció que en los tratamientos orgánicos con sustratos sólidos, la liberación del N es mucho mas gradual que en el manejo con fertilizante soluble, lo cual es una ventaja para el sistema de milpa en la región de la montaña, en tanto las pérdidas por lixiviación o volatilización del N son menores y el aprovechamiento potencial por el cultivo puede ser mayor.

Conclusiones

La aplicación de abonos orgánicos ayudan a mejorar la calidad de suelo y por tanto la nutricion de las plantas, además demostró tener mayor adaptabilidad o resistencia a las variaciones climáticas, al reducir las pérdidas de nutrientes y conservar el nivel de rendimientos de maíz, frijol y calabaza en el sistema milpa.

Referencias

Al-Jamal, S., T. W. Sammis and T. Jones.1997. Nitrogen and chloride concentration in Deep soil cores related to fertilization. Agr. Water Manage. 34, 1–16.

Arrieche, I. y O. Mora. 2005. Efecto de la aplicación de residuos orgánicos sobre el cultivo de maíz en suelos degradados del Estado Yaracuy, Venezuela. Bioagro 17, 1316–3361.

Bautista, A., J. Etchevers, R. Del Castillo y C. Gutirrez. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. Ecosist. 13, 90–97.

Bayuelo-Jimenéz, J.S., I. Ochoa, V. Pérez, M. D. L. Magdaleno y R. Cárdenas. 2012. Eficiencia a fósforo en germoplasma de maíz de la Maseta Purépecha en etapa de plántula. Rev. Fitotec. Mex. 35 (2), 199–208.

CONAGUA. 2013. Reporte anual. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Gerencia de Meteorología y Climatología Subgerencia de Pronóstico a Mediano y Largo Plazo. Comisión Nacional del Agua.

Camas, R., F. Turrent, J. Cortes, M. Livera, A. Gonzáles, B. Villar y J. López, J. 2012. Soil erosion, runoff and nitrogen and phosphorus losses in hillsides as affected by soil management system in Chiapas, México. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 3 (2), 231–243.

Dorcinvil, R., D. Sotomayor and J. Beaver. 2010. Agronomic performace of common vean (Phaseolus vulgaris L.) lines in an Oxisol. Field Crops Res. 118, 264–272.

FAO. 1994. The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database. In: ECOCROP 1.AGLS. FAO.

Hargreaves, J.C., M.S. Adl and P. R. Warman. 2008. A review of the use of compost municipal solid waste in agriculture. Agric. Ecosyst. Environ. 123, 1–14.

IPPC. 2014. Climare Climate change 2014: synthesis report. In: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC.

Krusche, A.V., P. B. De Camargo, C. E. Cerri, M. V. Ballester, L. B. Lara, R.L. Victoria and L. A. Martinelli. 2003. Acid rain and nitrogen deposition in a sub-tropical watershed (Piracicaba): ecosystem consequences. Environ. Pollut. 121, 389–399.

Mendelsohn, R. and A. Dinar. 2009. Climate Change and Agriculture: an Economic Analysis of Global Impacts, Adaptation and Distributional Effects. Edward Elgar, Cheltenham.

RStudio, 2016. RStudio: Integrated development environment for R (Version 0.99.893) [Computer software]. RStudio, Boston, MA (Retrieved May 20, 2016).

Tittonell P. 2014. Ecological intensification of agriculture-sustainable by nature. Current Opinion in Environmental Sustainability 8:53–61.

Turner, B.L., N. Mahieu and L. M Condron. 2003. Phosphorus-31 nuclear magnetic resonance spectral assignments of phosphorus compounds in soil NaOH–EDTA extracts. Soil Sci. Soc. Am. J. 67, 497–510.

Vaca, R., J. Lugo, R. Martínez, M. Esteller and H. Zavaleta. 2011. Effects of sewage sludge and sewage sludge compost amendment on soil properties and Zea mays L. Plants (heavy metals, quality and productivity). Rev. Int. Contam. Ambie. 27, 211–303.

Wolff, A.B., P. W. Singleton, M. Sidirelli and B. Bohlool. 1993. Influence of acid soil on nodulation and interstrain competitiveness in relation to tannin concentrations in seeds and roots of Phaseolus vulgaris. Soil Biol. Biochem. 25, 715–721.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

COMPARACION DE LA PRODUCTIVIDAD DE DOS HIBRIDOS DE SANDIA BAJO FERTILIZACION DE LENTA LIBERACION EN EL MUNICIPIO DE TLAHUALILO, DGO., MEXICO

Ríos-Vega, M.E.[1*]; Urrutia-Olivarez, MJ.[1]; Figueroa-Viramontes, U.[2]; Saucedo-Leyva, J.A.[3]

[1]Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango. Dom. Con. Ejido Venecia, Municipio de Gómez Palacio, Durango. México.
[2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Matamoros, Coahuila. México
[3]Alumno tesista de la Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango.

*Autor responsable: e-mail: maesther.rios@hotmail.com; Domicilio conocido S/N, Ejido Venecia, municipio de Gómez Palacio, Durango. México. CP 35112; Tel. +52(871)-845-2006

Resumen

Este trabajo de investigación se llevó acabo en el ciclo: primavera-verano 2017 en el cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*) híbridos Summer Flavor 800 (T1) y Montreal Escarlette (T2) respectivamente. En el trabajo se evaluó el potencial productivo del cultivo. La parcela experimental fue de 73.5 m^2. La parcela útil fue de 27.3 m^2. El diseño experimental utilizado fue en bloques al azar con 3 repeticiones. El análisis estadístico se realizó con el software Info Stat. La fertilización se realizó en base a la dosis 150-80-00 de N-P-K respectivamente, utilizando como fuente de nitrógeno un fertilizante de lenta liberación y como fuente de fosforo el fosfato monoamónico (map). Las variables evaluadas no mostraron diferencia estadísticamente significativa ($P \geq 0.05$) entre los tratamientos.

Palabras clave

Potencial productivo.

Introducción

La sandia es uno de los cultivos hortícolas que se cultiva en casi todo el mundo participando China, Turquía, Irán, Estados Unidos, Egipto, México, Corea, Kazajistán, España y Grecia. Debido a la demanda que tiene se produce un total de 105,375 millones de kilogramos de sandía, según los datos que ha reportado Hortoinfo (2014) procedentes de FAOSTAT, el organismo de estadística de la organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
En México la importancia de la sandía radica tanto en la demanda de mano de obra como en la captación de divisas de esta hortaliza. La superficie cosechada promedio de sandía en México durante el año 2017 fue de 15,871 ha con un rendimiento promedio de 24.7 toneladas por hectárea y una producción total de 509,409 toneladas. Los principales estados productores son: Sonora, Chihuahua y Guerrero con participaciones de 31.3, 16.6 y 9.8% de la superficie cosechada total respectivamente. La Región Lagunera participa con 6.1 % de la producción nacional, la superficie cosechada dedicada a este cultivo es de 974 ha., (SIAP, 2017). El municipio de Tlahualilo tuvo una superficie cosechada de 95 ha con un promedio de 42 toneladas por hectárea (SIAP, 2015)

En el municipio de Tlahualilo, los problemas de producción de sandía son la disponibilidad de agua para riego, baja producción, enfermedades y comercialización.
La fertilización es de suma importancia para el cultivo, ya que le proporciona nutrimentos esenciales para la nutrición vegetal y así tener una mejor producción al término de su ciclo. En la fertilización convencional, solo un tercio de los fertilizantes nitrogenados son utilizados por las plantas (Alfaia, 1997).
Una alternativa es: la utilización de nuevos híbridos que, presentan resistencia a ciertas enfermedades y que constituyan una ventaja adicional a estos materiales, además, que tengan uniformidad, clave para la mecanización del cultivo y alto rendimiento de las variedades hibridas (Schwember y Contreras, 2011).
Otra alternativa es buscar nuevas tecnologías como los fertilizantes de lenta liberación los cuales provén el nitrógeno lentamente a los cultivos, de esta manera mejorando la absorción del nitrógeno y obteniendo un mejor desarrollo en cultivos hortícolas, tales como el cultivo de la sandía. El objetivo de este trabajo fue evaluar la producción de los híbridos de sandía Summer Flavor 800 y Montreal Escarlett bajo fertilización de lenta liberación en el municipio de Tlahualilo, Durango, México.

Materiales y Métodos

El proyecto de investigación se realizó en la parcela situada en el Ejido San Julio, municipio de Tlahualilo, Durango, México. Localizado a la altura del km 48 carretera Gómez Palacio-Tlahualilo, ubicado geográficamente en los paralelos 25°93’72.22” de latitud norte y los meridianos 103°41’72.22” de longitud oeste a una altura de 1100 metros sobre el nivel del mar; el clima predominante es seco estepario, presenta una temperatura media anual de 21°C.
El experimento se estableció en un suelo de textura arcillo arenosa con una densidad aparente de 1.3 g/m^3, la conductividad eléctrica de 0.57 ds/m, el pH de 7.8.
La preparación del terreno constó de un barbecho a 30 cm. de profundidad, un paso de rastra y un empareje. Finalmente se construyeron camas meloneras con medidas de 7 m de centro a centro. Se realizaron dos muestreos de suelo: el primero, antes de establecer el cultivo cuyos resultados nos indicaron las características generales del suelo: textura, densidad aparente, conductividad eléctrica, pH, amonio y nitratos., y el segundo, al término del quinto corte. Las variables determinadas fueron amonio y nitratos del suelo, además se realizarán muestreos de humedad para el control del experimento.
Se aplicaron 7 riegos distribuidos en: riego de pre-siembra y seis auxilios. El intervalo entre riegos fue de 14 días.
La siembra se realizó el día 14 de marzo del 2017 en suelo húmedo, la densidad de siembra fue de 2,196 plantas ha^{-1}. Se utilizaron dos híbridos de sandía: Summer flavor 800 nunhems de Bayer (T1) y Montreal Escarlett nunhems de Bayer (T2) respectivamente.
Para la fertilización la fórmula química utilizada fue: 150 - 80 – 00. Se utilizó fosfato mono amónico (map) como fuente de fosforo. Se aplicó todo el map 10 días antes de la siembra con ayuda de una fertilizadora., y Novatec Solub-21 (Compo®) como fuente de nitrógeno; se dividió en cinco partes iguales y se aplicaron antes de cada riego de auxilio. La aplicación fue de forma manual, se realizó una zanja lineal a 15 cm de las plantas, posteriormente el fertilizante fue sepultado.
La parcela experimental fue de 10.5 m de largo por 7 m de ancho para obtener un total de 73.5 m^2.

Cada parcela constó de dos surcos por cama y 8 plantas por surco a una distancia de 1.3 m.
Se realizó un escarde antes de cada riego con la finalidad de guardar humedad en el suelo, eliminar malezas y facilitar la expansión de raíces. El control de maleza sobre la cama se realizó de forma manual cuantas veces fue necesario.
No se requirió la aplicación de insecticidas químicos ya que la presencia de insectos plaga se mantuvo por debajo del umbral económico.
Se realizaron 5 cortes de forma manual, se consideró la madurez comercial del fruto. La calidad del fruto se determinó con un Refractómetro Digital Brixometro 0-55 °Brix Hm Digital para determinar los grados Brix (ºBrix) en una muestra representativa de cada parcela.
Las variables a evaluar en el cultivo fueron: Peso promedio del fruto (PESO PROM), Diámetro ecuatorial (D.E), Diámetro polar (D.P), Calidad º BRIX, Rendimiento (Ton/ha) (REND). Las variables en el suelo fueron: Nitratos y Amonio en partes por millón (ppm) 0-30 y 30-60.
Los tratamientos se establecieron bajo un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. La parcela útil fue de 27.3 m^2. Los datos se analizaron en el software estadístico Infostat con múltiple comparación de medias (LSD).

Resultados y Discusión

Al realizar el análisis de varianza para peso promedio del fruto (PESO PROM) en los tratamientos evaluados no se mostró diferencia estadística ($P \geq 0.05$). La media fue de 7.35 kg. Figura 1.1.
Sin embargo a pesar de que no se encontró diferencia estadística, numéricamente el hibrido Montreal Escarlett expresó frutos con un peso mayor en comparación con Summer flavor 800.
En el análisis de varianza (ANVA) no se encontró diferencia significativa ($P \geq 0.05$), entre los tratamientos evaluados en º BRIX. La media fue de 10.01 º Brix. Estos resultados superan a lo obtenido por Huitrón *et al.* (2007), en donde obtuvieron una media de 8 º Brix al evaluar sandía triploide comparando un efecto del ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) y 1- (2-cloro-4-piridil) – 3-fenilurea (CPPU). Figura 1.2

Figura 1.1 Peso promedio del fruto. Comparación de dos híbridos de sandía bajo fertilización de lenta-liberación

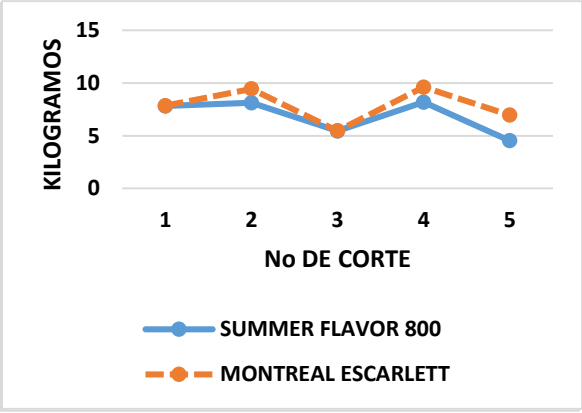


Figura 1.2 Calidad º Brix. Comparación de dos híbridos de sandía (*Citrullus lanatus*) bajo fertilización de lenta liberación.

Respecto a la variable diámetro ecuatorial (D.E), no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos evaluados (P ≥ 0.05). La media fue de 59.93 cm. Cuadro 2.1.

En el análisis de varianza (ANVA) no se presentó diferencia significativa (P ≥ 0.05), entre los tratamientos evaluados en Diámetro polar (D.P). La media fue de 80.9 cm. Estos resultados superan a lo obtenido por Calizaya (2013), quien obtuvo una media de 41.54 cm, de igual forma Mullins y Smith (2001) mencionan que la variedad Feedrom en sandías sin semillas alargadas fueron las más grandes, y reportan una media de 33.02 cm de diámetro polar. Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1. Resultado de las variables evaluadas en el fruto.

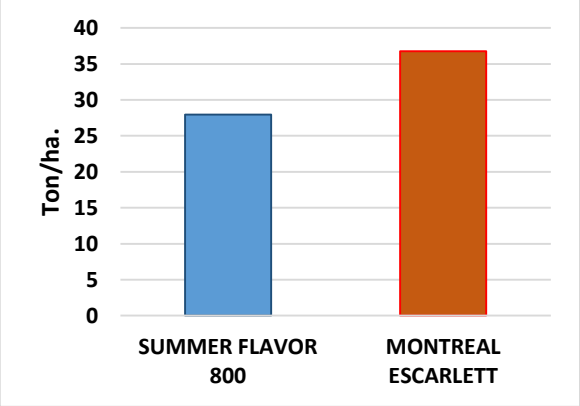
No. DE CORTE	VARIABLE	SUMMER FLAVOR 800	MONTREAL ESCARLETT	SIGNIFICANCIA 0.05
1	D.E (cm)	68.4	66.43	ns
	D.P (cm)	88.93	90.1	ns
2	D.E (cm)	65.1	68.67	ns
	D.P (cm)	94.4	79.4	ns
3	D.E (cm)	43.83	43.57	ns
	D.P (cm)	60.93	61.83	ns
4	D.E (cm)	67.33	71.67	ns
	D.P (cm)	91	97	ns
5	D.E (cm)	41.58	62.67	ns
	D.P (cm)	57.93	87.9	ns

D.E.=diámetro polar; D.P= diámetro polar; ns= no significativo

Rendimiento total

En el análisis de varianza (ANVA) los tratamientos fueron estadísticamente iguales (P ≥ 0.05) en rendimiento total. La media fue de 32.37 ton/ha. Sin embargo la media a pesar de que no se encontró diferencia estadística, numéricamente el hibrido Montreal Escarlett con 36.78 ton/ha fue superior en comparación con Summer Flavor 800 con una producción de 27.96 ton/ha. Figura 1.3.

Figura 1.3. Rendimiento total. Comparación de dos híbridos de sandía bajo fertilización de lenta liberación.



Variables de suelo

En el análisis de varianza (ANVA) no se encontró diferencia significativa entre tratamientos ($P \geq 0.05$) para las variables: amonio y nitratos en el suelo en las diferentes profundidades: 0-30 y 30-60 cm (ppm). La media fue de 7 y 15 ppm respectivamente.

Cuadro 2.2. Resultado de las variables evaluadas en el suelo.

VARIABLE	SUMMER FLAVOR 800	MONTREAL ESCARLETT	SIGNIFICANCIA 0.05
AMONIO 0-30 (ppm)	6.71	6.71	ns
AMONIO 30-60 (ppm)	7.39	7.39	ns
NITRATO 0-30 (ppm)	16.12	14.77	ns
NITRATO 30-60 (ppm)	12.76	17.46	ns

ns= no significativo

Conclusiones

No se encontraron diferencias significativas entre los híbridos de sandía Summer Flavor 800 y Montreal Escarlett en las variables de calidad del fruto, de suelo y rendimiento total, sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos es importante mencionar que a pesar de que no se encontró diferencia estadística, el hibrido Montreal Escarlett obtuvo un rendimiento de 36.78 ton/ha que numéricamente superó a Summer Flavor 800 con 27.96 ton/ha.

Referencias

Alfaia, S.S. Destino de fertilizantes nitrogenados (15N) em um Latossolo Amarelo cultivado com feijão caupi (Vigna unguiculata L.). Acta Amazonica, v.27, p.65-72, 1997.

Hortoinfo. 2014. Diario Digital de Actualidad Hortofruticola. [Internet]. http://www.hortoinfo.es/index.php/4027-prod-mund-sandia-121214

Huitrón, M.V., Díaz, M., Diánez, F., y Camacho F. 2007. Effect of 2, 4 D and CPPU On triploid watermelon production and quality. Horscience 42 (3):559-564.

SIAP. 2015. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [Internet]. https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119

SIAP. 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [Internet]. https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119

Schwember A. y Contreras S. 2011. Revista Agronomía y Forestal n° 42 Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. U.C. [Internet]. agronomia.uc.cl/component/com_sobipro/Itemid,232/fid,218.../task,download.file/.

Mullins, C. A., Smith, A. B. 2001. Performance of watermelon cultivars, plateau experiment station.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

RENDIMIENTO Y CALIDAD DE MAÍZ FORRAJERO EN RESPUESTA A PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN CON INHIBIDORES DE LA NITRIFICACIÓN

García-Sepúlveda, Jorge Luis.[1]; Cueto-Wong, José Antonio.[2*]; Figueroa-Viramontes, Uriel.[2]; Reta-Sánchez, David Guadalupe[2].

[1]Doctorado Interinstitucional en Sustentabilidad de los Recursos Agropecuarios. Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia. Venecia, Gómez Palacio, Dgo. México.
[2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coahuila, México.

***** Autor responsable: cueto.jose@inifap.gob.mx; Blvd. José Santos Valdéz Núm. 1200 Pte., Col. Centro, Matamoros, Coahuila. México. CP 27440, Tel. 01-800-088-2222 Ext. 82438.

Resumen

La Comarca Lagunera es la principal cuenca lechera del país con una producción superior a los 2.43 millones de litros anuales que representan una participación del 20% de la producción nacional. Se cultivan anualmente 110 mil hectáreas de forraje siendo el maíz forrajero el principal cultivo anual. Existe una tendencia a sobrefertilizar, ya que es frecuente la aplicación conjunta de estiércol y fertilizantes químicos. El objetivo del trabajo fue evaluar el rendimiento y la calidad del maíz forrajero en respuesta a cinco programas de fertilización comerciales, tres de los cuales incluyen inhibidores de la nitrificación (DMPP) en su formulación más tres testigos: uno con la fertilización convencional, otro con fertilizante nitrogenado de liberación controlada y un testigo absoluto. En total se tuvieron seis tratamientos con cuatro repeticiones bajo un diseño experimental de bloques al azar y separación de medias con Tukey (0.05). Se determinó el rendimiento de forraje verde, forraje seco, grano y calidad forrajera. El tratamiento que recibió 195 kg N ha^{-1} produjo el más alto rendimiento (13.76 t MS ha^{-1}) y fue estadísticamente igual a uno de los tratamientos con DMPP que solo recibió 138 kg N ha^{-1} (13.27 t ha^{-1}). Se concluye que los fertilizantes con inhibidor de la nitrificación presentan un excelente potencial para reducir la dosis de N en el maíz forrajero.

Palabras Clave:
Inhibidor de la nitrificación, DMPP.

Introducción

La Comarca Lagunera es la principal cuenca lechera del país con una producción superior a los 2.43 millones de litros anuales que representan el 20% de la producción nacional. En La Laguna existe un hato de más de 450 mil cabezas de ganado bovino lechero (SIAP, 2017) y se cultivan anualmente 110 mil hectáreas de forraje, por lo que esta región está posicionada como la principal productora de especies forrajeras con irrigación. El maíz forrajero es el principal cultivo anual, complementándose el patrón de cultivos con alfalfa y sorgo forrajero en primavera-verano y, avena y triticale en otoño – invierno. Existe por parte de los productores una tendencia generalizada a sobrefertilizar el maíz forrajero, especialmente cuando se hace uso al mismo tiempo de estiércoles y fertilizantes químicos.

Este tipo de prácticas se realiza en la lógica de que entre mayor sea el rendimiento esperado, mayor será la demanda y extracción de nutrientes por el cultivo. Esta práctica puede aplicarse dentro de ciertos límites, siempre y cuando se cuente con información básica como: análisis de suelo, agua y características del estiércol a aplicar (Buendía, 2018) y además se mantengan el resto de los factores de producción en su nivel óptimo.

El uso de dosis excesivas de nitrógeno (N), impacta la rentabilidad del cultivo debido a la baja eficiencia de recuperación del N aplicado (Cueto *et al*., 2013), las pérdidas por lixiviación (Ramos, 2007). Además de incrementar el riesgo para la salud humana debido al consumo de agua contaminada con nitratos (Calleros et al., 2012) y de emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente óxido nitroso (N_2O). Estos efectos negativos podrían reducirse con el uso de nuevas tecnologías y programas de fertilización (Adviento *et al.*, 2010).

Una alternativa para minimizar las pérdidas de N proveniente de fertilizantes químicos es el uso de fertilizantes N que incluyen algún inhibidor de la nitrificación (IN). Existen en el mercado diferentes fertilizantes comerciales con IN, que incluyen la molécula DMPP (3,4-dimetilpirazol fosfato) la cual inhibe el proceso de transformación del nitrógeno amoniacal ($N\text{-}NH_4^+$) a nitrógeno nítrico ($N\text{-}NO_3^-$), asegurando, de esta manera su disponibilidad en el suelo durante un periodo mayor de tiempo. La molécula DMPP es altamente selectiva a las bacterias del genero *Nitrosomas*, presenta efecto bacteriostático, además de quedar retenida en el complejo arcilloso, mejorando así la eficiencia en la fertilización nitrogenada. Esta tecnología se comercializa en la región desde hace varios años, sin embargo, no existe información experimental suficiente que soporte sus ventajas agronómicas y ambientales frente a los fertilizantes convencionales.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar seis programas de fertilización con productos con IN (DMPP) contra programas convencionales sobre el rendimiento y calidad de maíz forrajero en la Comarca Lagunera.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó en el lote 13 del Campo Experimental de La Laguna (CELALA – INIFAP) en el ciclo de verano de 2017. El suelo del área experimental es franco-arcilloso con tendencia hacia arenoso.

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del suelo del sitio experimental en el perfil 0-30 cm.

Arena	%	47
Limo	%	22
Arcilla	%	31
pH	Unidades de pH	8.36
Conductividad eléctrica	$dS \cdot m^{-1}$	0.48
Materia orgánica	%	1.2
N disponible ($N\text{-}NO_3 + N\text{-}NH_4$)	$mg \cdot kg^{-1}$	22.2
P disponible	$mg \cdot kg^{-1}$	14

Se determinó la concentración de nitrógeno nítrico, amoniacal y total inorgánico en extracto obtenido a partir de KCl 1M y destilado por arrastre de vapor con MgO y aleación de Devarda.

Descripción de los tratamientos

Cuadro 2. Tratamientos, productos comerciales aplicados y aporte nutricional de cada programa

Tratamiento	Producto(s)	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
1	Sin fertilizar	00	00	00	00	00
2[1]	Urea, MAP	246.5	78	00	00	00
3[2,3,5]	Novatec N-Max® , Novatec Solub 45®	184.5	15	15	00	15
4[5]	Entec 20-10-10®, Entec 26®	138	30	30	00	00
5[2,4,5]	Blaukorn Classic®, Hydrospeed CaB-Max®, Novatec Solub 45®$MgSO_4$, Novatec Premium®	195	11.5	30	26	10.35
6	YaraMila Star®, YaraBela®	178.5	59.5	10.5	55	37.5

[1]Fertilización utilizada por los productores, [2]tratamiento a la semilla: 200 ml de Basfoliar Kelp ® + 200 ml de Basfoliar Zinc ®75 Flo por c/ 20 kg (60 000 semillas), 3fertilización foliar a los 30 DDS, producto: CompoPack ®foliar, [4] Dos fertilizaciones foliares (30 y 40 DDS) y [5]Productos con la molécula DMPP incluida en su formulación.

La preparación del terreno del sitio experimental se realizó de manera convencional, la cual consistió de nivelación con LaserPlane®, barbecho con arado vertical, rastra cruzada, surcado y bordeo. El hibrido utilizado fue Pioneer P3966 W, el cual se promueve como de doble propósito, grano blanco y resistente al acame. La siembra se llevó a cabo el 28 de junio de 2017 en suelo seco con una sembradora neumática de precisión a razón de ocho semillas por metro lineal equivalentes a una densidad de 105 000 semillas por ha.

Cada parcela experimental estuvo conformada por ocho surcos de 0.76 m de separación y 10 m de longitud (60.8 m^2 de superficie). El diseño experimental fue bloque al azar con cuatro repeticiones por tratamiento, Las variables evaluadas fueron: rendimiento en forraje verde, seco y grano y, calidad de forraje.

Todos los programas de fertilización se fraccionaron en dos aplicaciones. La primera se realizó al momento de la siembra, de manera manual, diluyendo la dosis correspondiente de cada tratamiento por parcela en 16 l de agua, de manera que se aplicaran dos litros de solución por surco. Se aplicó el riego de siembra inmediatamente después de la fertilización. La segunda aplicación de fertilizantes se realizó previo al primer riego de auxilio, el 8 de agosto, a los 28 días después de la siembra (DDS), el tipo de riego fue por gravedad con sistema de tubería de multicompuertas. Las láminas de los riegos de auxilio fueron en promedio de 15 cm. Durante el ciclo del cultivo se realizaron controles mecánicos y químicos para el control de la maleza y plagas que se presentaron.

Se aplicó un riego de siembra, un sobre riego y cinco riegos de auxilios a intervalos de aprox. 15 días. La lámina total de riego se estimó en 0.95 m.

Se presentaron varias plagas y maleza durante el ciclo del cultivo. El producto y método de control utilizado se muestran a continuación: 1. Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y gusano elotero (*Helicoverpa Zea*): Permetrina 0.4% GR, Clorpirifós 44.50 C.E., 2. Araña roja (*Tetranychus urticae*):

Abamectina 1.8% C.E. El control de maleza se realizó de manera manual, mecánica y con aplicación de herbicida (glifosato 48% C.E.).

La cosecha de forraje verde se realizó el 11 de octubre (104 DDS) cuando el contenido de materia seca de las plantas era aproximadamente de 33%. Se cosecharon los dos surcos centrales de cada parcela, dejando un metro lineal de surco en cada orilla para reducir el "efecto orilla". La parcela útil fue de 12.16 m^2 (2 surcos * 0.76 * 8 m de largo). Al momento de la cosecha se contabilizaron las plantas en la parcela útil, se separaron cinco plantas al azar las cuales se pesaron en fresco y posteriormente se secaron en estufa a 65 ˚C hasta peso constante. Con estas muestras se estimó el porcentaje de materia seca y se tomaron las muestras que posteriormente se enviaron al laboratorio para determinar la calidad del forraje.

Resultados y Discusión

Los resultados de los parámetros evaluados se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Rendimiento de forraje verde (FV), forraje seco (FS), grano, proteína cruda (PC), fibra en detergente ácido (FDA), fibra en detergente neutro (FDN) y energía neta de lactancia (ENL).

	RENDIMIENTO			CALIDAD FORRAJERA			
Trat.	Rendimiento F.V. (t · ha^{-1})	Rendimiento F.S. (t · ha^{-1})	Rendimiento grano (t · ha^{-1})	PC%	FDA%	FDN%	ENL
1	21.61 b	6.41 b	3.4 a	7.40 a	33.75 a	54.45 a	1.17 a
2	41.94 a	11.47 a	5.13 a	7.75 a	31.03 a	49.93 a	1.28 a
3	41.83 a	12.52 a	4.91 a	8.65 a	33.85 a	52.80 a	1.20 a
4	42.66 a	13.27 a	4.32 a	8.50 a	30.28 a	48.43 a	1.27 a
5	43.26 a	13.76 a	4.35 a	8.20 a	30.35 a	50.55 a	1.23 a
6	43.71 a	13.52 a	3.95 a	8.30 a	29.30 a	48.43 a	1.26 a

Prueba de comparación de medias Tukey. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Rendimiento de forraje verde, forraje seco y grano

Los análisis estadísticos muestran diferencias de los tratamientos solo con respecto al testigo (T1), El promedio de todos los tratamientos superaron en 21 t ha^{-1} de FV al testigo sin fertilizar. El rendimiento de FS, se comportó de manera similar al de FV, ya que la FS es el resultado de multiplicar el FV por el % de MS. No se detectaron diferencias significativas entre tratamientos en el rendimiento de grano, no obstante que los tratamientos que recibieron fertilización superaron en 3.5 t · ha^{-1} al testigo sin

fertilizar.

Calidad de forraje

Los resultados muestran diferencias no significativas ($p>0.05$) entre tratamientos, pero con una clara tendencia del testigo absoluto hacia la menor cantidad en cuanto al contenido de proteína cruda y la energía neta para la lactancia, indicadores básicos de la calidad de los forrajes utilizados por los productores y sobre todo por los encargados de la elaboración de las raciones diarias ofrecidas al ganado.

Conclusiones

Los fertilizantes con inhibidores de la nitrificación DMPP en su formulación son una alternativa viable para reducir la dosis de N en el cultivo del maíz forrajero bajo las condiciones de suelos, clima y manejo de la Comarca Lagunera, al aumentar la eficiencia en el uso de este nutriente al permanecer por más tiempo en formas químicas que se mantienen adheridas al complejo arcilloso.

Referencias

Adviento B. M.A., Kaye, J.P. Bruns, M.A. McDaniel, M.D. McCoy, M. Harkcom, S. 2010. Soil Greenhouse Gas and Ammonia Emissions in Long-Term Maize-Based Cropping Systems. Soil Biology & Biochemestry.SSSAJ. 74: 1623-1630.

Buendía García Alain. 2018. Tesis de Doctorado en Ciencias en Sustentabilidad de los Recursos Agropecuarios. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango. México.

Calleros R., E.Y., M.T. Alarcón H., J. Morán M., J.A. Cueto W., R. Pérez M. y L.E. Sanin. 2012. Caracterización de una zona contaminada por nitratos y su impacto en la salud humana. En: Género, Ambiente y Contaminación por Substancias Químicas. Editores: L.A. Cedillo y F.A. Cano Robles. ISBN: 978-607-8246-13-7. INE – SEMARNAT. México, D.F. 199p.

Cueto W., J.A, D.G. Reta S., U. Figueroa V., H.M. Quiroga G., A. Ramos R. y J. J. Peña C. 2013. Recuperación de nitrógeno aplicado en forma fraccionada en maíz forrajero utilizando 15N. Ingeniería Agrícola y Biosistemas. 5(1), 11-16. ISSN: 2007-3925.

Ramos R. A., 2007. Tesis de Doctorado en Manejo Sustentable de los Recursos Naturales en Zonas Áridas y Semiáridas. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango. México.

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2017. http://infosiap.siap.gob. mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceProd.jsp. Fecha de consulta: 15/03/2017

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

ESTADO NUTRIMENTAL Y DINÁMICA DEL N EN EL SUELO EN MAÍZ FORRAJERO ABONADO CON FERTILIZANTES CON INHIBIDOR DE LA NITRIFICACIÓN

García-Sepúlveda, Jorge Luis.[1]; Cueto-Wong, José Antonio.[2*]; Figueroa-Viramontes, Uriel.[2]; Reta-Sánchez, David Guadalupe[2].

[1]Doctorado Interinstitucional en Sustentabilidad de los Recursos Agropecuarios. Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia. Venecia, Gómez Palacio, Dgo. México.
[2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coahuila, México.

*Autor responsable: cueto.jose@inifap.gob.mx; Blvd. José Santos Valdéz Núm. 1200 Pte., Col. Centro, Matamoros, Coahuila. México. CP 27440, Tel. 01-800-088 Ext. 82438

Resumen

En la Comarca Lagunera (CL) se cultivan 110 mil hectáreas de forrajes para satisfacer parcialmente la demanda que generan 450 mil cabezas de ganado bovino lechero (GBL). El sistema de producción agropecuario se caracteriza por ser intensivo, tecnificado y con tendencia a la sobrefertilización de los cultivos. Aunado a esto, el hato lechero de la CL produce cerca de 600 mil t · año^{1-} de estiércol (en base seca) que se aplican casi en su totalidad en cultivos forrajeros, lo que se traduce en problemas que impactarán el ambiente y la salud humana en el corto o largo plazo. El objetivo de la presente investigación fue evaluar programas y fuentes de fertilización nitrogenada con productos comerciales convencionales o con inhibidores de la nitrificación, sobre el estado nutrimental y la dinámica del N-NO_3^- y N-NH_4^+ en el perfil del suelo. Se establecieron seis tratamientos con cuatro repeticiones bajo un diseño experimental de bloques al azar y separación de medias con prueba de Tukey (0.05). Se determinó el estado nutrimental de las plantas y la concentración de N-NO_3^- y N-NH_4^+ en tres profundidades de suelo (0-30, 30–60 y 60-90 cm). Los tratamientos que recibieron algún tipo de fertilización tuvieron concentraciones superiores al testigo absoluto de nitrógeno, potasio y magnesio. Todos los tratamientos presentaron concentraciones similares tanto de macro como de micronutrientes aun y cuando la diferencia entre algunos de ellos fue de 108.5 kg N-ha^{-1} en el tratamiento 4. Al final del ciclo del cultivo se observó una mayor concentración de N-NO_3 en los tratamientos que recibieron mayores dosis de fertilizante nitrogenado en sus formulaciones convencionales.

Introducción

La CL cuenta con casi medio millón de cabezas de GBL, concentradas en un área en un área de 55 km^2 entre los estados de Coahuila y Durango. Para satisfacer parcialmente la alta demanda de alimento del hato, se cultivan 110 mil hectáreas con cultivos que producen seis millones de toneladas de forraje de alta calidad. El sistema de producción se caracteriza por el alto grado de tecnificación en el sistema de producción (USDA-FAS, 2018). Lo anterior incluye el uso intensivo de maquinaria agrícola, genotipos mejorados, sistemas de riego presurizado y altas dosis de fertilizantes químicos y abonos orgánicos (estiércol bovino crudo o compostado).

La principal fuente de energía y fibra en la dieta del GBL es el maíz forrajero (Rodríguez, 2010), el cual presenta un potencial de rendimiento que fluctúa entre las 22 y 24 t · ha^{-1} de materia seca (MS) y se estima que la remoción de N por ciclo de cultivo varía entre 245 y 270 kg · ha^{-1} (Cueto *et al*., 2006).

Además de lo anterior, en la región se ha estimado que el hato bovino lechero produce alrededor de 619,000 t $año^{-1}$ de estiércol (en base seca) las cuales son aplicadas casi en su totalidad en los cultivos forrajeros establecidos en las unidades de producción, con dosis de aplicación que van desde 60 hasta más de 200 t ha^{-1} $año^{-1}$ (Figueroa *et al*., 2015).

La excesiva fertilización con el fin de tratar de maximizar los rendimientos, la baja eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN), así como la aplicación de abonos orgánicos en cantidades superiores a los requerimientos del cultivo, ocasionan una baja rentabilidad del cultivo y un alto potencial de contaminación con nitratos (NO_3) en los cuerpos de agua, los cuales pueden llegar ahí por lixiviación (Cueto *et al*., 2006). En sistemas agropecuarios intensivos como en la Comarca Lagunera, Noguera (2006) indica que los nitratos lixiviados de origen agrícola, derivados del uso excesivo de fertilizantes nitrogenados, son la mayor fuente de contaminación de los acuíferos y aguas superficiales, con impacto a escala mundial desde el punto de vista ambiental y sanitario.

Una alternativa para reducir los problemas ocasionados por la lixiviación de nitratos es el empleo de fertilizantes nitrogenados que contienen inhibidor de la nitrificación (IN), como es el caso del DMPP (3,4-Dimetilpirazol fosfato), que mantiene el N de tal forma que pueden permanecer más tiempo adherido al complejo arcilloso, reduciendo la potencial lixiviación.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar dosis de fertilización nitrogenada en cinco programas de fertilización con productos comerciales convencionales o con fertilizantes con inhibidor de la nitrificación sobre el estado nutrimental y dinámica del N inorgánico en el suelo.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó en el Campo Experimental La Laguna (CELALA – INIFAP) en el ciclo de verano de 2017. El suelo del sitio experimental es franco-arcilloso, pero con alto porcentaje de arena (47%), moderadamente alcalino (pH 8.4), no salino (0.48 $dS \cdot m^{-1}$), bajo en materia orgánica (1.2%) y bajo en N y fósforo disponibles (22.2 y 14 $mg \cdot kg^{-1}$, respectivamente).

La preparación del terreno se realizó de manera convencional; nivelación con Laser, barbecho con arado vertical, doble rastreo, surcado y bordeo. El hibrido utilizado fue Pioneer P3966 W, de doble propósito, grano blanco y resistente al acame. La siembra se llevó a cabo el 28 de junio de 2017 en suelo seco con una sembradora neumática de precisión. Se sembraron ocho semillas por metro lineal equivalentes a una densidad de 105 000 semillas por ha. La parcela experimental consistió de ocho surcos de 0.76 m de separación y 10 m de longitud (60.8 m^2). Se evaluaron seis tratamientos con cuatro repeticiones. El diseño experimental fue bloque al azar y la prueba de separación de medias fue Tukey (0.05). Las variables evaluadas fueron la concentración foliar de macro y micro nutrientes en la etapa de floración del cultivo y la de $N\text{-}NO_3^-$ y $N\text{-}NH_4^+$ en los estratos 0-30, 30-60 y 60-90 cm. Se aplicó un riego de siembra, un sobre riego y cinco riegos de auxilio a intervalos de aprox. 15 días. La lámina total de riego se estimó en 0.95 m.

El monitoreo, manejo y control de plagas y enfermedades fue el recomendado en la región por el INIFAP-CELALA. La cosecha se realizó el 11 de octubre (104 DDS) cuando el contenido de materia seca de las plantas era aproximadamente del 33%.

Descripción de los tratamientos

Cuadro 1. Tratamientos, productos comerciales aplicados y aporte nutricional de cada programa de fertilización.

Trat.	Producto(s)	N %	P_2O_5 %	K_2O %	CaO %	MgO %	S %	Zn %	B %	Fe %
1	Sin fertilizar	00	00	00	00	00	00	00	00	00
2[1]	Urea, MAP	246.5	78	00	00	00	00	00	00	00
3[2,3,5]	Novatec N-Max® , Novatec Solub 45®	184.5	15	15	00	06	15	06	0.06	0.18
4[5]	Entec 20-10-10®, Entec 26®	138	30	30	00	00	120	00	00	00
5[2,4,5]	Blaukorn Classic®, Hydrospeed CaB-Max®, Novatec Solub 45®$MgSO_4$, Novatec Premium®	195	11.5	30	26	10.35	29	.004	0.22	0.11
6	YaraMila Star®, YaraBela®	178.5	59.5	10.5	55	37.5	14	0.63	00	00

[1]Fertilización tradicional utilizada por los productores; [2]Tratamiento a la semilla: 200 ml de Basfoliar Kelp ® + 200 ml de Basfoliar Zinc ®75 Flo por cada 20 kg de semilla; [3]Fertilización foliar a los 30 DDS con CompoPack ®foliar; [4] Dos fertilizaciones foliares (30 y 45 DDS) con CompoPack ®foliar, y [5]Producto con inhibidor de nitrificación (DMPP) en su formulación.

Todos los programas de fertilización se fraccionaron en dos aplicaciones. La primera aplicación se realizó al momento de la siembra, de manera manual, diluyendo la dosis por parcela en 16 l de agua, de manera que se aplicaran dos litros de solución por surco. El riego de siembra se aplicó inmediatamente después de la primera fertilización. La segunda aplicación se realizó previo al primer riego de auxilio, el 8 de agosto, a los 28 días después de la siembra (DDS), el tipo de riego fue por gravedad con sistema de tubería de multicompuertas.

Muestreo foliar y muestreo de suelo

Se realizó un muestreo foliar en la etapa de floración masculina a los 45 DDS, tomando la hoja opuesta a la mazorca de 20 plantas escogidas al azar dentro de cada parcela. Las muestras se secaron en estufa de aire forzado a una temperatura de 65º C hasta alcanzar peso constante. El nitrógeno se analizó por el método Kjeldahl, fósforo por el método de molibdato-vanadato en espectrofotómetro de rango visible. K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn se analizaron por absorción atómica. Al inicio del experimento y durante el ciclo del cultivo (cuatro veces, previo a los riegos de auxilio) y después de la cosecha del maíz, se tomaron en cada parcela experimental muestras de suelo a tres profundidades (0-30, 30-60 y 60-90 cm) en tres puntos para posteriormente hacer una muestra compuesta por profundidad.
Las muestras se obtuvieron con una barrena de caja, se secaron al ambiente, se molieron manualmente y se tamizaron hasta pasar por un tamiz de 2 mm de abertura. A las muestras se les determinó la concentración de nitrógeno nítrico, amoniacal y total inorgánico en el extracto obtenido con KCl 1M y destilado por arrastre de vapor con MgO y aleación de Devarda.

Resultados y Discusión

Estado nutrimental

En el Cuadro 2 puede observarse que todos los tratamientos tuvieron concentraciones más altas de N, K, Mg y Mn que respecto el testigo absoluto (tratamiento 1) y que la concentración de N más alta (2.44%) se obtuvo en el tratamiento 2 (testigo regional que recibió 246.5 kg N·ha^{-1}) y que resultó estadísticamente igual a los tratamientos 3, 5 y 6, pero que recibieron en promedio 60.5 kg N·ha^{-1} menos que el testigo regional. De llamar la atención es el hecho que el tratamiento 4 tuvo solo 0.06% menos N que los mejores tratamientos, pero recibiendo 108.5 kg N·ha^{-1} menos que el tratamiento 2 (testigo regional). El tratamiento 4 resultó estadísticamente igual al resto de los tratamientos, excepto el testigo, en cuanto a la concentración del resto de los nutrientes. El tratamiento 3, que recibió una aplicación foliar con producto comercial Compo Pack® a los 30 DDS resulto con las mayores concentraciones de Mg y Fe foliar. El tratamiento 5 fue el más complejo ya que incluyó aplicaciones foliares a los 30 y 45 DDS. Sin embargo, solo superó en P a los demás tratamientos. De acuerdo con el diseño de tratamientos usado es complicado sacar conclusiones demasiado específicas en cuanto a la nutrición global del cultivo debido a la mezcla de nutrientes de varios de los programas de fertilización evaluados.

Cuadro 2. Concentración nutrimental en hojas de maíz forrajero tomadas en la etapa de floración (45 DDS).

Trat.	----- % -----						mg · kg^{-1} (ppm)			
	N	P	K	S	Mg	Ca	Fe	Cu	Mn	Zn
1	1.50c	0.22a	1.81c	0.27a	0.183b	0.61a	217.96a	6.82b	65.82b	51.23a
2	2.44a	0.22a	2.24a	0.18a	0.240a	0.51a	300.76	10.15a	97.01a	51.82a
3	2.41a	0.24a	2.16ab	0.17a	0.270a	0.61a	309.35	10.79b	92.49a	47.42a
4	2.03b	0.22a	2.17ab	0.23a	0.230a	0.52a	290.75a	6.27a	97.21a	48.04a
5	2.36ab	0.25a	2.21a	0.25a	0.240a	0.55a	217.96a	10.33a	88.28a	49.86a
6	2.41a	0.23a	2.00b	0.25a	0.260a	0.66a	258.32a	29.84a	90.86a	61.08a

Prueba de comparación de medias Tukey. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Dinámica del nitrógeno en el perfil del suelo.

En el Cuadro 3 se presentan las concentraciones de N inorgánico en el suelo de cada uno de los tratamientos y a cada una de las tres profundidades del perfil del suelo. Se puede observar que las mayores concentraciones de N-NO_3 en el estrato 60-90 cm se presentaron en los tratamientos 6 y 2, que recibieron 178.5 y 246.5 kg N·ha^{-1}, respectivamente a base de fertilizantes convencionales y sin inhibidor de la nitrificación. La concentración de N-NO_3 en estos tratamientos fue superior en 5.5 mg·kg^{-1} con respecto a los tratamientos 1, 3, 4 y 5 los cuales recibieron 0, 184.5, 138 y 196 kg N·ha^{-1}. La menor concentración de N-NO_3 en este mismo fue perfil fue en el tratamiento 5, que recibió solo 195 kg N·ha^{-1} además de contener el inhibidor de la nitrificación.

En el N inorgánico total residual después de la cosecha del maíz es potencialmente propenso a ser lixiviado puede que eventualmente contribuir a la contaminación de los acuíferos (Cueto *et al*., 2018). En este estudio se encontró que el N inorgánico total fue estadísticamente igual en los estratos de suelo 0-30 y 0-30-60 cm. Sin embargo, los tratamientos 2, 3, 4 y 6, estadísticamente iguales entre sí, dejaron la mayor concentración de N inorgánico total en el estrato de 60-90 cm. Los tratamientos con menor cantidad de N residual en este estrato fueron el testigo absoluto y el tratamiento 5, que contenía inhibidor de la nitrificación.

Cuadro 3. Concentración $N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NH_4$ y total inorgánico en el perfil del suelo después de la cosecha.

Trat.	$N\text{-}NH_4$ mg·kg^{-1}			$N\text{-}NO_3$ mg·kg^{-1}			$N\text{-}NH_4 + N\text{-}NO_3$ mg·kg^{-1}		
	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
1	10.23 a	11.48 a	10.68 b	10.65 a	8.60 a	9.03 a	20.88 a	20.08 a	19.63 b
2	9.83 a	12.70 a	18.03 a	11.48 a	15.18 a	16.80 a	21.30 a	27.88 a	34.83 a
3	13.10 a	11.88 a	13.95 ab	14.75 a	9.00 a	12.68 a	27.88 a	20.88 a	26.63 ab
4	12.70 a	11.48 a	14.73 ab	7.78 a	8.60 a	14.75 a	20.48 a	20.18 a	29.50 a
5	11.88 a	14.73 a	11.05 b	9.83 a	8.23 a	8.20 a	21.73 a	22.95 a	19.25 b
6	9.83 a	11.88 a	15.55 a	13.93 a	9.83 a	17.20 a	23.78 a	21.70 a	32.78 a

Conclusiones:

Los fertilizantes con inhibidor de la nitrificación (DMPP) incluidos en su formulación son una alternativa viable para reducir la dosis de fertilización nitrogenada del maíz forrajero en la Comarca Lagunera y para reducir del riesgo de contaminación por nitratos de los cuerpos de agua subterráneos, al permanecer el N más tiempo en forma amoniacal, adherido a la fracción arcillosa del suelo y aumentando la disponibilidad de N para el cultivo

Referencias

Cueto, W. J.A., Reta S. D.G., Barrientos R. J. L., González C. G., Salazar S. E. (2006). Rendimiento de maíz forrajero en respuesta a fertilización nitrogenada y densidad de población. Revista Fitotecnia Mexicana. ISSN: 0187-7380. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. México.

Cueto, W.J.A., Figueroa, V.U., García, S.J.L., Ochoa, M.E. (2018). Evaluación de fertilizantes con inhibidor de la nitrificación (DMPP) en el cultivo de maíz forrajero en La Comarca Lagunera. Informe Técnico de Investigación Interno. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental de la Laguna.

Figueroa, V.U., Núñez, H.G., Reta, S.D.G., Flores, L.H.E. (2015). Balance regional de nitrógeno en el sistema de producción leche-forraje de la Comarca Lagunera, México. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias.2015; 6(4):377-392. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Nogueria, V.L. Evaluación del DMPP (3,4-Dimetilpirazol fosfato) sobre la concentración de nitratos y amonio de un suelo arenado cultivado con pepino bajo invernadero. (2016). Tesis maestría. Universidad de Almería, España.

Rodríguez, H. S., El Maíz en la dieta de las vacas lecheras (2010). Simposio de Innovación Ganadera. Instituto Mexicano del maíz. UAAAN.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EFECTO DE NANOPARTICULAS DE ZnO EN LA GERMINACION Y CRECIMIENTO DE *Cucurbita pepo*

Flores-Hernández, E.A.[1*]; Méndez-Arguello B.[2]; Díaz-Barriga E.[3]; González-Torres A.[1], Reyes-Carrillo J.L.[1]; Lira-Saldívar R.H.[2]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Torreón, Coahuila. México.
[2]Departamento de Plásticos en la Agricultura, Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila. México.
[3]Laboratorio Central de Instrumentación Analítica, Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila. México.

*M.C. Eduardo Aron Flores Hernández: efloher@uaaan.edu.mx; Calle Raúl López Sánchez S/N, Col. Valle Verde, Torreón, Coahuila. México. CP 27054; Tel. +52(871) 729 7613

Resumen

El incremento de la población mundial representa un serio reto para la producción agrícola, los sistemas alimentarios mundiales necesitan de la implementación de estrategias y tecnologías modernas enfocadas a incrementar el rendimiento de los cultivos y en consecuencia la producción de alimentos. Por tal motivo, el uso de la nanotecnología aparece como una herramienta acorde a los nuevos desafíos, capaz de diseñar novedosas formulaciones que ofrecen el potencial de aplicarse como fertilizantes, por ejemplo, al diseñar nanopartículas (NPs) de ZnO y CuO, que proporcionan metales esenciales biodisponibles para las plantas.

Este trabajo evaluó el efecto de la aplicación foliar de NPs de ZnO en variables de crecimiento en *Cucurbita pepo.*

Los tratamientos fueron:

T1: Control (Fertilizante comercial), T2: Fertilizante comercial + 25 mg L^{-1} de NPs de ZnO, T3: Fertilizante comercial + 50 mg L^{-1} de NPs de ZnO, T4: Fertilizante comercial + 100 mg L^{-1} de NPs de ZnO, T5: Fertilizante comercial + 200 mg L^{-1} de NPs de ZnO, T6: Fertilizante comercial + 400 mg L^{-1} de NPs de ZnO.

A excepción de la altura, todas las variables muestran un incremento con respecto al control. El diámetro mostro un incremento máximo del (5%) para tratamiento de 100 mg L^{-1}. Para el número de hojas el incremento máximo fue (8.6%) en el tratamiento de 25 mg L^{-1} y para el área foliar la diferencia máxima fue (11.42%) en el tratamiento de 400 mg L^{-1}, comprobando el efecto en promoción del crecimiento aun cuando la planta ya cuenta con nutrición.

Palabras clave

Nano fertilizante, hortalizas; promotor crecimiento; fitotoxicidad.

Introducción

Se define nanotecnología como la creación de materiales y dispositivos con nuevas y diferentes propiedades, a través de la manipulación de átomos individuales o moléculas, con un tamaño en el rango de 1 a 100 nanómetros (nm), a los que se nombra nano materiales o nanopartículas. Debido a su alta relación área de superficie a volumen, modifican drásticamente sus propiedades físico químicas comparado contra los materiales originales (NPs) (Tarafdar *et al*., 2014; Sertova, 2015).

La Comisión Europea reconoce la nanotecnología como una de sus seis tecnologías claves que contribuyen a la competitividad sostenible y al crecimiento de varios sectores industriales. El sector agrícola presente retos interesantes para los investigadores, que buscan con la nanotecnología, resolver problemas como la sostenibilidad, seguridad alimentaria y cambio climático (Parisi *et al*., 2014). La gran variedad de áreas en las que las NPs se pueden aplicar, incluyen: electrónica cosméticos, medio ambiente, energía, biomedicina, materiales, entre otros. Este incremento en el uso de las NPs provoco que algunos investigadores buscaran estudiar el efecto de estas al aplicarlas en plantas (Pandey *et al*., 2010).

El zinc es un micronutriente esencial para humanos, animales y plantas, es el segundo metal de transición más abundante en organismos después del hierro y está involucrado en una amplia variedad de procesos metabólicos, como la síntesis de carbohidratos, lípidos, ácidos nucleicos y proteínas. Además, el zinc es el único metal que se representa en las seis clases de enzimas, es decir, oxidorreductasas, transferasas, hidrolasas, liasas, isomerasas y ligasas. Otro aspecto importante del zinc es que controla la síntesis de ácido indol acético, una fitohormona que controla el crecimiento de la planta. También es necesario para la síntesis de triptófano, división celular, mantenimiento de la estructura de la membrana, síntesis de clorofila y actúa como cofactor regulador en la síntesis de proteínas, ayuda a equilibrar la producción de especies reactivas de oxigeno (ROS por sus siglas en ingles) y la eliminación de deshechos debido a su presencia en la superóxido dismutasa (SOD) (Prasad *et al*., 2012; Burman *et al.*, 2013; Tarafdar *et al*., 2014; Davarpanah *et al*., 2016).

La aplicación de NPs de ZnO ha mostrado una mejora significativa en biomasa, longitud de tallo, contenido de raíz, clorofila, proteína, y actividad de la enzima fosfatasa en *Vigna radiado, Cicer ariatium, Cucumis sativas, Raphanus sativus, Brassica napus* y *Haba de racimo* (Chhipa, 2016).

Por otro lado, el uso de fertilizantes en aerosol para aplicación foliar que incluyen microelementos como Zn, B, Cu, Mn y Fe, han demostrado tener una buena eficacia y una rápida respuesta de la planta (Davarpanah *et al*., 2016). Sin embargo, es importante controlar la concentración, ya que el uso de NPs conteniendo estos metales en dosis bajas funciona como fertilizante, pero en dosis más altas actúan como pesticidas, los metales son esenciales para la función celular, pero tóxicos al pasar de un determinado límite (Anderson *et al*., 2018).

Se ha reportado que las NPs ZnO reducen la presencia de enfermedades gracias a su efecto antifúngico, al causar malformación de hifas que causan la muerte de los hongos (Méndez-Argüello *et al*., 2016).

En diversos estudios que muestran el efecto promotor de crecimiento de las NPs ZnO sobre las plantas, realizan aplicaciones foliares de una concentración determinada, sin el soporte de una solución nutritiva (Prasad *et al*., 2012; Burman *et al.*, 2013; Adhikari *et al*., 2015). Por tal motivo, en este trabajo se pretende determinar el efecto de las NPs ZnO sobre *C. pepo* tipo *zucchini*, al utilizar un fertilizante comercial como ayuda para la nutrición de fondo.

Materiales y Métodos

Preparación de la disolución con nanopartículas

Se emplearon nanopartículas de ZnO comerciales de la compañía Nanostructured & Amorphous Materials, con un tamaño promedio en el rango de 10 a 40 nm. Para corroborar los datos del fabricante, las NPs fueron analizadas por difracción de rayos X (XRD) para conocer su composición y cristalinidad, y por microscopia electrónica de barrido (SEM) y de transmisión (TEM) para conocer su tamaño y morfología.

Se realizaron los cálculos necesarios para preparar 400 ml de solución con las siguientes concentraciones: 25, 50, 100, 200 y 400 ppm. El procedimiento para la preparación se dio como sigue: En un tubo Falcon estéril con volumen de 50 mL, se agregaron los miligramos necesarios para cada solución (10, 20, 40, 80 y 160 mg respectivamente), posteriormente se aforo con agua destilada hasta los 50 mL, se agregó una gota de dispersante y se procedió a sonicar los 5 tubos en un sonicador Branson 2510 por un lapso de 30 minutos. Posteriormente la solución dispersada se vacío a un contenedor de 400 mL y se aforo con agua destilada hasta dicho volumen.

Manejo del cultivo

Las semillas de *Cuccurbita zucchini* se sembraron directamente a macetas de 1.77 L de volumen, preparados con un sustrato de peat moos: zeolita (70:30 v/v). Durante el desarrollo del cultivo se aplicó fertilización de fondo, con solución nutritiva comercial para hortalizas, Hydro Enviroment, según las instrucciones del producto. Se diluyeron 30 g del producto en 20 L de agua destilada, que corresponde a 1,500 mg L^{-1}, para finalmente adicionar 200 mL de solución nutritiva por planta cada tercer día. El riego fue diario de forma manual. La duración del experimento fue de 28 días.
En la Tabla 1 se establece la concentración de nutrientes para cada aplicación de acuerdo con la garantía de composición del producto.

Tabla 1. Concentración de nutrientes adicionados con cada aplicación.

Nitrógeno Total (N)	Fosforo asimilable (P_2O_5)	Potasio asimilable (K_2O)	Zinc
0.015 mg L^{-1}	9.6 X 10^{-3} mg L^{-1}	0.0486 mg L^{-1}	1.85 X 10^{-8} mg L^{-1}

Aplicación foliar de las NPs

Las NPs de ZnO en solución se prepararon con las siguientes concentraciones: 25, 50, 100, 200 y 400 mg L^{-1}, en agua destilada. Se dispersaron por medio de un sonicador marca Branson modelo 2510, durante 30 minutos. Se aplico 1 mL de solución por planta, de forma manual una vez por semana.

Variables de crecimiento

Las variables se midieron a la mitad y al final del ciclo. Se determinó el área foliar con la fórmula: (Largo)(Ancho)(Factor de corrección). El factor de corrección corresponde a 0.75, se midió la altura de la planta, numero de hojas, longitud de raíz y biomasa seca (hojas, tallo, raíz), este corresponde a un muestreo destructivo, por lo que se dejo al final del experimento para todas las plantas.

Análisis estadístico de los datos

Para este trabajo, se utilizó un diseño completamente al azar con seis tratamientos y seis repeticiones para cada tratamiento. Se considera una unidad experimental una planta de calabacita.

Los tratamientos fueron los siguientes:

T1: Control (Solución nutritiva como fertilizante de fondo), T2: Fertilizante de fondo + 25 mg L^{-1} de NPs de ZnO, T3: Fertilizante de fondo + 50 mg L^{-1} de NPs de ZnO, T4: Fertilizante de fondo + 100 mg L^{-1} de NPs de ZnO, T5: Fertilizante de fondo + 200 mg L^{-1} de NPs de ZnO, T6: Fertilizante de fondo + 400 mg L^{-1} de NPs de ZnO.

Los datos se analizaron mediante análisis de varianza y comparación de medias de Duncan ($\alpha \leq 0.05$) con el programa estadístico Infostat Versión 2017.

Resultados y Discusión

Caracterización de las NPs de ZnO.

La morfología y microestructura de las muestras se examinaron mediante microscopía electrónica de transmisión convencional y de alta resolución (TEM y HRTEM) y difracción de electrones de área seleccionada (SAED) usando un microscopio FEI-TITAN 80-300 kV operado a una tensión de aceleración de 300 kV. El espécimen para estos estudios se preparó depositando y evaporando una gota de la solución coloidal sobre rejillas de cobre recubiertas de carbono. El procesamiento de las micrografías TEM y el análisis de las imágenes HRTEM mediante transformada rápida de Fourier (FFT) se llevaron a cabo utilizando el software Digital Micrograph 3.7.0 (Gatan Software, Inc, Pleasanton, CA, EE. UU.), y se atribuyó el patrón SAED a una fase cristalina de óxido de zinc (archivo del Comité Conjunto sobre Difracción de Polvo No. 74-0534, hexagonal, P63mc (186).

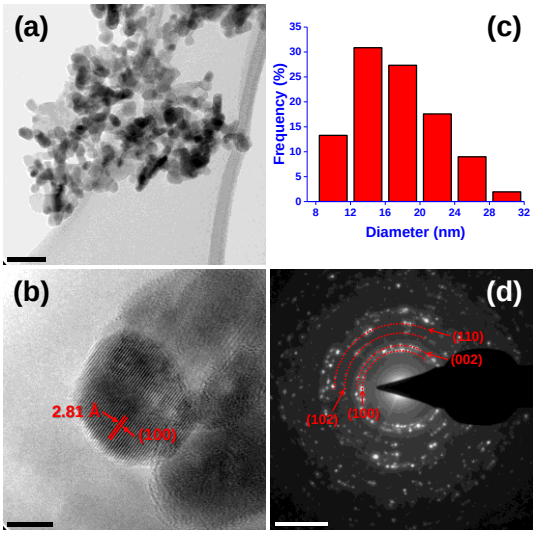


Figura 1. Las micrografías corresponden a la muestra NP de ZnO. (a) y (b) Imagen TEM típica de NP y micrografía HRTEM de una nanopartícula, respectivamente. (c) Distribución del tamaño de los NP y (d) Patrón SAED típico obtenido para el área observada en el panel (a).

La Figura 1 (a) muestra una imagen TEM típica de la muestra de ZnO. Esta micrografía puede distinguirse claramente de la morfología de las nanopartículas (NP) cuasi esféricas. Estas NP aparecen bien dispersas en la rejilla TEM. En la figura se muestra una imagen representativa de HRTEM de una nanopartícula. 1 (b). En esta imagen, se observan claramente franjas de celosía con un espaciado de 2,81 Å que corresponde a los planos {100} de celosía de una estructura hexagonal de óxido de zinc. La Figura 1 (c) muestra la distribución de tamaños de los NP obtenidos midiendo más de 300 partículas. La mayoría de las partículas de esta muestra (~ 75%) mostraron diámetros de 12 a 24 nm, y ~ 30% exhibieron tamaños mayores de 12 y menores a 20 nm. La Figura 1 (d) es un patrón SAED representativo de la muestra de ZnO. Este patrón está constituido por anillos irregulares asociados a los planos (100), (002), (102) y (110) de la estructura cristalina del óxido de zinc.

Comportamiento fisiológico

El resultado de los tratamientos sobre *C. pepo* se muestra en la Tabla 2 (mitad del ciclo) y Tabla 3 (final del ciclo). Se puede observar que, durante el desarrollo de la planta, la aplicación adicional de NPs de ZnO favorece el incremento del diámetro, numero de hojas y área foliar en comparación con el control, sin embargo, al finalizar el experimento ya no se percibe diferencia estadística en ninguna variable.

Tabla 2. Efecto de la aplicación foliar de NPs ZnO en diferentes variables fisiológicas de *C. pepo* en mitad del ciclo.

	Tratamientos					
Variables	Control	Nutrición de fondo + 25 mg L^{-1} ZnO	Nutrición de fondo + 50 mg L^{-1} ZnO	Nutrición de fondo + 100 mg L^{-1} ZnO	Nutrición de fondo + 200 mg L^{-1} ZnO	Nutrición de fondo + 400 mg L^{-1} ZnO
Altura (cm)	3.37±0.14a	3.40±0.10a	3.50±0.17a	3.57±0.03a	3.73±0.09a	3.68±0.30a
Diámetro (mm)	10.05±0.27ab	10.17±0.19ab	10.07±0.24ab	10.65±0.38b	9.52±0.14a	10.43±0.33b
Numero de Hojas	7.67±0.21ab	8.33±0.33b	8.17±0.31b	7.67±0.21ab	7.67±0.21ab	7.00±0.00a
Área Foliar (cm^2)	869.74±31.50a	896.05±37.08ab	850.05±23.64a	918.83±17.71ab	914.29±18.39ab	969.15±19.18b

Media (n=6) ± error estándar de la media. Letras diferentes en la misma fila son estadísticamente diferentes.

A excepción de la altura, todas las variables muestran un incremento con respecto al control. Sin embargo, los valores numéricos de la altura nos muestran una tendencia en favor del crecimiento conforme se aumentan las concentraciones aplicadas de NPs ZnO. El diámetro mostro un incremento máximo del 5% para tratamiento de 100 mg L^{-1} con respecto al control. Para el número de hojas se vio un incremento máximo del 8.6% en el tratamiento de 25 mg L^{-1} y para el área foliar se observó una diferencia máxima de 11.42% en el tratamiento de 400 mg L^{-1}.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Méndez-Argüello *et al.*, (2016) donde aplico NPs ZnO puras en cultivo *Capsicum annuum*, encontrando un ligero incremento en el número de hojas e índice de clorofila, así como también un incremento del 11.8% en la longitud de la raíz.

Tabla 3. Efecto de la aplicación foliar de NPs ZnO en diferentes variables fisiológicas de *C. pepo* al final del ciclo.

	Tratamientos					
Variables	Control	Nutrición de fondo + 25 mg L^{-1} ZnO	Nutrición de fondo + 50 mg L^{-1} ZnO	Nutrición de fondo + 100 mg L^{-1} ZnO	Nutrición de fondo + 200 mg L^{-1} ZnO	Nutrición de fondo + 400 mg L^{-1} ZnO
Altura (cm)	4.35±0.13a	4.42±0.44a	4.25±0.21a	4.00±0.29a	4.08±0.24a	4.00±0.22a
Diámetro (mm)	11.12±0.34a	10.43±0.20a	10.62±0.30a	11.13±0.57a	10.22±0.21a	10.62±0.22a
Numero de Hojas	15.33±0.95a	16.50±0.85a	17.50±1.31a	18.00±0.37a	15.67±0.49a	15.83±0.95a
Área Foliar (cm^2)	1493.41±146.87a	1541.19±222.45a	1871.69±351.59a	1661.24±66.96a	1447.28±86.90a	1330.57±126.93a

Media (n=6) ± error estándar de la media. Letras diferentes en la misma fila son estadísticamente diferentes

Para el final de experimento, no se observa diferencia estadística en ninguna de las variables, esto puede deberse a que el volumen de la maceta limito el crecimiento radicular de la planta, llegando a un tamaño máximo, aunque se aplicaran los nutrientes necesarios. Sin embargo, el potencial efecto fitotóxico debido a las NPs ZnO podría ser el responsable por el estancamiento en el crecimiento de la calabacita, ya que a la concentración de 400 mg L^{-1}, se presentó la tasa más baja área foliar. Burman *et al*., (2013) señalan que la aplicación de dosis elevadas de NPs ZnO en plántulas de garbanzo retrasan su crecimiento, en contra parte de la aplicación de dosis bajas que generan una acumulación mayor de biomasa.

La teoría actual sugiere que las NPs entran en las células de las plantas por medio del sistema estomático o vascular. La vía estomática tiene un límite de exclusión de tamaño y una alta velocidad de transporte. Al enterar las NPs por la apertura estomática y los nano poros naturales, se mejoran las actividades metabólicas de la célula mejorando la producción de los cultivos (Tarafdar *et al*., 2014)

Conclusiones

La aplicación de NPs ZnO demostró su capacidad promotora de crecimiento en las etapas tempranas del experimento, posiblemente por su relación en la producción del fitoestimulante hormonal, el ácido indolacético y por qué es indispensable para muchos procesos metabólicos. Sin embargo, es posible una bioacumulación de NPs en la planta que detuvo su crecimiento hacia el final de experimento, por lo cual se propone desarrollar nuevos experimentos enfocados en encontrar las concentraciones óptimas para la promoción del crecimiento.

Referencias

Adhikari, T., S. Kundu y A. S. Rao. 2015. Zinc delivery to plants through seed coating with nano-zinc oxide particles. Journal of Plant Nutrition 39(1): 136-146.

Anderson, A. J., J. E. McLean, A. R. Jacobson and D. W. Britt. 2018. CuO and ZnO Nanoparticles Modify Interkingdom Cell Signaling Processes Relevant to Crop Production. J Agric Food Chem 66(26): 6513-6524.

Burman U., M. Saini and P. Kumar. 2013. Effect of oxide nanoparticles on growth and antioxidant sustem of chickpea seedlings. Toxicological & Environmental Chemistry. 95(4): 605-612.

Chhipa Hemraj. 2016. Nanofertilizers and nanopesticides for agriculture. Environ Chem Lett. 15(1): 15-22.

Davarpanah, S., A. Tehranifar, G. Davarynejad, J. Abadía and R. Khorasani. 2016. Effects of foliar applications of zinc and boron nano-fertilizers on pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani) fruit yiled and quality. Scientia Horticulturae. 210: 1-8.

Méndez Argüello B., I. Vera Reyes, E. Mendoza, L.A. García Cerda, B.A. Puente Urbina and R.H. Lira Saldívar. 2016. Growth promotion of *Capsicum annuum* plants by zinc oxide nanoparticles. Nova Scientia. 8(2): 140-156.

Pandey, A.C., S.S. Sanjay and S.Y. Raghvendra. 2010. Application of ZnO in influencing the growth rate of *Cicer arietinum*. Journal of Experimental Nanoscience. 5(6): 488-497.

Parisi, C., M. Vigani and E. Rodríguez-Cerezo. 2014. Agricultural Nanotechnologies: ¿What are the current possibilities? Nano Today. 10: 124-127.

Prasad, T.N.V.K.V., P. Sudhakar, Y. Sreenivasulu, P. Latha, V. Munaswamy, K. Raja Reddy, T.S. Sreeprasad, P.R. Sajanlal and T. Pradeep. 2012. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. Journal of Plant Nutrition. 35: 905-927.

Sertova, N.M. 2015. Application of nanotechnology in detection of mycotoxins and in agricultural sector. Journal of Central European Agriculture. 16(2): 117-130.

Tarafdar, J.C., R. Raliya and H. Mahawar. 2014. Development of Zinc Nanofertilizer to Enhance Crop Production in Pearl Millet (*Pennisetum americanum*). Agric Res. 3(3): 257-262.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

BIOFERTILIZACIÓN CON BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO Y SU EFECTO EN *Capsicum chinense* JACQ.

Mejía-Bautista, M.A.[2]; Ruiz-Torres, N.A.[2]; García-Ramírez, A.[1]*; Cristóbal-Alejo, J.[1] y Reyes-Ramírez, A.[1]

[1]Tecnológico Nacional de México, Campus IT Conkal. Conkal, Yucatán. México.
[2]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buena Vista, Saltillo, Coahuila, México.

*Autor para correspondencia: alexgara24@gmail.com Calle 26 S/N por 19 y 21, Col. Centro, Conkal, Yucatán, México. CP 97345; Tel. +52(991)-13-80-02

Resumen
Las rizobacterias solubilizadoras de fosfatos, tienen efecto sobre la promoción de crecimiento vegetal y son una alternativa para mejorar la producción y rendimiento de los cultivos hortícolas como es el caso del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), incluyéndola como parte de la biofertilización del cultivo. Se evaluaron dos cepas del género *Bacillus*, caracterizadas por sus propiedades relacionadas con la promoción del crecimiento vegetal y biofertilizantes; específicamente la solubilización de fosfato *in vitro*. Se seleccionaron para realizar pruebas *in vivo* en condiciones protegidas en el cultivo chile habanero. Se aplicó cuatro niveles de fertilización del fósforo mineral (0, 30, 60 y 100 %) para determinar la actividad solubilizadora de fosfato en campo. Las cepa de *Bacillus* sp. CBRF11 con 60 % de fósforo (P) mineral, mejoró la disponibilidad de este elemento, aumentando los parámetros de vigor de las plantas, destacando los parámetros de número de frutos con 46.67 por planta^{-1} y el rendimiento con 280.63 g planta^{-1}. Aumentando en el número de frutos en un 41.42 % y el rendimiento por planta de 45.81 %, respecto al testigo convencional con el 100 % de fertilización fosfatada. . Sin embargo, para el parámetro de asimilación de fósforo en *C. chinense* inoculados con *Bacillus* se obtuvo una mayor asimilación de P con el tratamiento de la cepa *Bacillus* sp. CBRF 11 más el 30 % de P mineral, obteniendo 207.01 mg.planta^{-1}.

Palabras clave: *Capsicum chinense*, solubilización de fosfatos y biofertilización

Introducción
El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) ocupa un lugar muy importante en la dieta de la población yucateca, por sus características organolépticas se ha convertido en un símbolo de pungencia para el resto de los cultivares, por su alto contenido de capsaicinoides; propiedad del fruto que ha propiciado la siembra de más superficies, buscando nuevas tecnologías más eficientes para el desarrollo de este cultivo (Pérez *et al*; 2008). La fertilización es una de las prácticas de la que depende en gran medida el rendimiento y calidad de fruto de chile habanero; es por ello que optimizar la cantidad de fertilizante a utilizar es una medida para evitar el deterioro de los suelos y disminuir el impacto de la fertilización en el ambiente (Noh *et al.*, 2010). El uso de microorganismos del género *Bacillus* con capacidad de solubilizar elementos minerales como el fósforo, es una alternativa viable para hacer eficiente el uso de estos recursos minerales (Souchie *et al*., 2006). La mayor concentración de fósforo en el suelo está en forma no disponible; por ello la aplicación de microorganismos solubilizadores de fosfato, ha tratado de incrementar las concentraciones de P que estén disponibles para las plantas (Alikhani *et al.*, 2006). Las bacterias solubilizadoras de fosfatos tienen importancia

en la nutrición vegetal, ya que pueden incrementar la disponibilidad del fósforo en el suelo. Que además de promover el crecimiento de las plantas, puede reducir hasta en un 50 % de la dosis recomendada de la fertilización química (Hernández *et al*., 2011). Es por ello que la biofertilización es un componente muy valioso que puede utilizar en la agricultura sustentable, lo cual en los sistemas productivos es una alternativa viable y sumamente importante para lograr un desarrollo agrícola ecológicamente sostenible, ya que permite una producción a bajo costo, reducir el impacto negativo en el suelo y conservándolo desde el punto de vista su fertilidad y biodiversidad (Terry *et al*., 2005). El objetivo de este trabajo fue evaluar la actividad solubilizadora de fosfato de las cepas de *Bacillus* spp. y su efecto en el cultivo de chile habanero en condiciones de protegidas.

Materiales y Métodos

Microorganismos utilizados

Para la selección de bacterias con mayor respuesta a la solubilización de fosfatos se seleccionaron dos cepas de la colección del Laboratorio de Microbiología del Instituto Tecnológico de Conkal, con propiedades en la promoción de crecimiento en chile habanero. Las bacterias se activaron en agar nutritivo (AN) por cuatro días a 28 ºC hasta su autolisis, y conservadas a 4 °C hasta su uso. Para poder llevar a cabo éste estudio se realizaron trabajos con anterioridad donde se determinaron las propiedades bioquímicas de las cepas que están relacionadas con la promoción de crecimiento, entre ellas la solubilización de fosfato *in vitro* determinando cualitativamente con índices de solubilización (IS) y cuantitativamente (P mg.L^{-1}). Obteniendo para la cepa de *Bacillus cereus* BL18 un IS de 2.10 mm y 50.02 mg.L^{-1} de P, y para la cepa *Bacillus* sp. CBRF11 un IS de 2.68 mm y 13.01 mg.L^{-1} de P. Se decidió tomar las cepas que produjeron la mayor y menor solubilización de fósforo en medios líquidos (cuantitativo), para determinar su actividad en condiciones protegidas.

Bacillus spp. solubilizadores de fosfatos en la promoción de crecimiento y rendimiento del cultivo de chile habanero (*C. chinense* Jacq.) bajo diferentes dosis de fertilización fosfatada

Se prepararon los semilleros de chile habanero utilizando semillas var. comercial Orange las cuales se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 2 % y realizando enjuagues con agua destilada estéril; se realizó la siembra en charolas de poliestireno con sustrato estéril comercial Cosmopeat® dándole el manejo agronómico correspondiente (Soria *et al*., 2002). Para las pruebas de solubilización de fosfatos en invernadero seleccionaron dos cepas que solubilizan fosfato en medio líquido una de ellas que solubilizó en menor cantidad (cepa testigo). A los 45 días después de la germinación (DDG) se realizó el trasplante en bolsas de polietileno negro de capacidad de 12 L, los cuales se llenaron con suelo tipo Luvisol y con bovinaza en proporción 2:1. Antes del trasplante se caracterizó el sustrato para conocer su composición. Se realizaron tres inoculaciones de las bacterias cultivadas previamente: al momento del trasplante (45), a los 60 y 75 DDG. Para ello, se ajustó la suspensión bacteriana a $1x10^8$ UFC mL^{-1} (Luna *et al.* 2013) y se aplicó 5 mL por planta en la base del tallo. Al testigo se le aplicó 5 mL de 0.9 % de NaCl en los mismos tiempos. Se aplicaron diferentes niveles de fósforo (0, 30, 60 y 100 %) de la dosis recomendada por Soria *et al*. (2002) de 125-100-125 kg ha^{-1} de NPK; los niveles de N y K se mantuvieron constantes de acuerdo a la recomendación. Los riegos se aplicaron cuando se requería y las fertilizaciones fueron programados una vez a la semana

realizando los cálculos correspondientes según la etapa fenológica (Soria *et al*., 2002). En todos los riegos y en las aplicaciones de fertilizante, el pH se mantuvo en un rango de 6.0 a 6.5 para asegurar la solubilidad de los nutrientes; la nutrición se complementó con solución de micronutrientes vía foliar en todas las etapas de crecimiento del cultivo. El experimento se estableció bajo condiciones de un invernadero tipo macrotúnel del Instituto Tecnológico de Conkal (21º 04' N y 89º 31`O), se tuvo un total de 13 tratamientos, 2 cepas bacterianas con los cuatro niveles de fertilización(0, 30, 60 y 100 %); para observar el efecto de las cepas en estudio y el efecto de las dosis de la fertilización fosfatada con los niveles mencionados, un tratamiento convencional con los mismos niveles, sin la inoculación de las bacterias (testigo positivo) y otro tratamiento fue sin la inoculación de las bacterias y sin la fertilización (testigo absoluto). Las variables respuesta de vigor fueron: altura de planta, volumen radical, peso de fresco y seco de biomasa aérea, y de rendimiento del cultivo: número de frutos por planta y peso total de frutos por planta. Al final del cultivo se realizó la determinación de fósforo de la parte aérea de la planta, incluyendo frutos. Se aplicó un diseño experimental completamente al azar con trece tratamientos con seis repeticiones, Se realizó el análisis de varianza (ANDEVA) y para la comparación de medias se utilizó el método de Tukey (P=0.05), con el paquete estadísticos INFOSTAT ver. 2011 (Di Rienzo *et al*., 2013).

Resultados y Discusión

Bacillus spp. solubilizadores de fosfatos en la promoción de crecimiento y rendimiento del cultivo de chile habanero (*C. chinense* Jacq.) bajo diferentes dosis de fertilización fosfatada

Los análisis de varianza sobre las variables respuesta de crecimiento de las plantas de *C. chinense*, asociadas con la inoculación de *Bacillus* sp. mostraron diferencias significativas (P≤0.05) (Cuadro 1 y 2).

Altura. En estos parámetros de crecimiento, la interacción de la cepa CBRF11 con un una fertilización fosfatada de 60 %, generó los mayores promedios en altura de planta (AP) con valores 208.33 cm en AP (Cuadro 1). Estudios previos se han demostrado el efecto del uso de este tipo de microorganismos; como es en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) la inoculación con *Bacillus* sp. BEOO2 más una fertilización del 50 % se reportaron resultados superiores al testigo absolutos (sin fertilizar), y sin diferencia significativa con el testigo químico al 100 % de fertilización (Sánchez-López *et al*., 2012), en este estudio no se tuvo diferencia estadística pero si numérica al testigo químico al 100 %.

Peso de la biomasa fresca y seca de la parte aérea. El aumento del peso de la biomasa fresca y seca de la parte aérea en las plantas (BFPA y BSPA) de *C. chinense* se observó con la interacción de la cepa *Bacillus* sp. CBRF11 con nivel de fertilización fosfatada de 60 %, con valores de 251.17 g en BFPA y 51.91 g en BSPA (Cuadro 1). En S. *lycopersicum* inoculado con *Enterobacter* sp. TVL-2 más 50 % de fertilización química, no hubo diferencia significativa con el tratamiento químico al 100 % de fertilización (Sánchez-López *et al*., 2012). En este estudio si hubo diferencia en estadística en peso fresco al testigo con fertilizante al 100 %, pero no con el peso seco.

Número y peso fresco de frutos. En las variables de rendimiento en *C. chinense* se observó que con la interacción de las cepas CBRF11 con 60 % de fertilización fosfatada, presentaron los valores más

altos en el números de frutos (NF) por planta con un valor de 46.67 y peso fresco de fruto (PFF) con 280.63 g planta^{-1}, respectivamente. Con aumentos del 41.423 y 45.81 %, respectivamente comparado al testigo con fertilización del 100 % de fosfato mineral, (Cuadro 1). Estudios con *S. lycopersicum* inoculado con *Bacillus* sp. BEOO2 más una fertilización química del 50 %, fue estadísticamente diferentes al testigo absoluto (sin fertilizar), pero estadísticamente iguales al testigo químico con el 100 % de fertilización (Sánchez-López *et al*., 2012); en este estudio la cepa más fertilizante fosforado al 60 % fue superior a la fertilización química al 100 %

Cuadro 1. Efecto de *Bacillus* spp. solubilizadores de fosfato en la promoción de crecimiento y rendimiento del cultivo de *C. chinense* Jacq.

Tratamientos con niveles de fertilización de P	AP (cm)	BFPA (g)	BSPA (g)	VR (cm^3)	NF	PFF (g)
RF11-60	**208.33 a**	**251.17 a**	**51.91 a**	**35.33 a**	**46.67 a**	**280.63 a**
RF11-30	198.33 ab	226.37 ab	44.04 abc	26. 5 ab	36.33 b	208.38 ab
RF11-100	194.83 ab	166.06 bc	34.25 abcd	21.2 ab	34 b	200.54 bc
RF11-0	189.8 ab	151.43 c	37.61 abcd	22.07 ab	28 bcd	174.32 bcd
BL18-60	187 ab	150.53 c	29.44 bcd	21 ab	34.33 b	192.59 bc
TF-0	184 ab	136.03 c	30.43bcd	18.67b	29 bcd	168.39 bcd
TF -60	180.83 ab	134.6 c	30.7bcd	25.56 ab	29.67 bcd	161.37bcd
TF-100	180 ab	120.7 c	45.12 ab	26.67 ab	33 b	192.46 bc
BL18-0	173.83 ab	115.4 c	22.35 cd	21 ab	28 bcd	142.11bcd
TF-30	171.83 bc	154.2 c	28.38 bcd	20.83 b	31 bcd	145.4 bcd
BL18-30	171.33 bc	148.67 c	25.83bcd	15.17 b	22 cd	128.7 cd
BL18-100	162.67 bc	153.3 c	29.95 bcd	25.33 ab	32.67 bcd	168.93 bcd
TA-SF	129.67 c	99.47 c	29.05bcd	21.5 ab	21.33 d	110.68
DMS	43.78	70.13	18.63	14.44	10.91	77.87

AP = altura de la planta; BFPA = biomasa fresca de la parte aérea; BSPA = biomasa seca de la parte aérea; TF = Testigo con fertilización con niveles de fósforo; TA-SF = testigo absoluto sin fertilización; NF = número de frutos; PFF = peso fresco de frutos; DMS = diferencia mínima significativa. Medias con letras diferentes en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey ≤ 0.05).

Acumulación de fósforo en plantas de *C. chinense* Jacq. inoculadas con *Bacillus* spp. solubilizadores de fosfatos y con diferentes dosis de fertilización fosfatada

El análisis de varianza sobre el parámetro de asimilación de fósforo en *C. chinense* Jacq. inoculados con *Bacillus* sp. CBRF11 mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) con respecto al resto de los tratamientos (Cuadro 2). Los tratamientos con la interacción de la cepa CBRF11 con nivel de fertilización fosfatada de 30 y 60 % presentaron los valores más altos de acumulación de fósforo (P) total en la parte aérea (hojas, tallos y frutos) con 207.01 y 181.20 mg planta^{-1}, lo que fueron un aumento de 31.15 y 14.79 respecto al fertilizante químico al 100 %, que fueron estadísticamente diferentes al resto de los tratamientos. Con la inoculación de *B. megaterium* 98 en plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.), se aumentó el contenido de P en los brotes con 2.81 mg/g, representando un aumento del 12 %, respecto al testigo sin inoculación (El-Komy, 2005). Y la inclusión de *Pantoea*

sp. 9C y *Bacillus* sp. solubilizadores de fosfatos en el cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.) y algodón (*Gossypium arboreum*), se encontró un mayor contenido de fósforo en el follaje, respecto testigo (Cordero *et al*., 2008; Qureshi *et al*., 2012). Esto sugiere que cuando se efectúan la inoculación con bacterias solubilizadoras de fosfato, el fósforo solubilizado por éstos microorganismo son absorbidos y acumulados por las plantas, debido a la solubilización físico-química en el suelo, que son procesos que contribuyen a la movilización de este nutriente en el suelo (Cordero *et al*., 2008). El mecanismo más común de solubilización de fosfato, particularmente del fosfato de calcio, es la acidificación, a través de la biosíntesis y secreción de ácidos orgánicos (Toro *et al*., 1997). Los ácidos orgánicos principalmente el ácido cítrico, oxálico, glucónico y 2-cetoglucónico, dejando este nutriente disponible para la absorción por las plantas (Paredes y Espinoza, 2010). La acción de los ácidos orgánicos en la solubilización de minerales, se le atribuye a la disminución del pH del suelo; permitiendo la formación de complejos estables con Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{3+} y Al^{3+}, evitando su fijación o precipitación (Illmer y Schinner, 1992).

Cuadro 2. Asimilación de fósforo en plantas de *C. chinense* Jacq. inoculadas con *Bacillus* spp.

Tratamientos con niveles de fertilización de P	**Asimilación de Fósforo (mg.planta^{-1})**
CRBF11-30	**207.01 a**
CRBF11-60	181.20 ab
CRBF11-0	162.62 bc
BL18-60	159.07 bcd
TF-100	157.86 bcd
BL18-100	155 bcde
CRBF11-100	154.50 bcde
TF-60	140.08 bcdef
TF-0	123.05 cdef
TF-30	120.54 cdef
BL18-0	114.18 ef
BL18-30	111.25 ef
TA-SF	109.34 f
DMS	43.02

TF = Testigo con fertilización con niveles de fósforo; TA-SF = Testigo absoluto sin fertilización; P = fósforo; DMS = diferencia mínima significativa. Medias con letras diferentes en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey $\leq$ 0.05).

Conclusiones

La incorporación de la cepa de *Bacillus* sp. CBRF11 con 60 % de fósforo mineral al cultivo *C. chinense* Jacq. puede mejorar la disponibilidad de este elemento, contribuyendo al aumentando en el rendimiento y mejorar los parámetros de vigor en el cultivo. Esa misma cepa con 30 % fósforo mineral aumento el contenido de fósforo en las plantas. Estas cualidades favorecen el uso de las bacterias en procesos biotecnológicos, haciéndolas una alternativa eficiente y sustentable, por su capacidad de reducir el uso de fertilizantes fosfatados, permitiendo la reducción del costo de este insumo, al igual que reducir el impacto negativo en el suelo y conservación de su fertilidad y biodiversidad microbiana.

Agradecimientos: Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada. A la Dra. Lizette del Carmen Borges Gómez por su apoyo en esta investigación.

Referencias

Alikhani, H., Saleh, R. N. and Antoun, H. 2006. Phosphate solubilization activity of rhizobia native to Iranian soils. Plant and Soil, 287: 1-2.

Cordero E. J. Ortega-Rodés, P. y Ortega, E. 2008. La inoculación de plantas con *Pantoea* sp., bacteria solubilizadora de fosfatos, incrementa la concentración de P en tejidos foliares. Rev. Colomb. Biotecnol., 1: 111-121.

Di Rienzo, J. A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. González, M. Tablada y C. W. Robledo. Infostat versión 2011. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar

El-Komy, H. M. A. 2005. Coimmobilization of *Azospirillum lipoferum* and *Bacillus megaterium* for Successful Phosphorus and Nitrogen Nutrition of Wheat Plants. Food Technol. Biotechnol., 43: 19–27.

Hernández, L. T., Carrión, G. y Heredia, G. 2011. Solubilización *in vitro* de fosfatos por una cepa de *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samson. Agrociencia, 45: 881-892.

Illmer, P. and Schinner, F. 1992. Solubilization of inorganic phosphates by microorganisms isolated from forest soil. Soil Bioland Biochem, 24: 329-335.

Luna M. L., Martínez P. R. A., Hernández I. M., Arvizu M. S. M. y Pacheco A. J. R. 2013. Caracterización de rizobacterias aisladas de tomate y su efecto en el crecimiento de tomate y pimiento. Revista Fitotecnia Mexicana, 36: 63-69.

Noh, M. J., Borges, G. L. y Soria, F. M. 2010. Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Tropical and Subtropical Agroecosystems, 12: 219-228.

Paredes, M. M. y Espinoza, V. D. 2010. Ácidos orgánicos producidos por rizobacterias que solubilizan fosfato: una revisión crítica. Terra Latinoamericana, 28: 61-70.

Pérez, G. A; Pineda, D. A., Latournerie, M. L., Pam, P. W. y Godoy, A. C. 2008. Niveles de evapotranspiración potencial en la producción de chile habanero. Terra Latinoamericana, 26: 53-59.

Qureshi M. A., Ahmad Z. A., Akhtar N., Iqbal A., Mujeeb F. and Shakir M. A. 2012. Role of phosphate solubilizing bacteria (PSB) in enhancing P availability and promoting cotton growth. The Journal of Animal & Plant Sciences, 22: 204-210.

Sánchez-López, D. B., Gómez-Vargas, R. M., Garrido-Rubiano, M. F. y Bonilla-Buitrago, R. R. (2012). Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 3: 1401-1415.

Soria, F. M., Tun S. J. Trejo R. A. y Terán S. R. 2002. Paquete tecnológico para la producción de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). SEP. DGTA. ITA-2 Conkal, Yucatán, México. 75 p.

Souchie E. L., Saggin-Júnior O. J., Silva E. M. R.., Campello E. F. C., Azcón R. and Barea J. M. 2006. Communities of P-Solubilizing bacteria, fungi and arbuscular mycorrhizal fungi in grass pasture and secondary forest of Paraty, RJ-Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 78: 183-193.

Terry A. E., Leyva, A. y Hernández, A. 2005. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicun* Mill). Revista Colombiana de Biotecnología, 2: 47-54.

Toro, M., Azcon, R. and Barea, J. 1997.Improvement of arbuscular mycorrhiza development by inoculation of soil with phosphate-solubilizing rhizobacteria to improve rock phosphate bioavailability (32P) and nutrient cycling. Appl. Environ Microbiol. 44: 4412.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

ÍNDICE DE SOBREVIVENCIA DE BULBILLOS DE INFLORESCENCIA DEL HENEQUEN, *Agave ourcroydes* Lem.

Guerrero-Medina Rubén[1*]

[1] **Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Mocochá, Yucatán. México**

*Rubén Guerrero Medina: guerrero.ruben@inifap.gob.mx; Calle 23 Núm. 460, Fracc. Brisas del Bosque, Mérida, Yucatán. México. CP 97144; Tel. +52(999)-1513260

Resumen

El henequén posee tres medios de propagación, una de ellas, la inflorescencia es capaz de producir 3,500 plántulas, su aparición sucede de agosto a abril estas plántulas, de cinco a ocho cm, presentan signos de estrés a dos meses de cosecha y se van deteriorando paulatinamente. Ante la oportunidad de valorar el grado de supervivencia se obtuvieron estas plantas a cuatro meses de producidas iniciándose a pesar de su deterioro, siembras mensuales para valorar su respuesta al trasplante. El empleo de bulbillos como medio de propagación no representa desventaja alguna respecto a la práctica común de emplear los vástagos de rizoma, su empleo requiere establecerse en condiciones de vivero para desarrollo inmediato y al alcanzar una altura de 15 a 20 cm en un periodo de tres meses para su posterior paso a semillero en el que por espacio de un año será cultivado hasta alcanzar una talla de 45 a 50 cm, condición óptima para el establecimiento de una plantación. Para su cultivo se sugiere emplear como sustrato el bagazo del desfibrado. A cuatro meses de obtenidas las plántulas se iniciaron pruebas de trasplante para observar la recuperación, se realizaron trasplantes cada mes con un total de cuatro, los resultados indican que a pesar de un deterioro en condición de área verde hasta del 70%, las plántulas soportan satisfactoriamente un periodo de ocho meses sin ser trasplantadas y mostrar una recuperación similar a las mostradas por las de trasplante casi inmediato a su cosecha.

Palabras clave: Bulbillos; inflorescencia; Sobrevivencia.

Introducción

El henequén posee tres características reproductivas propias de los agaves que son: hijuelos de rizoma, bulbillos en la inflorescencia y producción de semilla, respecto a las inflorescencias, através de ellas es capaz de producir un promedio de 3,500 plántulas por ocasión. Guerrero M. R. y Díaz P.R. 2013. El periodo de aparición de inflorescencias se da generalmente en el mes de agosto y a principios del siguiente año aparecen las flores y luego van apareciendo los bulbillos, es en los meses de abril y mayo cuando éstos están en condición de cosecha. Guerrero M.R. 2011. Estas plántulas que en promedio miden de cinco a ocho cm, comienzan a presentar signos de estrés a los dos meses de haberse cosechado y su apariencia se va deteriorando al paso del tiempo. Algunas acciones de cosecha y selección de estas plántulas o bulbillos propició el atraso en el empleo de una inflorescencia obtenida para su exhibición en un evento demostrativo y continúo exhibiéndose por más tiempo del esperado, las plántulas se deterioraron en apariencia, pero una parte fue empleada con otros fines y al

término de este otro evento se recogió el material vegetativo generándose la inquietud de generar "siembras" escalonadas para conocer su potencial de aprovechamiento.

El empleo de bulbillos como medio de propagación no representa desventaja alguna respecto a la práctica más común que consiste en emplear los vástagos de rizoma, solo que por su condición de talla requiere ser establecido en condiciones de vivero para desarrollo inmediato y al alcanzar una altura de 15 a 20 cm en un periodo de tres meses para su posterior paso a semillero en el que por espacio de un año será cultivado hasta alcanzar una talla de 45 a 50 cm, condición óptima para establecimiento de una plantación. Guerrero M. R. y Díaz P.R. 2013.

Materiales y Métodos

Las observaciones del presente trabajo se realizaron en el Campo Experimental Mocochá, del INIFAP, en Mocochá Yucatán. Las plántulas que se recuperaron de la inflorescencia en exhibición en diciembre de 2017, se han mantenido desde el mes marzo de 2018, a la intemperie, pero a la sombra a una temperatura media de 32°C. En el mes de abril de 2018 se realizó la primera "siembra" para que a partir de ahí cada mes se estableciera otra siembra mensual (día 15 del mes) hasta que la planta no presente muestras de sobrevivencia por agotamiento de reservas. La muestra poblacional para cada fecha fue de 20 plántulas. El peso presentado por las plántulas o bulbillos, además de la talla, que es una referencia de origen para que en base a ello se evalúe la respuesta al manejo en "vivero" es de cuatro a siete cm de tamaño con un peso promedio de 4 gr, los cuales a los tres meses están en condición para su paso a semillero con un tamaño de 20 cm y un peso de 48 gr. Guerrero M. R. 2018. El sustrato empleado es el bagazo producto del desfibrado del mismo henequén, el cual a partir de cuatro meses de obtenido es susceptible de emplearse como tal, ya que antes de ese tiempo en su degradación genera altas temperaturas que impiden la germinación de semilla o sobrevivencia de trasplantes. El bagazo como sustrato representa ventajas para producción de hortalizas y es un excelente medio para el cultivo del henequén en etapas de vivero y semillero, aunque no parece ser de excelencia como forraje también presenta ventajas, su composición química según Sangines G.R. et al 1975., se presenta en el cuadro 1.

CUADRO 1

Composición proximal del bagazo, la fibra y la pulpa de henequén, base seca

	Bagazo *	Fibra	Pulpa
Materia seca %	14.22±1.55	19.90±5.4	12.50±1.02
Proteína cruda (N × 6.25%)	4.91±0.68	3.41±0.43	5.44±0.70
Extracto etéreo %	2.48±0.22	1.52±0.23	2.84±0.30
Fibra cruda %	27.02±1.94	40.45±2.91	22.40±1.87
Cenizas %	10.91±1.0	7.46±0.81	12.0 ±1.25
Extracto libre de N%	54.67±1.85	47.15±2.48	57.31±2.29

* 25% de fibra, 75% de pulpa.

Imágenes de la inflorescencia de henequén y las plántulas que de ella se obtienen se presentan en la siguiente composición.



La inflorescencia, quiote o varejón aparece al final del ciclo de vida de los agaves y para el caso del henequén, en términos medios mide unos siete metros de longitud a partir de la parte superior de la planta, la parte de tallo mide tres metros, cuatro metros el área ramificada, genera unas 22 ramificaciones o brazos y la producción promedio de 3,500 plántulas. Guerrero M. R. y Díaz P.R. (2013).

Resultados y Discusión

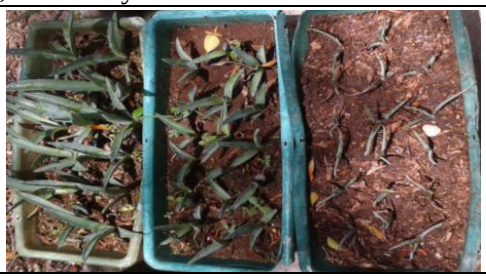
Las siembras realizadas de abril a julio han sido cuatro, teniéndose una sobrevivencia del 100% y un desarrollo sin contratiempos, imágenes de las siembras y condición previa de la plántula se presentan enseguida




Primer siembra 15 de abril de 2018, a quince días del trasplante




Primera y segunda siembra, 15 de mayo de 2018

Primera a tercera siembra, 15 de junio de 2018




Primera a cuarta siembra, 15 de julio de 2018

Valores obtenidos de la planta considerando la evolución del peso, área foliar recuperada, raíces generadas y talla alcanzada respecto a los valores antes de la siembra, nos refieres que a pesar del deterioro visible en los bulbillos aun no sembrados, estos siguen manifestando que a pesar de esa

pérdida de vigor, al proporcionárseles condiciones para su desarrollo son aun recuperables como medio de propagación y se presentan en el cuadro 2 y composición de imágenes.

Cuadro 2 hijuelos de varejón a ocho meses de obtención y cuatro meses de trasplantes

	No. de hojas	Talla cm	Peso gr	Raiz
0 MESES	1.5	7.8	2.5	cm
I MES	2.5	11.6	10.2	4.
2 MESES	4.8	15.8	21.7	9.
3 MESES	5.1	17.2	26	1
4 MESES	5.5	25.6	64.6	26.



Aspectos de la planta extraída para su valoración, planta de origen y su evolución a cuatro meses del trasplante

Conclusiones

A ocho meses de haberse cosechado los bulbillos siguen presentando una recuperación sin deterioro, acorde a lo esperado como se indica en el segundo párrafo de materiales y métodos. Sin embargo someter a condiciones extremas este medio de propagación no parece ser necesario y a pesar de ello

la prueba ha sido ampliamente superada bajo las condiciones mencionadas en su momento, permanecer a la sombra a pesar de temperaturas realmente extremas A la fecha de generación del presente reporte aún se dispone de planta para continuar por lo menos dos fechas más de trasplantes y la condición que presentan las plántulas es de un 80% de deterioro.

Referencias

Sanginés G. R., Carrasco B. Martínez L y Salinas T. E. 1975 Composición proximal del bagazo de henequén y su uso en la alimentación de borregos. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias

Guerrero M.R. y Díaz P.R. 2011 Producción de planta de calidad de henequén (Agave fourcroydes) Folleto técnico. SAGARPA, INIFAP, CIR Sureste. Campo Experimental Mocochá. Mocochá yuc. México.

Guerrero M.R. y Díaz P.R. 2013 Henequén, establecimiento y cultivo en Yucatán. Instituto nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Mocochá, Centro de Investigación Regional Sureste. Mocochá Yucatán México.

Guerrero M. R: 2018 Empleo de bulbillos de varejón como medio de propagación del henequén, validación de tecnología. Informe Técnico. SAGARPA, INIFAP, CIR Sureste. Campo Experimental Mocochá.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

CAPTURA DE CARBONO EN EL SUELO MEDIANTE DOS ABONOS ORGÁNICOS EN EL AGROSISTEMA GUAYABA

De Luna-Jiménez, A.[1*], Arredondo-Figueroa, J. L.[1], Luna-Ruíz J. de J.[1], Martínez-De Lara, J.[1]

[1]Centro de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes, Aguascalientes, México.

*Autor responsable: lunaji@yahoo.com; Carretera Jesús María-La Posta Km 3, Jesús María, Aguascalientes. México. C.P: 20900; Teléfono 9107400

Resumen

El desconocimiento de las dosis y frecuencia de aplicación de abonos orgánicos, ha causado disminución en los niveles de C orgánico del suelo y baja productividad del guayabo. Se planteó la hipótesis de que la composta y el estiércol al menos en alguna de las dosis estudiadas, incrementan la captura de carbono en el suelo. Por ello, con el objetivo de estimar la captura de CO en el suelo, durante los años 2012 y 2013, se realizó la investigación en las huertas: Mesa del Marqués, Mesa Sembrada y los Cerritos, se aplicaron los tratamientos: testigo (sin la aplicación de abonos), 3% composta, 3% estiércol de bovino, 5% composta y 5% de estiércol de bovino, con tres repeticiones. Se determinó el %MO, este valor se multiplicó por el factor 0.58 obteniéndose %CO. Se estimó el peso del suelo (ton, ha^{-1}) y mediante la fórmula: $tCha^{-1}$=PS x %CO/100, se estimaron las existencias de carbono en el suelo. En Mesa del Marqués, con 5% de composta, la captura fue de 44.79 tC/ha y con 5% de estiércol de 38.6 tC/ha. En Mesa Sembrada, con 3% de composta se capturó 42.4 tC/ha y con 5% de composta la captura fue de 151.07 tC/ha, y con 5% de estiércol la captura fue de 90.53 tC/ha. En Los Cerritos, con 5% de composta se capturó 42.80 tC/ha y con 5% de estiércol, 19.09 tC/ha. La composta y el estiércol en los porcentajes utilizados cumplieron el objetivo de incrementar la captura de carbono en el suelo.

Palabras clave: Composta, estiércol, guayabo.

Introducción

El potencial de los suelos agrícolas para la mitigación de las emisiones de GEI a través del secuestro de carbono ha sido ampliamente reconocido (Aguilera et al., 2013). El clima mediterráneo está caracterizado por periodos de alta irradiación solar y altas tasas de evapotranspiración (Lassaletta, L., Aguilera, E. 2012); condiciones que pueden agravar problemas de erosión, desertización, contaminación del agua, recurso que se prevé cada vez más escaso (Iglesias, *et al.*, 2011). Un mayor secuestro de carbono en suelos manejados ecológicamente ha sido recientemente demostrado para climas mediterráneos, además, en estas áreas la emisión del óxido nitroso (N_2O), será también menor con el abonado orgánica (Aguilera et al., 2013).

En México la investigación en carbono orgánico está orientada a su cuantificación en la biomasa aérea, y poco se conoce sobre la acumulación en el suelo (Salomón *et al.*, 2007). El propósito de la investigación fue estimar la captura de carbono orgánico (CO) en el suelo en respuesta a dos abonos orgánicos. La aplicación de abonos orgánicos favorece la captura de C en el suelo (West y Post, 2002). El CO es el componente principal de la materia orgánica, la cual juega un importante papel en la

fertilidad (González *et al*., 2008). El CO del suelo ocupa un 69.8 % del C orgánico de la biosfera (FAO, 2001). El CO del suelo afecta las propiedades físicas químicas y biológicas vinculadas con su calidad (Carter, 2002), sustentabilidad (Acevedo y Martínez, 2003) y capacidad productiva (Sánchez et al., 2004), por lo que debe mantenerse y de preferencia aumentarse. El efecto del carbono sobre la calidad del suelo se refleja en la modificación de la estructura, la profundidad de las raíces, la disponibilidad de agua, la biodiversidad y las reservas de elementos nutritivos (Estrada, 2007). Existe poca información para establecer una clara relación de dependencia entre el COS y su productividad (Moreno et al., 1999). La pérdida de humus en los suelos agrícolas es superior a la tasa de formación, por lo que es una fuente de CO_2 para la atmósfera (Reicosky, 2002). Los agregados contribuyen en el reciclaje del carbono (Six*et al*., 2000), son útiles para explicar diferencias en el contenido de materia orgánica en suelos con distinto manejo (Denef, *et al*., 2004), y son un indicador del potencial de captura de carbono en edafo-sistemas sustentables como el *guayabo* (Kong *et al*., 2005). Con base a las consideraciones anteriores, se planteó el objetivo de estimar el carbono orgánico acumulado en el suelo en respuesta a diferentes porcentajes y fuentes de materia orgánica.

Materiales y Métodos

La región guayabera en el estado de Aguascalientes se encuentra en el Municipio de Calvillo y su ubicación geográfica en los paralelos 22° 07’ y 21° 42’ de latitud norte y los meridianos 102° 31’ y 102° 53’ de longitud oeste, a una altitud entre 1500 y 2900 m.(INEGI, 2005).
La localización de las huertas se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Localización geográfica de las huertas donde se realizó la investigación

Huerta	Lugar	Paralelos (LN)	Meridianos (LW)	Altitud, m
M. Marqués	Tepetate de A	21º 46'	102° 45'	1752
M. Sembrada	San Tadeo	21º 55'	102º 40'	1831
Los Cerritos	La Panadera	21º 51'	102º 42'	1169

Clima: El clima en la región guayabera de calvillo, se distribuye de la siguiente manera. Semi-seco-templado 35.4%; Semi-seco semi-cálido 33.4%; Templado sub-húmedo con lluvias en verano de menor humedad 29.5%; Templado sub-húmedo con lluvias en verano de humedad media 1.7%
Suelos de calvillo: Se reportan nueve ordenes: Phaeozem (31.1%), Leptosol (26.1%), Regosol(18.2%), Luvisol (7.9%), Calcisol (5.0%), Planosol (2.9%), Cambisol (2.9%), Fluvisol (2.9%), Castañozem (2.1%), (INEGI 2005).
Manejo de los árboles. La variedad cultivada es “Media China”, sistema de plantación marco real, distancia entre plantas y entre hileras de 7 m., densidad de población 204 árboles /ha., sistema de riego por aspersión, se aplica un riego por semana, fertilización al suelo con la fórmula Triple 17, poda despunte, combate de plagas (Malathion 1000 CE), deshierbe mecanizado.
Tratamientos: Los tratamientos estudiados fueron: testigo (sin aplicación de abono), 3% de composta (9 kg/m^2), 3% de estiércol (4.41 kg/m^2), 5% de composta (15 kg/m^2) y 5% de estiércol (7.35 kg/m^2). Se aplicó el abono en una sola operación, distribuyéndose uniformemente dentro del cajete de los árboles antes del primer riego. El experimento tuvo una duración de dos años.
Diseño experimental. En cada huerta, se identificaron 3 hileras contiguas de árboles, en cada hilera se escogieron 5 árboles por su apariencia uniforme y aleatoriamente se asignaron los tratamientos.

Muestreo de suelo. Dentro del cajete en la parte media entre el tronco y la orilla de copa, con orientación a los cuatro puntos cardinales, a la profundidad de 20 cm, se tomó una sub-muestra, utilizando el Muestreador Amsa, Niq 1, 1/8"x3", Punta abierta (401.10); las cuatro sub-muestras se mezclaron y por cuarteo se fue reduciendo la cantidad de suelo, hasta dejar una muestra compuesta de 1 kilo para su análisis.

Variables.

Materia Orgánica. Por calcinación se determinó el contenido total de materia orgánica que posee el suelo, para ello, se pesó una muestra de 6 g de suelo seco al aire y tamizado en malla de 2 mm y se colocó en crisoles de porcelana. Se secó en horno a 105º C hasta peso constante, se retiró del horno y se dejó enfriar en desecador, luego se pesó. Se calcinó la muestra en una mufla a 650 ºC, durante 4 horas y se pesó nuevamente. Por diferencia de peso entre antes y después de calcinar se conoció la cantidad de materia orgánica y se expresó en porcentaje (%MO).

Carbono Orgánico. El % de MO, se dividió entre el factor 1.724 para obtener el % de C.

Carbono Orgánico de Suelo. La cantidad de Carbono orgánico en el suelo se calculó con la fórmula [**tC/ha= CO x Da x PM]** donde tC/ha= carbono por hectárea (ton), CO = carbono orgánico en las muestras de suelo (%), Da=densidad aparente del suelo (g/cm^3) y PM=Profundidad de muestreo (m). Se estimó el peso del suelo por hectárea **[PS=S/ha x PM x Da**], donde: PS= Peso del suelo x ha (ton), S/ha= superficie/ha (m^2), PM=Profundidad de muestreo (m) y Da= Densidad aparente g/cm^3 y este valor se multiplicó por el %CO obtenido en el análisis de las muestras y se dividió por cien, obteniéndose los valores en tC ha^{-1}.

Análisis estadístico: Se utilizó el Software Minitab 16, Se realizó el análisis de varianza para cada variable y pruebas de comparación de medias (Tukey, 0.05) donde se encontró significancia estadística.

Resultados y Discusión

El efecto de la composta y el estiércol en las concentraciones de 3% y 5%, para cada variable, se obtuvieron restando a los resultados encontrados el valor correspondiente al testigo (cuadro 2).

Materia orgánica

En las tres huertas se aprecia que el contenido medio de MO, se incrementó por efecto de los abonos y las dosis. En la huerta Mesa del Marques, la variación quedo comprendida en un rango de 0.68% (3% de estiércol) a 3.67% (5% de composta); en la huerta Mesa Sembrada dicha variación fue en el rango de 1.97% (3% de estiércol) a 3.60% (5% de composta) y en la Huerta los cerritos de 0.33% (3% de estiércol) a 5.05% (5% de composta). Estos resultados señalan que la composta superó al estiércol en el incremento de MO.

Carbono orgánico

El resultado fue semejante con el incremento de CO en el suelo, debido a la relación directa con la MO. En la huerta Mesa del Marques, la variación quedo comprendida en el rango de 0.40% (3% de estiércol) a 2.13% (5% de composta); en la huerta Mesa Sembrada la variación fue en el rango de 1.14% (3% de estiércol) a 2.08% (5% de composta) y en Los Cerritos de 0.19% (3% de estiércol) a 2.93%(5% de composta).

Cuadro 2. Contenido de Materia Orgánica, Carbono Orgánico y Cantidad de carbono por hectárea

Tratamientos	%MO		%CO		tC/ha	
Mesa del Marques	Evaluado	Efecto	Evaluado	Efecto	Evaluado	Efecto
Testigo	13.35 b		7.74 b		186.94 bc	
3% Composta	15.14 ab	1.79	8.78 ab	1.04	180.19 c	
3% Estiércol	14.03 ab	0.68	8.14 ab	0.40	186.02 bc	
5% Composta	17.02 a	3.67	9.87 a	2.13	231.73 a	44.79
5% Estiércol	16.31 ab	2.96	9.57 ab	1.83	225.54 ab	38.60
Mesa sembrada						
Testigo	16.52 b		9.59 b		195.35 b	
3% Composta	19.25 ab	2.73	11.16 ab	1.57	237.75 ab	42.4
3% Estiércol	18.49 b	1.97	10.73 ab	1.14	199.21 b	3.86
5% Composta	20.12 a	3.60	11.67 a	2.08	346.42 a	151.07
5% Estiércol	18.81 ab	2.29	10.91 ab	1.32	285.88 ab	90.53
Los Cerritos						
Testigo	10.08 b		5.85 c		140.57 a	
3% Composta	12.71 ab	2.63	7.37 b	1.52	144.75 a	4.18
3% Estiércol	10.41 b	0.33	6.04 c	0.19	135.84 a	-4.73
5% Composta	15.13 a	5.05	8.78 a	2.93	183.37 a	42.80
5% Estiércol	11.35 b	1.27	6.58 bc	0.73	159.66 a	19.09

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Toneladas de Carbono por hectárea

La cantidad de carbono en el suelo (tC/ha) varió con los abonos y con las dosis (Tukey, 0.05). En la huerta Mesa del Marques, la magnitud en la respuesta en la captura de carbono fue con el 5% de composta 44.79 tC/ha y con el 5% de estiércol 38.6 tC/ha.

En la huerta Mesa Sembrada (Cuadro 2) también se encontró respuesta de los abonos orgánicos en el incremento del %MO, %CO y cantidad de carbono (tC/ha), (Tukey, 0.05). Los valores más altos corresponden a los porcentajes mayores tanto para composta como para el estiércol.

En la huerta Los Cerritos (Cuadro 2) también se aprecia respuesta de composta y estiércol, aunque los resultados son más modestos. El incremento en el %MO y %CO evaluado en las tres huertas, coincide con lo señalado por Eghball y Power, 1994, por Sing et al 1995 y Tester, 1975, quienes concluyeron que la aplicación de enmiendas orgánicas como estiércol o compost lleva a un incremento en el carbono orgánico del suelo que varía entre 22 y 50% en comparación con los niveles originales.

Conclusiones

El objetivo de estimar la respuesta en el incremento de la MO, CO y captura de carbono en el suelo (tC/ha) en respuesta a la aplicación de composta y estiércol en dosis de 3 % y 5 % se cumple. Los resultados que sustentan esta afirmación señalan que con respecto a la materia orgánica en las huertas Mesa del Marqués, Mesa Sembrada y los Cerritos; con el 5% de composta el incremento fue en magnitudes de 73.4, 72.0 y 101 ton/ha respectivamente y con el 5% de estiércol, en el mismo orden de huertas, los incrementos fueron: 59.2, 45.8 y 25.4 ton/ha. En Carbono, con el 5% de composta el

incremento fue de 42.6, 41.6 y 58.6 ton/ha, y con el 5% de estiércol de 36.6, 26.4 y 14.6 ton/ha, en igual orden.

La captura de C con el 5% de composta fue de 44.79, 151.07 y 42.80 tC/ha. y con el 5% de estiércol en 38.6, 90.53 y 19.09 tC/ha.

Los resultados sugieren que la composta y el estiércol en dosis altas aumentan el contenido de MO y CO en el suelo y capturan cantidades importantes de carbono atmosférico lo que significa que contribuye en la reducción de los niveles de CO_2 de la atmósfera y con ello se logra un servicio ambiental importante.

Los resultados demuestran la utilidad de la composta, por lo que se recomienda el reciclaje a nivel de huerta de los residuos orgánicos mediante el compostaje y su aplicación a los árboles como abono orgánico.

Mediante los abonos orgánicos en dosis altas se propicia un mejoramiento físico (estructura, porosidad, retención de humedad, densidad aparente), químico (mayor disponibilidad nutrimental, mayor CIC, pH cercano a la neutralidad, salinidad) y biológico (incremento de las poblaciones de microorganismos benéficos, mineralización de la MO) del suelo por lo que se sugiere para investigaciones futuras se evalúe el impacto de la composta y el estiércol en la variación físico-química y biológica en relación a la productividad del suelo.

Referencias

AGUILERA, E., LASSALETTA, L., SANZ-COBENA, A., GARNIER, J., VALLEJO, A., 2013. The potential of organic fertilizers and water management to reduce N_2O emissions in Mediterranean climate cropping systems. A review. Agriculture, Ecosystems & Environment 164, 32-52.

AGUILERA, E., LASSALETTA, L., GATTINGER, A., & GIMENO, B. 2013. Managing soil carbon for climate change mitigation and adaptation in Mediterranean cropping systems: A meta-analysis *Agriculture, Ecosystems & Environment, 168*, 25-36 DOI: 10.1016/j.agee.2013.02.003

ACEVEDO, E. y MARTÍNEZ, E., 2003. Sistema de labranza y productividad de los suelos, en Acevedo, E.: Sustentabilidad en Cultivos Anuales. Santiago, Universidad de Chile, Serie Ciencias Agronómicas N ° 8, p. 13-25.

CARTER, M.R., 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. Agron. J. 94, 38-47.

DENEF, K., J. SIX, R. MERCKX, AND K. PAUSTIAN. 2004. Carbon sequestration in microaggregates of no-tillage soils with different clay mineralogy. SoilSci. Soc. Am. J. 68:1935-1944.

ESTRADA, H. I. (2007).*Carbono en biomasa aérea en suelo y su relación con la fracción fina de este reservorio*, Colegio de Posgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo, de México, pp. 1–24.

FAO, 2001.Soil carbon sequestration for impoved land management. World soil reports 96. Rome, 58 p

GONZÁLEZ, M. A.; SCHWENDENMANN, L.; JIMÉNEZ, J.; SCHULZ, R. 2008.Forest structure and woody plant species composition along a fire chronosequence in mixed pine–oak forest in the Sierra Madre Oriental, Northeast Mexico. Forest Ecology and Management 256: 161–167.

IGLESIAS, A., GARROTE, L., DIZ, A., SCHLICKENRIEDER, J., MARTIN-CARRASCO, F., 2011. Re-thinking water policy priorities in the Mediterranean region in view of climate change. Environmental Science & Policy 14, 744-757.

INEGI. 2005.Marco Geoestadístico Municipal, versión 3.1

KONG, A.Y.Y., J. SIX, D.C. BRYANT, R.F. DENISON, AND C. VAN KESSEL. 2005.The relationship between carbon input, aggregation, and soil organic carbon stabilization in sustainable cropping systems.Soil. Sci. Soc. Am. J. 69:1078-1085.

MORENO, I., ORIOLI, G., BONDEO, E. y MARZARI, R., 1999. Dinámica de C y N en suelos bajo diferentes usos. Proceed. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. (Texto completo en CD Rom.) Pucón, Chile.

REICOSKY, D. C., 2002. Long – Term Effect of Moldboard Plowing on Tillage – Induced CO2 Loss, in J. M. Kimble, R. Lal and R. F. Follet: Agricultural Practices and Polices for Carbon Sequestration in Soil. Lewis Publishers. Papers form symposium held July 1999 at Ohio State University, Columbus, Ohio, 87-96 p.

LASSALETTA, L., AGUILERA, E. 2012. Mediterranean farming in times of climate change. Analysis of the challenges and opportunities. http://organicdays.eu/wp-content/uploads/proceedings_OD_v1.pdf

SALOMÓN, L., GÓMEZ, G., ETCHEVERS, B. 2007. Acumulación de Carbono Orgánico en el suelo en reforestaciones de Pinus michoacana Agrociencia 41(7): 711-721.}

SÁNCHEZ, J. E., HARWOOD, R. R., WILLSON, T. C., KIZILKAYA, K., SMEENK, J., PARKER, E., PAUL, E. A. KNEZEK, B. D., ROBERTSON, G. P., 2004. Managing soil carbon and nitrogen for productivity and environmental quality.Agron. J. 96, 769-775.

SIX, J., ELLIOTT E.T., PAUSTIAN K., 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. Soil Biol. Biochem., 32, 2099-2103.

WEST, T. O., POST, W. M., 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rortation: A global data analysis. Soil Sci. Soc. Am. J. 66, 1930-1946.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EFECTO DEL SISTEMA AGROFORESTAL "MILPA-CHICHIPERA" EN LA DINÁMICA DEL C Y N EN EL SUELO DE UN ECOSISTEMA SEMIÁRIDO

Patricio-López, Itzel Carolina[1*]; Montaño, Noé Manuel[1]; Camargo-Ricalde, Sara Lucía[1]; Tapia-Torres, Yunuen[2]

[1]Departamento de Biología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. Ciudad de México, México.
[2]Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia, Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, Michoacán. México.
*Autor responsable: carolinapatriciolopez@gmail.com; Av. San Rafael Atlixco No. 186, Vicentina, Iztapalapa, C.P. 09340, Ciudad de México, México. Tel. +52 (55) 4812 7252.

Resumen
En la región de San Luis Atolotitlán, dentro del Valle de Tehuacán, Puebla, el sistema agroforestal (SAF) Milpa-Chichipera permite la conservación de especies vegetales y la agricultura; sin embargo, su efecto en la dinámica del carbono (C) y nitrógeno (N) del suelo ha sido poco estudiado. Se evaluó el efecto del SAF Milpa-Chichipera (islas de vegetación, SAF-I y áreas abiertas, AA-SAF) en la dinámica del C y N en el suelo en comparación con el cultivo agrícola (CA) y matorral xerófilo-chichipera (MX-CH). Por cada uso de suelo se establecieron cinco parcelas en las que se colectó una muestra compuesta de suelo durante lluvias. Se evaluaron las propiedades físicas, químicas y las transformaciones del C y N. La humedad aumentó de CA a MX-CH, el pH fue más alcalino en CA, el C total y orgánico fueron mayores en el MX-CH, el C inorgánico no cambió entre usos de suelo, el nitrato fue mayor en el SAF-I y el MX-CH; así mismo, el C y N microbianos fueron mayores en MX-CH, la mineralización de C y N fue mayor en MX-CH y SAF-I respectivamente, la nitrificación fue mayor en AA-SAF y SAF-I, y la amonificación mayor en SAF-I y MX-CH. Se concluye que, en comparación con el CA, el SAF Milpa-Chichipera favorece el ciclaje de C y N manteniendo la fertilidad del suelo de manera similar al MX-CH.

Palabras clave: Agroforestería; Dinámica de nutrientes; Ecosistemas semiáridos; Valle de Tehuacán

Introducción
La agricultura intensiva rompe los mecanismos y procesos de protección de los nutrientes del suelo, al modificar la estructura de la comunidad vegetal y del suelo. Esto afecta el ciclaje de nutrientes en los ecosistemas y a las comunidades de organismos que residen en el suelo, como por ejemplo a las comunidades microbianas (Waldrop *et al*., 2000). Esta transformación, ligada al cambio del uso de suelo de vegetación nativa a agricultura, reduce hasta en 77% la biomasa microbiana, con impactos negativos en las tasas de mineralización del C y N en el suelo de ecosistemas tropicales secos (Prasad *et al.*, 1994; Murty *et al*., 2002; Materechera, 2014), lo que limita a largo plazo la disponibilidad de nutrientes y la fertilidad edáfica. Una alternativa que minimiza los daños de la agricultura intensiva son los denominados sistemas agroforestales (SAF). Los SAF emplean técnicas de agricultura tradicional combinadas con la conservación de especies de plantas y animales nativos y domésticados

que tienen algún valor biocultural y/o económico para los campesinos (Moreno-Calles et al., 2013), así los SAF equilibran la conservación de los recursos naturales y la producción de alimento (Moreno Calles y Casas, 2008; Moreno-Calles *et al.*, 2014).

En México, en la región semiárida del Valle de Tehuacán, Puebla, se localiza el SAF "Milpa-chichipera". Este SAF combina prácticas agrícolas con la conservación de plantas nativas del matorral xerófilo con dominancia de *Palaskia chichipe* (Cactaceae). En este sistema las especies de plantas son mantenidas en conjuntos que constituyen "islas de vegetación" en cuyo alrededor se generan espacios abiertos sin vegetación (claros) en donde se cultiva maíz y frijol (Moreno-Calles *et al*., 2012). A pesar que este SAF ha sido estudiado en cuanto a su diversidad vegetal y papel en el flujo génico de la vegetación, así como en su importancia biocultural y social (Moreno-Calles *et al*., 2013), a nivel del suelo se ha realizado un sólo estudio sobre fertilidad, el cual indica que el SAF "Milpa-chihipera" mantiene la fertilidad edáfica (García-Licona *et al*., 2017). Sin embargo, este estudio únicamente se basó en el análisis de las concentraciones totales de N, K, Cu y B, por lo que aún se conoce muy poco sobre su impacto en el suelo y se desconoce cómo podría influenciar la dinámica microbiana del ciclaje del C y N en el suelo respecto al cambio de uso de suelo que implica transformar el matorral xerófilo a la agricultura.

Por las características estructurales de la vegetación del SAF "Milpa-chichipera" cercanas al matorral xerófilo nativo y diferentes de los cultivos agrícolas, éste SAF podría contribuir de forma crítica a mantener los procesos microbianos que sostienen la disponibilidad del C y N ante el cambio de uso de suelo de matorral a agricultura, como ocurre en otros SAF semiáridos (Bossio *et al*., 1998). Por lo tanto, este estudio evaluó el efecto del SAF "Milpa-chichipera", empleado de manera tradicional en el Valle semiárido de Tehuacán, en la dinámica del C y N en el suelo, en comparación con el cultivo agrícola (maíz-frijol) y la vegetación nativa (matorral xerófilo-chichipera).

Materiales y Métodos

Sitio de estudio y muestreo

Este estudio se realizó en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, Puebla-Oaxaca, México, en donde se localiza la región semiárida de San Luis Atolotitlán. El clima es semiárido con una precipitación anual de 400 mm y una temperatura de 21°C. La vegetación es un matorral xerófilo con elementos arbustivos, arbóreos y arborescentes como las cactáceas *Polaskia chichipe* (Gosselin) Backeb. y *Polaskia chende* Gibson y Hora (Moreno-Calles *et al*., 2012; Moreno-Calles *et al*., 2013). El suelo es un Leptosol poco desarrollado, pedregoso y muy susceptible a la erosión (WRB, 2014).

En la región de SLA se identificaron áreas con tres diferentes usos de suelo y por cada uso de suelo se marcaron cinco parcelas separadas por un 1km, las cuales fueron utilizadas como unidades de muestreo. Los diferentes usos de suelo fueron: el matorral xerófilo-chichipera, el SAF "Milpa-chichipera" y los cultivos agrícolas. Se obtuvieron un total de 5 parcelas por cada tipo de uso: a) Cultivo agrícola (CA) de maíz y frijol, b) SAF "Milpa-chichipera" con dos condiciones: i) islas de vegetación (SAF-I) conformadas por leguminosas, agaves y cactáceas y ii) áreas abiertas (clareadas) para el cultivo de la milpa (AA-SAF), y c) el matorral xerófilo-chichipera (MX-CH) que corresponde a la vegetación original de matorral xerófilo con presencia de *P. chichipe* (Moreno-Calles *et al*., 2013; Vallejo Ramos *et al*., 2017). Las parcelas para el muestreo fueron similares en altitud (1977 a 2127

m snm), pendiente (0-17 %), orientación (N-O) y, en el caso de los cultivos agrícolas, éstos fueron de maíz y frijol de temporal, orgánicamente fertilizados y trabajados con arado jalado por yunta.

El suelo se colectó en la estación lluviosa (septiembre 2017), las parcelas en cada tipo de manejo fueron de 20×50 m y en ellas se realizaron tres transectos separados entre sí por cinco metros, para colectar por transecto 5 submuestras de suelo, una cada 8 m, a 15 cm de profundidad. Se obtuvieron 15 submuestras por parcela, las cuales fueron mezcladas homogéneamente y tamizadas con una malla de 2 mm para formar una muestra compuesta por parcela. Así se obtuvieron 5 muestras compuestas de suelo por cada tipo de uso de suelo para tener un total de 20 muestras compuestas.

Análisis de laboratorio

La humedad del suelo fue determinada por el método gravimétrico. El pH del suelo se midió en una solución suelo:agua desionizada (1:2.5 p/v). El C total (Ct) se determinó por combustión seca a 900 °C y coulometría en un analizador TOC. El C inorgánico fue determinado por acidificación con H_2SO_4 2N y medido por coulometría en el auto-analizador TOC. El C orgánico se estimó como la diferencia entre el C total y el C inorgánico. El nitrógeno total (Nt) se determinó mediante una digestión ácida con H_2SO_4 concentrado y H_2O_2 (20:1), siguiendo el método macro-Kjendahl. El nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) se extrajeron con KCl 2N y se determinaron por el método de fenol-hipoclorito en un autoanalizador (Robertson *et al*., 1999).

La mineralización potencial del C y N, así como la nitrificación fueron estimadas mediante un experimento de incubación de 30 días en condiciones controladas de temperatura (25°C) y humedad a capacidad de campo, usando una trampa de NaOH 1N y titulación con HCl (Robertson *et al*., 1999). La mineralización del N se estimó mediante la diferencia entre las concentraciones de amonio y nitrato antes y después de incubar, divididas entre los días de incubación. La nitrificación fue estimada con la concentración de NO_3^- mediante la diferencia entre la concentración final (después de la incubación) y la inicial (antes de la incubación), entre los días de incubación. El C microbiano se determinó por el método de fumigación con cloroformo y respiración a partir de muestras fumigadas y no fumigadas (Robertson *et al.*, 1999) y un K_{EC} de 0.45 para el C (Joergensen, 1996). El N microbiano se estimó por la diferencia entre el N (macro-Kjendahl), de muestras fumigadas y no fumigadas (Robertson *et al.*, 1999) y un K_{EN} de 0.54 (Joergensen, 1996). Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva y análisis de varianza de una vía.

Resultados y Discusión

El pH fue ligeramente más alcalino en el CA (7.32 ± 0.03) que en los demás usos de suelo (AA-SAF, SAF-I y MX-CH) que presentaron valores ácidos variando entre 6.47 y 6.70. Una mayor entrada de materia orgánica, sustentada por más C orgánico concentrado en estos suelos, podría estar contribuyendo a esta acidificación (García-Licona *et al*. 2017). La humedad del suelo aumentó del CA (32.4± 2.5%) al MX-CH (39.5±3.6%), con valores intermedios en ambas condiciones del SAF, indicando que la acumulación de materia orgánica, una mayor cobertura vegetal y cantidad de raíces podrían estar favoreciendo la retención de humedad en éstos usos de suelo de forma distinta al CA (Moreno-Calles *et al*., 2012; García-Licona *et al*., 2017).

El C total aumentó del CA al MX-CH al igual que el C orgánico, CA con 4.6 ± 0.2 mg g^{-1}, MX-CH con 60.2 ±0.4 mg g^{-1} y CA con 11.4 ±0.2 mg g^{-1}, MX-CH con 54.5 ±0.4 mg g^{-1}, respectivamente. Esto podría estar explicado por una mayor cobertura vegetal que favorece la entrada de materia orgánica en el SAF y el MX-CH (Murty *et al.*, 2002). El C inorgánico en CA (5.39 ± 0.03 mg g^{-1}) y en MX-CH (5.69 ± 0.03 mg g^{-1}) presentó los valores más altos, pero éstos no difirieron de los otros usos de suelo, sugiriendo que esta forma química del C fue la menos afectada por el cambio de uso de suelo. El N total (mg g^{-1}) fue mayor en el MX-CH (4.52 ± 0.03) seguido del SAF-I (4.16 ± 0.03); el amonio aumentó del CA (16 ± 3.07 µg g^{-1}) al MX-CH (21 ± 1.74 µg g^{-1}), el nitrato en el SAF-I fue de 48 ± 5.1 µg g^{-1} y en el MX-CH de 48 ± 3.3 µg g^{-1}, que correspondieron a los valores más altos sin diferencias entre estos usos de suelo. Esto sugiere que el SAF favorece, en relación con el CA, la entrada de N y su reciclaje de manera similar al MX-CH, lo que podría explicar una fertilidad edáfica similar entre estos usos de suelo.

El C microbiano (µg g^{-1}) en el SAF-I fue alto (340.6 ± 82.2) seguido del MX-CH (330.9 ± 55.4), sin diferencias significativas entre éstos; mientras que el CA tuvo el valor más bajo (88.6 ± 9.7). El N microbiano (µg g^{-1}) fue también menor en el CA (55 ± 1.9) y el MX-CH presentó la mayor concentración (236 ± 27); en contraste, el SAF-I tuvo un valor intermedio (185 ± 18). Estos datos indican que el CA reduce considerablemente la retención de C y N en la biomasa microbiana, mientras que el SAF tiene posibles mecanismos microbianos de conservación de C y N similares al MX-CH, ya que una mayor cantidad de C orgánico en estos usos de suelo podría estar estimulando el crecimiento microbiano y la inmovilización de estos nutrientes en la biomasa microbiana (Prasad *et al.*, 1994; Montaño *et al*., 2007).

En la mineralización potencial del C (µg CO_2-C g^{-1}), el CA tuvo la menor tasa de mineralización con 512.07 ± 6.7 y el MX-CH registró la más alta con 1655.4 ± 10.8, seguido del SAF-I con 1513.8 ± 20. Esto coincide con la acumulación de C orgánico y una mayor biomasa microbiana en el SAF-I y el MX-CH, sugiriendo que éstos también estimulan la actividad microbiana ligada a la transformación del C como se ha documentado experimentalmente y en otros ecosistemas secos (Verhagen y Laanbroek, 1991; Montaño *et al*., 2007). La tasa de mineralización del N (µg N g^{-1} d^{-1}) fue mayor en el SAF-I con 30 ± 7.1 y menor en el CA con 8 ± 3.5. Asimismo, la amonificación (µg NH_4^+ g^{-1} d^{-1}) fue mayor en el SAF-I con 15 ± 3.8 seguido del MX-CH con 12 ± 2.1, respecto a los demás usos de suelo. Esto indica que el SAF-I y el MX-CH aceleran la transformación del N a la vez que promueven la conservación del N en la biomasa microbiana. No obstante, la nitrificación (µg NO_3^- g^{-1} d^{-1}) fue también mayor en AA-SAF con 14.4 ± 3.84 y en SAF-I con 14.4 ± 5.9 en comparación con los demás usos de suelo, sugiriendo que en el SAF posiblemente la retención de N en la biomasa microbiana heterótrofa es de menor tiempo en comparación con el MX-CH, lo que podría estar asociado a una menor calidad de C orgánico disponible para los heterótrofos en el SAF y por la presencia de grupos microbianos distintos a los del suelo de MX-CH, los cuales podrían ser los responsables de las altas tasas de nitrificación. Este cambio en los grupos microbianos en función de la disponibilidad del C como fuente de energía para las comunidades microbianas heterótrofas ha sido reportado previamente en otros experimentos y en distintos contextos ambientales dentro de ecosistemas secos (Verhagen y Laanbroek, 1991; Waldrop *et al*. 2000; Leinger *et al*., 2006).

Conclusiones

Este estudio ofrece evidencias de que el SAF Milpa-chichipera a través de las islas de vegetación favorece la dinámica del C y N de forma similar al matorral xerófilo nativo, lo que sugiere que este SAF en la región de San Luis Atolotitlán no sólo favorece la conservación de plantas nativas, si no también mantiene la fertilidad del suelo a través de favorecer procesos microbianos que permiten la conservación de la disponibilidad del C y N en el suelo, por lo que resulta bioquímicamente más sustentable que los cultivos agrícolas.

Agradecimientos

ICPL agradece al CONACYT por la beca otorgada para sus estudios de Maestría en Biología en el Posgrado de la UAM-Iztapalapa. Los autores agradecen a los pobladores de San Luis Atolotitlán por permitirnos trabajar en sus parcelas y a la familia Ortega por su apoyo en campo y hospitalidad

Referencias

Bossio, D.A., Scow, K.M., Guanapala, N. and Graham, K.J. 1998. Determinants of soil microbial communities: effects of agricultural management, season, and soil type on phospholipid fatty acid profiles. Microb Ecol. 1(36): 1-12.

García-Licona, J.B., Maldonado-Torres, R., Moreno-Calles, A.I., Álvarez-Sánchez, M.E., García-Chávez, J. and Casa, A. 2017. Ethnagroferestry management and soil fertility in the semiarid Tehuacán Valley, México. Ethnobiol Conserv. 6(5): 1-16

Joergensen, RG. 1996. The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: calibration of the k_{EC} value. Soil Biol Biochem. 28:25–31

Joergensen, RG. and Mueller T. 1996. The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: calibration of the k_{EN} value. Soil Biol Biochem. 28:33–37

Leininger, S., Urich, T., Schloter, L., Qi, J., Nicol, G., Prosser, J., Schuster, S. and Schleper, C. 2006. Archaea predominante among ammonia-oxidizing prokaryotes in soils. Nature 442: 806-809.

Materechera, S.A. 2014. Influence of agricultural land use and management practices on selected soil properties of a semiarid savanna environment in South Africa. J Arid Environ. 102: 98-103.

Montaño, N.M., García-Oliva, F. and Jaramillo, V.J., 2007. Dissolved organic carbon affects soil microbial activity and nitrogen dynamics in a Mexican tropical deciduous forest. Plant Soil, 295: 265-267.

Moreno-Calles, A.I. y Casas, A. 2008. Conservación de la biodiversidad y sustentabilidad en sistemas agroforestales de zonas áridas del valle de Tehuacán, México. Zonas Áridas. 12: 1-25.

Moreno-Calles, A.I., Casas, A., García-Frapolli, E. and Torres-García, I. 2012. Traditional agroforestry systems of multi-crop "milpa" and "chichipera" cactus forest in the arid Tehuacan Valley, Mexico: Their management and role in people's subsistence. Agroforest Syst. 84: 207-226.

Moreno-Calles, A.I., Toledo, V. and Casas, A. 2013. Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación biocultural. Bot Sci. 91(4): 375-398.

Moreno-Calles, A.I., Vallejo, R.M., Casas, A. y Blancas, J. 2014. Los sistemas agroforestales tradicionales del valle de Tehuacán y su diversidad biocultural. Ciencias. 111-112: 42-49.

Murty, D., Kirschbaum, M.F., McMurtrie, R.E. and McGilvray, H. 2002. Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? A review of the literature. Global Change Biol. 8: 105–123.

Prasad, P., Basu, S. and Behera, N. 1994. A comparative account of the microbiological characteristics of soils under natural forest, grassland and cropfield from Eastern India. Plant Soil. 175: 85-91.

Robertson, P.G., Coleman, D.C., Bledsoe, C.S. and Sollins, P. 1999. Standard soil methods for long-term ecological research. Oxford University Press, 457pp.

Vallejo Ramos, M., Casas, A., Moreno-Calles, A.I. y Blancas, J. 2017. Los sistemas agroforestales del Valle de Tehuacán: una perspectiva regional. En: Moreno-Calles, A.I., Casas, A., Toledo, V. y Vallejo Ramos, M. Etnoagroforestería en México. 1ª Ed. Morevalladolid. Escuela Nacional de Estudios Superiores, Morelia, UNAM. 349 pp.

Verhagen, F. J. and Laanbroek, H. J. 1991. Competition for ammonium between nitrifying and heterotrophic bacteria in dual energy-limited chemostats. J Appl Environ Microbiol. 57: 3255-3263.

Waldrop, M.P., Balser, T.C. and Firestone, M.K. 2000. Linking microbial community composition to function in a tropical soil. Soil Biol Biochem. 32: 1837– 1846.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE MAÍCES EN UN SUELO LUVISOL

Villalobos-González, A.[1*]; Rangel-Fajardo, M.A.[2]; Tucuch-Haas, J.I.[3]; Nava-Padilla, R.[4]; López-Hernández, M.B.[5]

[1*]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Edzná. Campeche, Camp. México.
[2,3] INIFAP, Campo Experimental Mococha. Mérida, Yucatán- México.
[4]INIFAP, Campo Experimental Chetumal. Chetumal, Quintana Roo. México.
[5]Instituto Tecnológico de Chiná (IT China). Campeche, Camp. México.

*villagonzalez.antonio@hotmail.com; Calle Roble Núm. 24, Col. Santa Lucia, Campeche, Camp., México. CP XXXXX; Tel. 01 800 088 2222 ext. 88312

Resumen
El objetivo del trabajo fue estudiar la respuesta de un grupo de maices de grano blanco (GB) y amarillo (GA) sobre el número de días a floración masculina (NDFM) y femenina (NDFF), altura de planta (ALTPLA) y mazorca (ALTMAZ), número hileras en la mazorca (NHMAZ), número de granos por hilera (NGHMAZ) y rendimiento de grano kg/ha^{-1} (REND. Kg/ha^{-1}). Para ello se empleó el material H-516, H-562, H-563, H-565, H-568, H-520, H-567, VS-563, HEV 3B, CLTHW 13001, CLTHW 13005, CLTHW 14001, CLTHW 14003, CLTHW 14005, CLTHY 13002, Sint B Ocotito/2016/PV, Sint B Cristalino, Pob 501 Cz, Pob 502 Cs, Pob 510 HGA y Pob 510 HGB de GB, y CLTHW 13002, Sint A Ocotito, Sint 1A y Sint A Dentado de GA. La investigación se condujo bajo un diseño de bloques al azar con dos repeticiones. La siembra fue en julio 2017. HEV 3B presentó el mayor ($p \leq 0.05$) NDFM con 59. CLTHW 14001 presento el menor ($p \leq 0.05$) NDFF con 54 días. Sint B Ocotito/2016/PV y CLTHW 14005 presentaron la mayor ($p \leq 0.05$) ALTPLA con 2.6 y 2.5 m. CLTHW 14003 presento la mayor ($p \leq 0.05$) ALTMAZ con 107.5 cm. HEV 3B y CLTHW 13005 presentaron el mayor ($p \leq 0.05$) NHMAZ con 18. CLTHW 14005 y H-520 de GB, y CLTHY 13002 de GA presentaron el mayor ($p \leq 0.05$) NGHMAZ con 38 y 37 granos por hilera. El CLTHY 13002 obtuvo el mayor ($p \leq 0.05$) rendimiento con 5419 kg/ha^{-1}.

Palabras clave: Genotipo; suelo; temporal

Introducción
El cultivo de maíz (*Zea mays L.*) es una de las actividades económicas de alta importancia en la mayoría de las regiones agrícolas del globo terráqueo. La producción total a nivel mundial es de cerca de 1067 millones de toneladas y el 76% de la producción mundial de maíz se concentrará en cinco países: Estados Unidos, que participa con el 37%; China, con el 21%; Brasil, con el 8%; y con menores participaciones se encuentran la Unión Europea y Argentina. Mientras que México figura en el quinto lugar con alrededor de 28 millones de toneladas (USDA, 2016).

El rendimiento promedio de maíz en México bajo temporal es de dos toneladas por hectárea (SIAP, 2016). Mientras que en el estado de Campeche en el mismo año (2016) se sembraron alrededor de 189 mil hectáreas de maíz-grano. De las cuales, el 94% se cultiva en primavera-verano en condiciones de temporal (93.7%) y riego (.3%); con un rendimiento promedio de 2 y 4.4 t/ha^{-1} bajo temporal y riego. El resto (6%) se labora en otoño-invierno, con siembras de humedad residual (4.7%) y riego (1.3%). El rendimiento promedio oscila entre 1.6 t/ha^{-1} con humedad residual y 4.1 t/ha^{-1} con riego. Los principales municipios productores son: Hecelchakán, Campeche y Hopelchén, con un rendimiento promedio de 3.6 t/ha^{-1} (SIAP, 2016).

En este contexto, en Campeche existen agricultores de bajo recursos que no son capaces de aplicar estrategias de manejo de cultivos que pudieran aminorar limitaciones sobre la reducción de la producción de maíz-grano en condiciones de temporal (también denominado de secano). En tal escenario la introducción de genotipos de maíz mejor adaptados continúa siendo la mejor alternativa. Sin embargo, la mejora genética del maíz tiene diversas limitaciones metodológicas que obstaculizan su avance; entre estas, caracterizar adecuadamente el comportamiento de los genotipos que se están evaluando, es decir, que realizar un correcto fenotipeado es quizás uno de los más evidentes hoy en día (Araus *et al*., 2010). En este contexto, en Campeche es vital la actualización y generación de componentes tecnológicos para ser implementados a corto plazo en los terrenos de los productores y favorecer la relación beneficio-costo por hectárea. Ante esto, el presente estudio se planteó la evaluación de caracteristicas agronomicas de materiales de maíz de grano blanco y amarillo en condiciones de temporal en el estado de Campeche, México.

Materiales y Métodos

El experimento se realizó en la localidad de Pocyaxum, municipio de Campeche, Camp., México. La localidad se ubica en la zona Centro-Norte del estado de Campeche, sobre la carretera Campeche China – Hool, con coordenadas de latitud: 19.7333 y longitud: -90.3583, y 30 msnm. El terreno empleado para el ensayo se caracteriza por ser un tipo de suelo rojo-arcilloso-profundo, denominados *Kancab* o *K´aancab* en la clasificación de suelos elaborados por los antiguos Mayas y llamados Luvisoles en la clasificación de la FAO-UNESCO 1970. Posterior a la siembra, se realizaron dos pases de rastra: el primero fue mediante el empleo de una rastra semi-pesada y en el segundo se utilizó una rastra más ligera para la preparación del terreno. La siembra fue manual en julio 2017, al depositar una semilla por cepa a una distancia entre planta de 20 cm y .80 m entre surco, y dos metros entre tratamiento. A cada tratamiento consto de dos surcos.

Se evaluó el número de días a floración masculina (NDFM) y femenina (NDFF), altura de planta (ALTPLA) y mazorca (ALTMAZ), número hileras en la mazorca (NHMAZ), número de granos por hilera (NGHMAZ) y rendimiento de grano kg/ha^{-1} (REND. kg/ha^{-1}) de maíces de grano blanco (GB): H-516, H-562, H-563, H-565, H-568, H-520, H-567, VS-563, HEV 3B, CLTHW 13001, CLTHW 13005, CLTHW 14001, CLTHW 14003, CLTHW 14005, CLTHY 13002, Sint B Ocotito/2016/PV, Sint B Cristalino, Pob 501 Cz, Pob 502 Cs, Pob 510 HGA, Pob 510 HGB, y grano amarillo (GA): CLTHW 13002, Sint A Ocotito, Sint 1A y Sint A Dentado. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con dos repeticiones. A los datos se les realizo un análisis de varianza con el programa SAS para Windows Versión 9.0 (SAS, 2002) en forma individual. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados y Discusión

Número de días a floración masculina (NDFM). En el Cuadro 1, se observan las diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para el NDFM de los materiales de maíz de grano blanco y amarillo bajo condiciones de temporal en primavera-verano 2017. El genotipo HEV 3B presentó el mayor ($p \leq 0.05$) NDFM con 59. En este contexto, la fase fenológica de la floración masculina se presentó con menor ($p \leq 0.05$) NDFM en el material CLTHW 14001 y Sint B Cristalino con 54 días, respectivamente. Lo efectos mayores de la deficiencia hídrica, se manifiestan en el desarrollo floral y fallas en la fertilización y aborto de cigotos (Saini y Westgate, 2000).

Cuadro 1. Promedio del número días a floración masculina (NDFM) y femenina (NDFF), altura de planta (ALTPLA) y mazorca (ALTMAZ), número de hileras (NHMAZ) y granos por hilera en la mazorca (NGHMAZ), y rendimiento en kilogramos por hectárea (REND. Kg/ha^{-1}) de los materiales evaluados en condiciones de temporal, localidad Pocyaxum, Campeche, Camp. México 2017.

Nombre del Material	NDFM	NDFF	ALTPLA (m)	ALTMAZ (cm)	NHMAZ	NGHMAZ	REND. kg/ha^{-1}
H-516	56 ab	56 ab	1.7 b	87.5 abcde	14 b	33 abc	3868 fghi
H-562	57 ab	57 ab	2.1 ab	92.5 abcde	14 ab	35 abc	4315 bcdfg
H-563	55 ab	55 ab	2.3 ab	85.0 abcde	16 ab	33 abc	3234 hijk
H-565	57 ab	58 ab	2.1 ab	88.8 abcde	16 ab	35 abc	4843 abcd
H-568	56 ab	56 ab	2.1 ab	80.0 abcde	16 ab	36 ab	4633 abcdf
H-520	55 ab	55 ab	2.3 ab	65.0 e	12 b	37 a	3815 fghij
H-567	56 ab	56 ab	2.3 ab	88.8 abcde	16 ab	31 abc	4483 abcdf
HEV 3B	59 a	59 a	2.4 ab	86.3 abcde	18 a	32 abc	4636 abcdf
CLTHW 13001	56 ab	56 ab	2.4 ab	82.5 abcde	16 ab	35 abc	4257 bcdfgh
CLTHW 13002	55 ab	55 ab	2.2 ab	75.0 bcde	16 ab	34 abc	4427 abcdfg
CLTHW 13005	55 ab	55 ab	2.3 ab	72.5 cde	18 a	26 bc	5244 ab
CLTHW 14001	54 b	54 b	2.4 ab	86.3 abcde	16 ab	35 abc	5213 abc
CLTHW 14003	55 ab	56 ab	2.2 ab	107.5 a	16 ab	37 ab	3417 ghijk
CLTHW 14005	57 ab	57 ab	2.5 a	102.5 abc	16 ab	38 a	4939 abcd
CLTHY 13002	55 ab	55 ab	2.3 ab	100.0 abc	12 b	38 a	5419 a
Sint A Ocotito	55 ab	55 ab	2.2 ab	105.0 ab	14 ab	35 ab	3214 hijk
Sint B Ocotito/2016/PV	56 ab	56 ab	2.6 a	86.3 abcde	14 ab	33 abc	3899 dfghi
Sint A Dentado	55 ab	55 ab	2.2 ab	87.5 abcde	16 ab	34 abc	4190 cdfgh
Sint B Cristalino	54 b	55 ab	2.1 ab	66.3 de	14 ab	30 abc	3666 fghij
Pob 501 Cz	55 ab	55 ab	2.2 ab	78.8 abcde	12 b	33 abc	4135 dfgh
Pob 502 Cs	57 ab	57 ab	1.9 ab	76.3 abcde	12 b	31 abc	3837 fghij
Pob 510 HGA	57 ab	58 ab	2.2 ab	78.8 abcde	14 ab	29 abc	2563 k
Pob 510 HGB	55 ab	55 ab	2.2 ab	82.5 abcde	16 ab	34 abc	4644 abcdf
Sint 1A	58 ab	58 ab	2.3 ab	97.5 abcd	16 ab	29 c	2818 jk
VS-563	55 ab	55 ab	2.3 ab	77.5 abcde	16 ab	29 abc	2871 ijk
Promedio	56	56	2.2	85.5	16	33	4103
DMS	4.14	4.07	0.79	31.68	4.40	11.01	1044

Medias con la misma letra (s) entre tratamientos son estadísticamente iguales con un α=0,05.

Número de días a floración femenina (NDFF). Los resultados señalan diferencias ($p \leq 0.05$) significativas para el NDFF (Cuadro 1). La floración femenina oscilo entre 54 y 59 días después de la siembra. El material CLTHW 14001 presento el menor ($p \leq 0.05$) NDFF con cinco días menos que el HEV 3B, que obtuvo el mayor ($p \leq 0.05$) NDFF con 59 días. El rendimiento de grano promedio nacional en condiciones de temporal es de 2.2 t ha^{-1}, que en comparación con el que se obtiene en riego (8.4 t ha^{-1}) es muy bajo (SAGARPA, 2017); éste bajo rendimiento en temporal se debe principalmente a la frecuente presencia de deficiencias hídricas que coinciden con la floración, al disminuir considerablemente el rendimiento de grano en gran parte del área cultivada bajo condiciones de secano.

Altura de planta (ALTPLA, m). Los materiales Sint B Ocotito/2016/PV y CLTHW 14005 presentaron la mayor ($p \leq 0.05$) ALTPLA con 2.6 y 2.5 m. El H-516 presentó la menor ($p \leq 0.05$) ALTPLA con 1.7 m (Cuadro 1). Acosta *et al*., (2013) observaron una altura promedio de 2.45 m (2,45±0,29) bajo condiciones de temporal. Varios trabajos indican que el rendimiento en maíz es un carácter complejo, que depende de la interrelación de numerosos factores. Bajo condiciones de secano se han encontrado correlaciones significativas entre rendimiento y altura de planta (Peiretti *et al*., 1987).

Altura de mazorca (ALTMAZ, cm). El material CLTHW 14003 presento la mayor ($p \leq 0.05$) ALTMAZ con 107.5 cm, que el resto de los materiales estudiados. La menor ($p \leq 0.05$) ALTMAZ se presentó en el maíz H-520 con 65 cm (Cuadro 1). Estudios realizados por Silva et al., (2000) señala que la falta de humedad reduce el área foliar, la fotosíntesis y como consecuencia la planta reduce su producción. Estudios realizados en condiciones de secano, señalan que existen maíces sobresalientes en cuanto a la altura de mazorca; entre ellos maíces de calidad de proteína CLQ6203 x CML150, CML146 x CML142, CML176 x CML142, H-553C, H-363C, (CML141 x CML144) x CML142, CML176 x CML144 y H-559C y los híbridos normales Remaco 38, Remaco 37 y H-520, al observar una altura de mazorca de 117 cm en promedio (Sierra *et al*., 2004).

Número de hileras por mazorca (NHMAZ). El material HEV 3B de grano blanco (GB) y CLTHW 13005 de grano amarillo (GA) presentaron el mayor ($p \leq 0.05$) NHMAZ con 18. El menor ($p \leq 0.05$) NHMAZ lo presento el H-520, CLTHY 130002, Pob 501 Cz, Pob 502 Cs con 12 hileras y H-516 con 14 hileras (Cuadro 1). Otros estudios en maíz bajo temporal en verano muestran que existe variabilidad en el NHM, al presentar el material SC 2055 un mayor NHM que el hibrido SC 3084, SC 3062 y SC 2066 (Kandil *et al*., 2017).

Número de granos por hilera en la mazorca (NGHMAZ). El material CLTHW 14005 y H-520 de GB, y CLTHY 13002 de GA presentaron en ese orden el mayor ($p \leq 0.05$) NGHMAZ con 38 y 37 granos por hilera. El Sint 1A presento el menor NGHMAZ con 29 granos (Cuadro 1). Shim *et al*. (2017) indica que a medida que se acelere el calentamiento global en el mundo, las altas temperaturas que se originan en los ciclos de producción agrícola y específicamente en condiciones de temporal, afectaran los procesos de determinación de rendimiento de maíz y sus componentes de rendimiento, por ejemplo, el número de granos normales por mazorca.

Rendimiento en kilogramos por hectárea (REND. Kg/ha^{-1}). El CLTHY 13002 de GA obtuvo el mayor ($p \leq 0.05$) rendimiento de grano con 5419 kg/ha^{-1}. La Pob 510 HGA presento el menor ($p \leq 0.05$) rendimiento de grano por hectárea con 2563 kg/ha^{-1} (Cuadro 1). Estudios indican que la producción de maíz bajo temporal raquíticos (estrés hídrico), el NHMAZ, NGMAZ y el rendimiento son afectados al reducir el número de hileras y granos por hilera (Villalobos *et al*., 2016).

Conclusiones

En el estado de Campeche, en el ciclo de primavera-verano en condiciones de temporal; el material que mostro una mayor respuesta al rendimiento en kilogramos por hectárea fue el CLTHY 13002.

Referencias

Acosta, R.R., L.A.R. Colomer, L.H. Rios, C.M. Martinez. 2013. Evaluación morfoagronomica de una población de maíz (Zea mays, L.) en condiciones de polinización abierta en el municipio Batabanó, provincial Mayabeque. Cultivos tropicales, Vol. 34, Núm. 2, p. 52-60.

Araus, J.L., C. Sanchez, G.O. Edmeades. 2010. Maíz tropical: fisiología del rendimiento y adaptación a sequía. El cultivo del maíz. Temas selectos II. Libro Mundi-Presa México, S.A. de C.V. 227 p.

FAO-UNESCO (Food and Agricultural Organization of the United Nations). 1970. Clave de unidades de suelos del mundo. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Dirección de Agrología. México, D.F.

Kandil, A.A., A.E. Sharief, A.M.A. Abozied. 2017. Maize Hybrids Yield as Affected by Inter and Intra Row Spacing. International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB), Vol. 2, Núm. 2. p 643-652.

Peiretti, D.A., M.A. Barrandeguy, C.A. Biasutti, N. Salomon. 1987. Programa: Creaciones Fitogenéticas en maíz con respuesta adaptativa a la zona marginal. En Primera Jornadas Nacionales de Zona Aridas y Semiáridas. Santiago del Estero, Argentina 345-349.

Saini, H.S and M.E. Westgate. 2000. Reproductive development in grain crops during drought. Advances in Agronomy 68: 59-96.

SAGARPA, Secretaria de Agricultura, Ganaderia, Dessarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2017. Datos de SIAP-SAGARPA. p/ cifras preliminaries /e cifras estimadas de acuerdo con los avances de siembra y cosecha a diciembre 2017.

Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2016. Sistema de Información Agropecuarias de Consulta (SIACON). Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Versión 1.1, México, D.F. http://www.siap.gob.mx/

Shim, D., K.J. Lee, B.W. Lee. 2017. Response of phenology- and yield-related traits of maize to elevated temperature in a temperate region. Crop Science. 5: p 305-316.

Sierra, M.M., B. Leor, N. Enrique, C.A. Palafox, F.S. Barrón, R.O. Cano, M.A. Zambada, R.A. Sandoval, M.J. Romero. 2004. Caracterización de Híbridos de Maíz (Zea mays L.) con Alta Calidad de Proteína por su Rendimiento y Tolerancia a Pudrición de Mazorca en el Sureste de México Revista Mexicana de Fitopatología, Vol. 22, Núm. 2. pp. 268-276

Statistical Analysis System, Versión 9.0 para Windows. 2002. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

USDA, 2016. Foreign Agricultural Service - Production, 2016 Report. Mexico, Grain and Feed Annual.

Villalobos, G.A., C.C. López, C.S. Miranda, R.V.H. Aguilar, H.M.B. López. 2016. Relaciones hídricas en maíces de Valles Altos de la Mesa Central de México en condiciones de sequía y fertilización nitrogenada. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Vol. 7, Núm. 7. Pág. 1651-1665.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

FERTILIZACIÓN Y PRODUCTIVIDAD DE LA MILPA EN EL SISTEMA MIAF EN TRES COMUNIDADES MAZAHUA DEL ESTADO DE MÉXICO

Santiago-Mejía, H.[1*]; Albino-Garduño, R.[1]; Muñoz-Ruiz, E.[1]; Silva-Arellano, G.[1]; Lucas-Álvarez, G[1].

[1]Universidad Intercultural del Estado de México. San Felipe del Progreso, Estado de México. México.

*Autor responsable: horaciosm@colpos.mx; Libramiento Francisco Villa S/N, Col. Centro, San Felipe del Progreso, Estado de México. México. CP 50640; Tel. +52(712)-123-5963 Ext. 118 y 119.

Resumen

El objetivo de la investigación fue analizar el efecto de la fertilización con NPK y estiércol en el rendimiento del cultivo maíz cónico (*Zea mays* L.) intercalado con tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*), en el sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF), en tres comunidades mazahua del Estado de México. Las parcelas se establecieron con campesinos del Ejido La Cabecera (EC), Santa Rosa de Lima (SR) y San Mateo (SM), durante el ciclo agrícola 2015. Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas con dos tratamientos de parcela grande y 10 tratamientos de parcela chica, con tres repeticiones. La parcela grande fue: 1) estiércol vacuno (10 t ha^{-1}) y 2) sin estiércol. Los tratamientos de parcela chica resultaron del diseño compuesto central rotable con los factores nitrógeno, fósforo y potasio. Se evaluó el rendimiento de grano de maíz y del fruto de tomate (t 0.5ha^{-1}). Con la dosis central 120-80-40-10 kg de NPK y t estiércol ha^{-1} el mayor de rendimiento de maíz fue en EC y de tomate en SM, 5.4 y 8.6 t 0.5ha^{-1}, respectivamente. El estiércol favoreció el efecto de NPK en el rendimiento de maíz de los tres sitios y en tomate el N, P y su interacción abatió los rendimientos en SR y SM. El P y su interacción con estiércol incrementaron el rendimiento de maíz en el andosol de SR. La productividad de la milpa varió en cada comunidad y la fertilización de NPK y estiércol la potencializa.

Palabras clave: NPK, estiércol, maíz cónico, tomate de cáscara.

Introducción

La agricultura campesina en México enfrenta dos grandes retos, resolver la crisis ambiental, económica y social en la que se encuentra inmersa; y por otro parte, salvaguardar la agrobiodiversidad mexicana. El 82 % de la unidades de producción en México son menores a cinco hectáreas y casi la mitad de ellas se encuentras en laderas con pendientes moderas y abruptas. En estas regiones habitan la mayoría de los 26 millones de indígenas de nuestro país (CDI, 2018). La pérdida de fertilidad de los suelos, el uso indiscriminado de agrotóxicos, la tendencia al monocultivo, principalmente, ponen en riesgo la seguridad alimentaria de la población rural. La Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF) es una alternativa agroecológica para resolver la crisis multidimensional de la agricultura campesina. Es una plataforma tecnológica con un arreglo topológico que permite la interacción agronómica positiva en su cultivo (Albino-Garduño *et al*., 2015); árboles frutales (epicultivo), maíz asociado con frijol o haba (mesocultivo) y especies de porte bajo como tomate, calabaza o quelites (sotocultivo). Este sistema se establece en franjas, en laderas las franjas van en curvas a nivel en las

que el árbol frutal ocupa el 40% de la superficie, y la milpa el 60% (Cortés *et al*., 2005). La tecnología se ha desarrollado con especies mejoradas o nativas en unidades productivas de mediana a alta productividad, en los estados de Oaxaca, Chiapas, Veracruz y Puebla. De acuerdo a su pertinencia para el campesino en México hace necesario su desarrollo y evaluación en regiones que los requieren como en las que habitan los grupos originarios del Estado de México. Los campesinos mazahua aun cultivan el maíz cónico de diferentes colores, pero su rendimiento es bajo debido a la degradación de sus suelos. Por lo anterior es necesario realizar investigación en las condiciones edafloclimáticas y socioculturales de estos campesinos. Evaluar el efecto de la fertilización con NPK y estiércol en el rendimiento del cultivo maíz cónico intercalado con tomate de cáscara en tres comunidades mazahua del Estado de México; ayuda a incrementar la producción de cultivos básicos y coadyuva a la seguridad alimentaria de la población indígena y rural de México.

Materiales y Métodos

Sitio experimental

El estudio se realizó en comunidades mazahua de tres municipios del Estado de México: 1) Santa Rosa de Lima, en El Oro; 2) Ejido La Cabecera, en San Felipe del Progreso y 3) San Mateo, en Ixtlahuaca. El clima en los tres sitios es templado subhúmedo con lluvias en verano.

Para conocer las características del suelo, previas al experimento y del estiércol usado se analizaron tres muestras compuestas de cada sitio experimental en enero de 2015.

Diseño de tratamientos y experimental

Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas con dos tratamientos de parcela grande y 10 tratamientos de parcela chica, con tres repeticiones. Estos fueron probados en el cultivo intercalado de maíz-tomate en razón de dos surcos de cada especie. La parcela grande fue: 1) fertilización con estiércol vacuno pre-composteado (5 t ha^{-1}) y 2) sin estiércol. En cada parcela grande se evaluaron los factores nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). La combinación de estos factores dio lugar a 10 tratamientos de parcela chica de acuerdo a un diseño compuesto central rotable (Cuadro 1). Este diseño tuvo como base un diseño factorial 2^2 (dos niveles de los factores: N y P). Los niveles de cada variable se codificaran como -1 y +1, aumentados por cuatro puntos axiales codificados como -2 y +2, además de un punto central codificado como (Barrios-Ayala *et al*., 2003; Volke *et al*., 2005) (Cuadro 2). Para conocer el efecto del potasio en los tratamientos, con dosis constante de este, se anexó un tratamiento sin potasio. El tomate tuvo la misma dosis de fertilización que el maíz.

Cuadro 1. Tratamientos de parcela chica en central compuesto para dos factores y un tratamiento adicional sin potasio.

Tratamiento	Factores y sus niveles		
	N	P	K
1	-1	-1	0
2	+1	-1	0
3	-1	+1	0
4	+1	+1	0
5	-2	0	0
6	+2	0	0
7	0	-2	0
8	0	+2	0
9	0	0	0
10	0	0	-2

Cuadro 2. Codificación de los niveles de N, P y K (fertilizante mineral) a probar en cada parcela chica

	Niveles de los factores				
	-2	-1	0	+1	+2
N (kg ha^{-1})	60	90	120	150	180
P_2O_5 (kg ha^{-1})	20	50	80	110	140
K_2O (kg ha^{-1})	0	20	40	60	80

Los tratamientos de parcela chica tuvieron distribución al azar en cada repetición. Cada tratamiento de parcela chica tuvo una parcela útil de dos surcos de 0.8 m de ancho por 4.1 m de largo en cada una de las tres repeticiones.

Manejo del cultivo

Las fechas de cada labor cultural, los procedimientos de siembra, escarda y cosecha se hicieron como los campesinos acostumbran de manera tradicional. El barbecho con arado (enero de 2015) y el trazado de surcos para la siembra (abril de 2015) se hizo con tracción animal. Se utilizó semilla nativa de maíz cónico (*Zea mays* L.): blanco en San Mateo, amarillo en El Ejido y negro en Santa Rosa. En la siembra de maíz y trasplante de tomate se aplicó 1/3 del N, todo el P y K. El resto del N se aplicó al maíz en la primera escarda y al tomate cuando fue la segunda escarda del maíz. El estiércol fue aplicado durante la siembra de maíz a dosis constante equivalente a 10 t ha^{-1}. El tomate verde (*Physalis ixocarpa*) fue sembrado en almácigo y trasplantado en la primera semana de junio. En la misma fecha se realizó la primera escarda del maíz y su segunda fertilización.

Variables de estudio

Rendimiento de grano de maíz (t 0.5 ha^{-1}) se calculó con el 14 % de humedad y rendimiento de fruto de tomate de cáscara (t 0.5 ha^{-1}).

Análisis estadístico

Los datos de rendimiento de grano de maíz y de fruto de tomate de cáscara se les realizaron un Análisis de Varianza (ANOVA) para determinar las variables significativas en el rendimiento. Con las variables significativas del rendimiento de ambas especies se realizó análisis de regresión para determinar su ecuación de rendimiento.

Resultados y Discusión

Con la dosis central, 120-80-40 kg de NPK ha^{-1} el rendimiento más alto de grano de maíz fue en la comunidad de Ejido La Cabecera, en segundo lugar San Mateo y el más bajo fue en Santa Rosa de Lima; 5.4, 2.8 y 2.5 t 0.5 ha^{-1}, respectivamente. En los tres sitios hubo un efecto positivo en el rendimiento al utilizar 10 t estiércol ha^{-1} (Fig. 1A). Para el rendimiento de fruto de tomate de cáscara el rendimiento más alto se obtuvo en la comunidad de San Mateo, seguido por Ejido La Cabecera y el más bajo en Santa Rosa de lima; 8.6, 6.9 y 4.6 t 0.5ha^{-1}, respectivamente (Fig. 1B). El estiércol también tuvo un efecto positivo en el rendimiento al utilizarse en la fertilización.

En Ejido La Cabecera, el rendimiento de grano de maíz al no utilizarse estiércol se abate por efecto del nitrógeno (4.4 t ha^{-1}), pero al utilizarse 5 t estiércol ha^{-1} el efecto del N y del K es positivo, alcanzado hasta un rendimiento de grano de 6.4 t 0.5ha^{-1}. En esta localidad, al utilizarse o no estiércol el K tiene un efecto positivo en el rendimiento de maíz (Cuadro 3).

En Santa Rosa de Lima, el rendimiento de grano de maíz al no utilizarse estiércol es menor que al utilizarse estiércol. Al incrementarse las unidades de N el rendimiento se abate, pero al usarse K el

rendimiento se incrementa, en ambos casos, con o sin estiércol. En el suelo andosol de esta comunidad, con deficiencias de P, al utilizarse estiércol y P se incrementa el rendimiento (Cuadro 1).

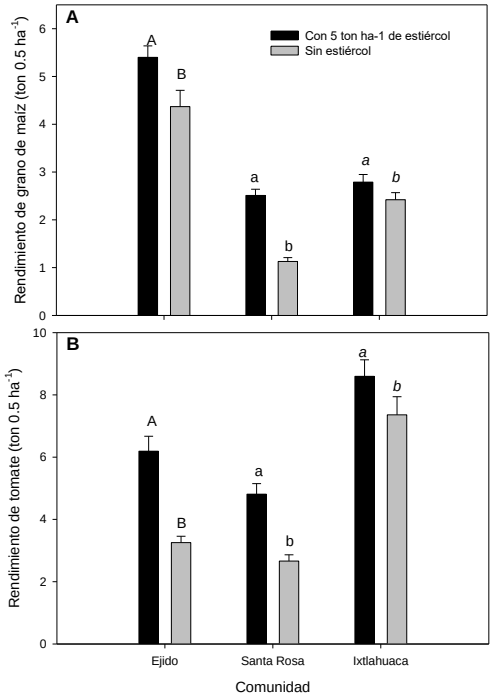


Figura 1. Efecto de la fertilización 120-80-40 kg de NPK ha^{-1} con y sin estiércol en el rendimiento de grano de maíz (A) y de fruto de tomate de cáscara en tres comunidades mazahua del Estado de México, en el ciclo agrícola 2015.

En San Mateo, el rendimiento de grano de maíz también se ve favorecido al utilizarse estiércol. Al no utilizarse estiércol el efecto del N en el rendimiento es positivo, el del K y de la interacción NP es negativo. Pero cuando se utiliza 5 t estiércol ha^{-1} el efecto en el rendimiento del N es negativo y del K positivo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Ecuaciones de regresión del rendimiento de grano de maíz y fruto de tomate de cáscara en tres comunidades mazahua del Estado de México.

Grano de maíz	
Variable	Ecuación de regresión
$\hat{Y}_{M\ Ejido\ sin\ est.}$ =	4.29984 - 0.48723**N** + 0.63908**K**
$\hat{Y}_{M\ Ejido\ con\ est.}$ =	5.27024 + 0.12087**N** + 1.00066**K**
$\hat{Y}_{M\ SantaRosa\ sin\ est.}$ =	1.02127 – 0.0283**N** + 0.13304**K**
$\hat{Y}_{M\ SantaRosa\ con\ est.}$ =	4.29984 – 0.92395 **N** + 0.11751**K** + 0.11762**P**
$\hat{Y}_{M\ SanMateo\ sin\ est}$ =	2.65607 + 0.12152**N** – 0.05361 **K** - 0.21531**NP**
$\hat{Y}_{M\ SanMateo\ con\ est.}$ =	3.64006 – 1.12593**N** + 0.34687**K**

	Tomate de cáscara
$\hat{Y}_{T\ Ejido\ sin\ est.}$ =	3.06587- 0.11463**N**- 0.25616**P**
$\hat{Y}_{T\ Ejido\ con\ est.}$ =	5.17983 + 0.55754**N** + 0.19070**P**
$\hat{Y}_{T\ SantaRosa\ sin\ est.}$ =	3.06587 + 0.65843**K** - 1.06177**NP**
$\hat{Y}_{T\ SantaRosa\ con\ est.}$ =	6.75167 - 0.54089**N** - 0.46211**P** - 0.93645**K**
$\hat{Y}_{T\ SanMateo\ sin\ est}$ =	6.96893 - 1.31466**K**
$\hat{Y}_{T\ SanMateo\ con\ est.}$ =	3.06587 - 0.86345**N** - 1.42356**P** - 2.28438**NP**

$\hat{Y}_M$ = rendimiento estimado de maíz. $\hat{Y}_T$ = rendimiento estimado de tomate. $P<0.05$.

En el Ejido, el rendimiento de fruto de tomate de cáscara fue mayor al utilizarse 5 t estiércol ha^{-1} que al no utilizarse. El efecto en el rendimiento del N y del P es negativo cuando no se usa estiércol, pero cuando se utiliza su efecto es positivo (Cuadro 3).

De igual manera, en Santa Rosa de Lima el rendimiento de fruto de tomate es mayor cuando se utiliza estiércol que cuando no se usa en su fertilización. Cuando no se usa estiércol, el efecto del K es positivo, pero la interacción NP abate los rendimientos. Al utilizarse 10 t estiércol ha^{-1}, el efecto del N, P y K en el rendimiento de fruto de tomate es negativo.

En San Mateo sucedió un efecto contrario a las otras dos comunidades, ya que al no utilizarse estiércol el rendimiento de fruto de tomate fue mayor que al utilizarse 10 t estiércol ha^{-1}. Además, cuando no se usa estiércol, el efecto del K es negativo. Y cuando se aplican 10 t estiércol ha^{-1} en la fertilización del tomate, el efecto en el rendimiento del N, P y su interacción entre ellos es negativa.

Conclusiones

Con la dosis central 120-80-40 kg de NPK ha^{-1} el mayor de rendimiento de maíz fue en Ejido la Cabecera y de tomate en San Mateo, 5.4 y 8.6 t $0.5ha^{-1}$, respectivamente. Al utilizarse 10 t estiércol ha^{-1} el rendimiento de maíz y tomate fue mayor en las tres comunidades. El estiércol favoreció el efecto de NPK en el rendimiento de maíz en los tres sitios y en tomate el N, P y la interacción NP abatió los rendimientos en Santa Rosa de Lima y San Mateo. El potasio junto con el estiércol tuvo un efecto positivo en el rendimiento de maíz en las tres comunidades. El fósforo y su interacción con estiércol incrementó el rendimiento de maíz en el suelo andosol de Santa Rosa de Lima. La productividad de la milpa varió en cada comunidad y la fertilización de NPK y estiércol la potencializa.

Referencias

Albino-Garduño, A., A. Turrent-Fernández, J. I. Cortés-Flores, M. Livera-Muñoz y M. C. Mendoza-Castillo. 2015. Distribución de raíces y de radiación solar en el dosel de maíz y frijol intercalados. Agrociencia 49: 513-531.

Barrios, A. A.; Turrent, F. A.; Martínez, G. A.; Cortés, F. J. I. y Ortiz- Solorio, C. A. 2003. Optimización tecnológica simultánea para tres híbridos de maíz con precisión definida a priori. Terra Latinoam. 21(1):127-135.

CDI. 2018. Numeralia Indígena 2015. Consultado el 14 de Agosto de 2018 en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/239941/02-numeralia-indicadores-socioeconomicos-2015.pdf

Cortés J., F., A. Turrent F., P. Díaz V., R. Hernández E., R. Mendoza R., y E. Aceves. 2005. Manual para el establecimiento y manejo del sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en laderas. SAGARPA-Colegio de Postgraduados. pp: 1-11.

Volke, H. V.; Turrent, F. A. y Castillo, M. 2005. Diseños de tratamientos y estimación de funciones de respuesta en la investigación agrícola. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Estado de México. 68 p.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO EN SISTEMAS DE CULTIVO: SORGO-SORGO Y SORGO-MAÍZ

Camacho-Sierra, A.N.[1]; González-Acuña, I.J.[2*]; De La Mora-Orozco, C.[3]; Balderas-Palacios, J.F.[2] Ortíz-Catón, A.[1]; Becerra-Zamorano, C.C.[2].

[1]Universidad Tecnológica de la Costa. Santiago Ixcuintla, Nayarit. México.
[2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Santiago Ixcuintla, Nayarit. México.
[3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Tepatitlán de Morelos, Jalisco. México.

*Autor responsable: gonzalez.irmajulieta@inifap.gob.mx; Carretera Internacional México - Nogales Kilómetro 6, Centro, C.P. 63300 Santiago Ixcuintla, Nay. Tel. +52(01800)-088-2222 Ext. 84403

Resumen

El sorgo y el maíz, son cultivos importantes en Nayarit, se siembran en monocultivo, aunque algunos productores en otoño invierno los rotan. El objetivo fue caracterizar propiedades físicas y químicas del suelo en sistemas de cultivo: sorgo-sorgo y sorgo-maíz, para difundir sus ventajas, incrementar la práctica de rotación y mejorar la calidad del suelo. El estudio se realizó en Novillero y Botadero, municipio de Santiago Ixcuintla, donde se siembra sorgo-sorgo y sorgo-maíz, respectivamente. El suelo se muestreó a profundidad de 00-30 cm, tres muestras compuestas por parcela, ocho submuestras por muestra. En laboratorio se analizó: textura, Bouyoucos; Dap, probeta graduada; PS, Richards; CC= 75 % PS; PMP= CC/2*(5 % PS); CE, conductivimetro; pH, potenciómetro 1:2 en agua; MO, Walkley y Black; N-NO_3, columna reductora de Cd; P, Bray 1; K, Ca, Mg y Na, con $C_2H_7NO_2$ en AA; Fe, Zn, Mn y Cu, con DTPA en AA; B, con azometina-H; S-SO4, con $Ca_3(PO_4)_2$; y CIC, con bases de saturación. Los datos se analizaron con estadísticas no paramétricas ($p \leq 0.05$). Las propiedades del suelo que mostraron ventajas en rotación fueron: textura, Dap, PS, CC y PMP, MO, CIC e incrementos en la fertilidad del suelo por N-NO_3, Ca, Mg, Mn, Cu y B. En suelo monocultivo se observaron aumentos de P, Fe y Zn como respuesta sinérgica o antagónica con otros nutrientes, tipo de arcillas predominantes, demanda del cultivo o manejo agronómico. La práctica de rotación de cultivos mejoró la calidad del suelo.

Palabras clave

Monocultivo, rotación, sorgo, maíz, calidad del suelo.

Introducción

El sorgo y el maíz, son cultivos importantes en el estado de Nayarit, se siembran en 53,386 y 35,470 ha respectivamente, bajo el sistema de monocultivo sorgo-sorgo, principalmente en otoño-invierno (99.66 %), y maíz-maíz mayoritariamente en temporal (82.51 %) (SAGADER-SIAP, 2017). La superficie establecida en rotación sorgo-maíz no se reporta, sin embargo, es un patrón que utilizan algunos productores durante otoño-invierno.

El monocultivo abate la fertilidad del suelo, reduce los contenidos de materia orgánica, induce su salinización (Gomero, 2001; Díaz *et al*., 2004), disminuye su capacidad de retención de humedad, erosiona el suelo y en general altera desfavorablemente sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Morales y Martínez, 2000; Karlen *et al*., 2006; Silva *et al*., 2014; Sauer y Andreo, 2017). Por otro lado, perturba la estabilidad del agroecosistema, ya que favorece la incidencia de plagas, enfermedades y vegetación indeseable (Miranda, 2001; Guzmán y Alonso, 2008). En consecuencia, las cosechas no son rentables.

En contraste, los productores de la entidad, necesitan maximizar rendimientos, agregan productos químicos por recomendaciones de otros productores, de casas comerciales donde compran sus insumos o por tradición de lo que siempre hacen. Similar situación ocurre con lo que siembran, el mismo cultivo año con año es parte de sus usos y costumbres (Camacho, 2018), de manera que no protegen al suelo como medio fundamental de producción, y el suelo se deteriora. No obstante, la autora *Op*. *Cit*. señala que, si el productor estuviera informado de las ventajas o desventajas de sus acciones, aprendería a tomar las mejores decisiones en su beneficio y en beneficio del suelo.

La rotación de cultivos tiene diversas ventajas respecto a los monocultivos: es una alternativa para aumentar los contenidos de materia orgánica, recuperar la fertilidad del suelo y sus propiedades físico químicas (Díaz *et al*., 2004), se obtiene mayor eficiencia en el uso de los recursos, captan y conservan mejor la humedad en el suelo y a la vez mejora su drenaje, aireación y estructura. Se genera mayor equilibrio de los insectos plaga y menor riesgo de enfermedades (Silva *et al*., 2014). La mayor cobertura vegetal en tiempo, de las rotaciones, disminuye la evaporación del suelo, su erosión, así como la presencia de maleza en el cultivo (Sauer y Andreo, 2017). Por lo que se incrementa la sostenibilidad del suelo (Morales y Martínez, 2000) y maximiza la productividad por unidad de superficie (Silva *et al*., 2014), la obtención de cosechas estables sostenidas y rentables (Díaz *et al*., 2004). Así, la rotación es una práctica de manejo que cumple con las expectativas de los productores.

Por lo anterior, el objetivo fue caracterizar las propiedades físicas y químicas del suelo en los sistemas de cultivo: sorgo-sorgo y sorgo-maíz. La comparación de las características del suelo sembrado en ambos, constituye una estrategia para que se dialogue con los productores, conozcan y valoren las ventajas y desventajas de uno y otro, incrementen la práctica de la rotación y mejoren la calidad del suelo.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en los Ejidos Novillero y Botadero, municipio de Santiago Ixcuintla, Nayarit, donde se siembra sorgo en monocultivo y sorgo en rotación con maíz, respectivamente. El suelo se muestreó en zigzag, a profundidad de 00-30 cm, tres muestras compuestas por parcela, ocho submuestras por muestra. El suelo se secó a la sombra, a temperatura ambiente, se trituró y pasó por tamiz malla 10 (2 mm), de acero inoxidable.

Se analizó en el laboratorio de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal del INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Las propiedades físicas y sus métodos, fueron: textura por Bouyoucos, densidad aparente (Dap) (g cc^{-1}) por método de probeta graduada; punto de saturación (PS) (%), probeta, Richards; capacidad de campo (CC), estimada en 75 % de PS; punto de marchitez permanente (PMP), estimada en CC / 2*(5 % PS), y conductividad eléctrica (CE) en dS m^{-1} mediante conductivimetro. Las propiedades químicas y métodos, fueron: pH, peachimetro; materia orgánica (%), Walkley y Black; N-NO_3 (mg kg^{-1}), columna reductora de Cd y colorímetro; P (mg kg^{-1}), Bray 1; K, Ca, Mg y Na (mg kg^{-1}), $C_2H_7NO_2$ por absorción atómica (AA); Fe, Zn, Mn y Cu (mg kg^{-1}),

extracción con DTPA por AA; B (mg kg^{-1}), con azometina-H; $S\text{-}SO_4$ (mg kg^{-1}), extracción con $Ca_3(PO_4)_2$ por turbidimetría; y CIC, estimada a partir de las bases de saturación.
Los datos se analizaron con $p \leq 0.05$, mediante la prueba no paramétrica de Kruskal y Wallis (1952), en el paquete Statistica V 7.0.

Resultados y Discusión

Las características de las propiedades físicas del suelo (textura, densidad aparente, constantes de humedad y CE), por sistema de producción según el monocultivo sorgo y sorgo en rotación con maíz, se presentan en el Cuadro 1. El suelo dónde se estableció sorgo-sorgo, presentó textura migajón arcilloso, con 37.32 % de arena, 31.50 % de arcilla y 31.19 % de limo. Mientras que en sorgo-maíz, fue arcilloso con 10.15 % de arena, 50.69 % de arcilla y 39.16 %, de limo. Esta propiedad no cambia a corto o mediano plazo por efecto del sistema de producción, sin embargo, como lo indican Castellanos *et al*. (2000), permite al productor tomar decisiones sobre el laboreo del suelo, lo cual coincide con la experiencia de los productores, pues indican que *las tierras arcillosas deben prepararse en su oportunidad, para evitar que se cuajen, corten o agrieten* [Sic.].
Por Dap, sorgo-sorgo fue 3.7 % menor respecto a sorgo-maíz (1.39 g cm^{-3}) ($p \leq 0.003$), lo cual se atribuye al mayor contenido de arcillas en el suelo de la rotación.
En las constantes de humedad (PS, CC y PMP), el suelo en rotación presentó mayor capacidad de retención de agua que en monocutivo ($p \leq 0.01$), lo cual se asocia a que en sorgo-maíz, el suelo registró mayor contenido de materia orgánica, y también por las arcillas.

Cuadro 1. Propiedades físicas del suelo en los sistemas de cultivo sorgo-sorgo y sorgo en rotación con maíz, en los ejidos de Novillero y Botadero, municipio de Santiago Ixcuintla, Nayarit, respectivamente.

Sistema de cultivo	Textura	Dap (g cm^{-3})	Punto de Saturación (%)	Capacidad de campo (%)	PMP (%)
Sorgo-sorgo	Migajón arcilloso (Mr)	1.29 b	38.75 b	29.07 b	15.26 b
Sorgo-maíz	Arcilloso (R)	1.34 a	48.75 a	36.57 a	19.20 a

Literales iguales, indican similitud estadística ($p \leq 0.05$).

Las características de las propiedades químicas (pH, MO, CE y CIC), en el suelo con monocultivo sorgo y sorgo en rotación con maíz, se presentan en el Cuadro 2. Por pH, ambos suelos son neutros ($p = 0.78$); más que el uso y manejo del suelo, es su naturaleza la que condiciona su magnitud. En sorgo-sorgo, la CE fue 0.25 dS m^{-1}, y 0.40 dS m^{-1} en sorgo-maíz; ambas diferentes ($p = 0.02$). No obstante, uno y otro suelo se encuentran por debajo de los límites críticos para que disminuyan los rendimientos. De acuerdo con Castellanos *et al*. (2000) y Ruíz *et al*. (2013), sorgo tolera valores ≤ 5.0 dS m^{-1}, y maíz < 2.0 dS m^{-1}. En materia orgánica, el terreno en rotación con 1.73 % de MO, superó en 144 % al suelo en monocultivo ($p = 0.001$), lo cual valida lo encontrado en otros estudios (Karlen *et al*., 2006; Silva *et al*., 2014). Por CIC, el suelo en rotación registró 31.43 (moderadamente alta), la cual fue 65 % mejor que el suelo en monocultivo. Esta respuesta se atribuye a los mayores contenidos de MO y al tipo de arcillas en el suelo con sorgo-maíz, lo cual ratifica que son variables que regulan la CIC (Castellanos *et al*., 2000).

Cuadro 2. Propiedades químicas del suelo en los sistemas de cultivo sorgo-sorgo y sorgo en rotación con maíz, en los ejidos de Novillero y Botadero, municipio de Santiago Ixcuintla, Nayarit, respectivamente.

Sistema de cultivo	pH	CE (dS m^{-1})	MO (%)	C.I.C. (%)
Sorgo-sorgo	7.34 a	0.25 b	0.71 b	19.04 b
Sorgo-maíz	7.35 a	0.40 a	1.73 a	31.43 a

Literales iguales, indican similitud estadística ($p \leq 0.05$).

Las concentraciones de macronutrientes en el suelo, por sistema de cultivo, se presentan en el Cuadro 3. Con excepción de K, que fue similar en sorgo-sorgo y sorgo-maíz ($p = 0.59$), en el resto de macronutrientes hubo respuesta diferencial ($p \leq 0.05$): N-NO_3, Ca y Mg, a favor del suelo en rotación, superando al suelo en monocultivo en 23, 87 y 41 %, respectivamente, lo cual corrobora que la rotación mejora la fertilidad del suelo (Morales y Martínez, 2000; Silva *et al*., 2014). La respuesta de K se atribuye a los mayores contenidos de arena en el suelo con monocultivo, ya que Tisdale *et al*. (1993) citado por Castellanos *et al*. (2000), indica que en presencia de estas partículas y a un mismo nivel de K intercambiable, se suministra momentáneamente más K a la solución del suelo. En P, el suelo con monocultivo resultó con más concentración, posiblemente por efecto residual de aplicaciones de fertilizante fosforado que realiza el productor en la parcela sorgo-sorgo.

Cuadro 3. Macronutrientes del suelo en los sistemas de cultivo sorgo-sorgo y sorgo en rotación con maíz, en los ejidos de Novillero y Botadero, municipio de Santiago Ixcuintla, Nayarit, respectivamente.

Sistema de cultivo	N-NO_3 (mg kg^{-1})	P-Bray (mg kg^{-1})	K (mg kg^{-1})	Ca (mg kg^{-1})	Mg (mg kg^{-1})
Sorgo-sorgo	5.70 b	74.60 a	804.00 a	2723.50 b	483.50 b
Sorgo-maíz	7.01 a	13.55 b	782.00 a	5093.00 a	684.00 a

Literales iguales, indican similitud estadística ($p \leq 0.05$).

Las concentraciones de micronutrientes en el suelo, por sistema de cultivo, se presentan en el Cuadro 4. Con excepción de Na que varió de 77 a 84 mg kg^{-1} ($p = 0.44$) y S de 5.5 a 5.7 mg kg^{-1} ($p=0.59$), similares en ambos sistemas, el resto presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Las concentraciones bajas de Na y S se atribuyen a que no son demandados por sorgo y maíz, por tanto, no los aportan en los residuos. Por su parte, Fe y Zn fueron superiores en monocultivo que en rotación. La explicación puede ser que sorgo demanda más Fe que maíz, por tanto año tras año lo aporta más al suelo en los residuos. Concentraciones bajas de Zn en rotación responden a que su disponibilidad es afectada por altos contenidos de Mg (Tisdale *et al*., 1993 citado por Castellanos *et al*., 2000), ya que suelo sorgo-maíz presentó esta condición, con 42 % más de Mg que en monocultivo.

Por otro lado, Mn, Cu y B registraron mayor aporte en rotación ($p \leq 0.001$), 78, 78 y 55 % respectivamente. Sorgo y maíz los demandan (Castellanos *et al*., 2000), de manera que la mayor biomasa de maíz incorpora más al suelo. También, la sinergia de Mn con N (Tisdale *et al*., 1993 citado por Castellanos *et al*., 2000) favoreció, pues el suelo en rotación registró más N. En Cu, los autores Op. Cit. indican que más MO, como ocurrió en rotación, favorece su adsorción. Mientras que en B, su efecto antagónico a mayor contenido de arena (Castellanos *et al*., 2000), pudo ser la causa de su menor concentración en el suelo monocultivo.

Cuadro 4. Micronutrientes del suelo en los sistemas de cultivo sorgo-sorgo y sorgo en rotación con maíz, en los ejidos de Novillero y Botadero, municipio de Santiago Ixcuintla, Nayarit, respectivamente.

Sistema de cultivo	Na (mg kg^{-1})	Fe (mg kg^{-1})	Zn (mg kg^{-1})	Mn (mg kg^{-1})	Cu (mg kg^{-1})	B (mg kg^{-1})	S-SO_4 (mg kg^{-1})
Sorgo-sorgo	77 a	29.95 a	0.930 a	16.20 b	0.58 b	0.650 b	5.680 a
Sorgo-maíz	84 a	13.5 b	0.665 b	28.80 a	1.03 a	1.005 a	5.495 a

Literales iguales, indican similitud estadística ($p \leq 0.05$).

Conclusiones

Las propiedades del suelo que mostraron ventajas en rotación fueron, físicas: textura, Dap PS, CC y PMP. Las químicas: MO, CIC e incrementos en la fertilidad del suelo (N, Ca, Mg, Mn, Cu y B). pH, CE, Na y S-SO_4, se identificaron en niveles óptimos para sorgo y maíz, en monocultivo o rotación, por razones principalmente de naturaleza del suelo. Mientras que aumentos de P, Fe y Zn en suelo monocultivo, respondieron a efectos sinérgico o antagónico con otros elementos, tipo de arcillas o partículas predominantes, demanda del cultivo y/o manejo agronómico.
Mediante diálogo con los productores, el estudio permitirá que tomen las mejores decisiones en el uso y manejo del suelo y regulen sus funciones en lugar de alterarlo.

Referencias

Camacho, S. A. N. 2018. Caracterización fisicoquímica del suelo en dos sistemas de cultivo: sorgo-sorgo y sorgo-maíz. UTC. Div. Ingenierías Ciencias Agropecuarias. Agrobiotecnología. Tesina. Santiago Ixc., Nay. 79 p.

Castellanos J. Z., J. X. Uvalle, B., A. Aguilar S. 2000. Manual interpretación análisis suelos y aguas. 2 Ed. Intagri. 201 p.

Díaz, G. S.; T., Hernández; R. Cabello. 2004. Reseña bibliográfica de "La rotación de cultivos, un camino a la sostenibilidad de la producción arrocera". Cultivos Tropicales, 25(3):19-44.

Gomero, L. 2001. Hacia la sostenibilidad de los monocultivos. Boletín de ILEIA, pp. 4-5.

Guzmán C., G. I.: A.M., Alonso M. 2008. Asociaciones y Rotaciones. España: Buenas Prácticas en Producción Ecológica. pp. 1-28.

Karlen, D. L.; E. G. Hurley; S. S. Andrews; C. A. Cambardella, D. W. Meek; M. D. Duffy; A. P. Mallarino. 2006. Crop rotation effects on soil quality at three northern corn/soybean belt locations. Agron. J. 98:484-495.

Miranda H. 2001. Efecto de la rotación en arroz. Arroz, 21(4):1-23.

Ruíz C., A., G. Medina G., I. J. González A., H. E. Flores L., G. Ramírez O., C. Ortiz T., K. F. Byerly M. y R.A. Martínez P. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. 2 Ed. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP-CIRPAC-CE Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. pp. 441-445.

SAGADER-SIAP. 2017. Avance de Siembras y Cosechas. Estadísticas de sorgo y maíz. Recuperado de: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenDelegacion.do Consulta: Agosto del 2018.

Sauer, M.V.; A.I. Andreo, 2017. Rotaciones de cultivos bajo siembra directa para el sudoeste chaqueño. En: Fernando O. Garcia y Adrian A. Correndo (Ed.) Simposio Fertilidad 2017. IPNI-Fertilizar. pp.11-18.

Silva C., P., Vergara S., W., y Acevedo I., E. 2014. Rotación de cultivos. Facultad de Ciencias Agronómicas Universidad de Chile, pp. 48-67.

William H. Kruskal and W. A. Wallis. 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. Journal of the American Statistical Association 47(260):583-621.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

MODELO DE PREDICCION DE RENDIMIENTO DE SORGO MEDIANTE LA TECNOLOGÍA DE DRONES

Silva Serna M. M.[1*]; Rodríguez del Bosque L. A. [1]

[1] INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRICOLAS Y PECUARIAS, RIO BRAVO TAM. MEXICO.

[*]Autor responsable: silva.mario@inifap.gob.mx; Carretera Matamoros Reynosa Km 61 S/N, Col. Centro, Rio Bravo, Tamaulipas, México. CP 88900; Tel. +553 871 87 00 ext. 83223

Resumen

La planeación de la operativa de la cosecha de sorgo y maíz en el norte de Tamaulipas requiere del conocimiento previo del volumen total a cosechar con el fin de prever los apoyos necesarios tales como adquisición de coberturas, tramitación de bases por posición geográfica, cumplimiento con consumidores, establecimiento de cupos de importación y preparación de patios de acopio si la capacidad con techumbre fuera insuficiente. La percepción remota es una herramienta que cada vez está más al alcance de usuarios comunes. Originada, en el desarrollo de técnicas militares, el uso de dispositivos aéreos no tripulados tiene un gran potencial de uso en actividades de campo. Con este trabajo, se desarrolló una plataforma de información y capacitación sobre los usos de drones como auxiliares en la toma de decisiones. Con la información obtenida durante tres años se desarrolló un modelo de pronóstico de rendimiento de sorgo a partir de imágenes aéreas tomadas con dron e información del cultivo verificadas in situ. El modelo resultante de este análisis tuvo una $R^2 = 0.96$ y es el siguiente: REND = -5526 + (103*%COB) + (85*ALT PL) + (29*LONG PAN), Donde REND: Rendimiento de sorgo en Kg/ha; COB: Cobertura de grano en imagen tomada, en %; ALT PLAN: Altura de planta hasta hoja bandera, en cm; LONG PLAN: Longitud de panoja, en cm; % COB: Cobertura de grano en imagen tomada, en %.

Palabras clave: Percepción remota, Predicción de rendimiento, Sorgo

Introducción

La agricultura que se desarrolla en el norte de Tamaulipas, principalmente con los cultivos de sorgo y maíz, es de carácter extensivo en casi un millón de hectáreas, donde la productividad se ve afectada por las características de suelo y clima de la región (Silva y Rodríguez 2006). La rentabilidad de la región se basa principalmente en la superficie cosechada de manera mecanizada más que en su productividad unitaria. Los márgenes de ganancia por hectárea son limitados y es necesario estar atentos a las condiciones en que se desarrollan los cultivos, tarea difícil por la superficie establecida, entre otras situaciones. Por este motivo, el seguimiento a las condiciones que prevalecen año con año debe de realizarse con herramientas modernas, tales como la percepción remota. La percepción remota es una herramienta que cada vez está más al alcance de usuarios comunes (Silva et al. 2004). Originada en el desarrollo de técnicas militares, el uso de dispositivos aéreos no tripulados tiene un gran potencial de uso en actividades de campo (Soria *et al*. 1998).

El objetivo general del presente trabajo fue desarrollar una plataforma de información y capacitación sobre los usos de drones como apoyo en las decisions tomadas en la agricultura. El sorgo en la región norte de Tamaulipas tiene una cobertura geográfica de más de 600 mil has y el seguimiento a su desarrollo se dificulta por su carácter extensivo. El objetivo específico fue desarrollar un modelo de predicción de cosecha utilizando imágenes aéreas combinado con información de algunos parámetros del cultivo *in situ*.

Materiales y Métodos

El estudio se desarrolló en 20 parcelas comerciales de sorgo (riego y temporal) en el municipio de Matamoros, Tam., durante el ciclo OI 2016-2017. Durante la etapa de madurez fisiológica, en cada parcela se delimitó una hectárea para tomar imágenes con un dron marca Phantom modelo III, equipado con cámara con capacidad de toma de imágenes de dimensión 4000x3000 pixeles y video en la banda visible del espectro de luz, a una altura de 40 m. En cada imagen de cada parcela se estimó la cobertura (%) de grano de acuerdo a los pixeles en color rojo-marrón, equivalente a las tonalidades del grano de sorgo maduro.

Simultáneamente, se tomaron datos de campo de las siguientes variables en 10 plantas por parcela: altura de planta desde el suelo hasta la base de la panoja (cm), longitud de panoja (cm) y el rendimiento real de los predios (ton ha^{-1}), informado por los agricultores, una vez cosechadas las parcelas.

Se realizó un análisis de regresión múltiple con el procedimiento PROC REG (stepwise procedure, SAS Institute 2012) para determinar la asociación de las variables independientes (*xn*) es decir las imágenes del dron y las variables de la planta de sorgo con el rendimiento real de grano, es decir la variable dependiente (*y*). El procedimiento "stepwise" agrega cada variable independiente a la vez y determinó el mejor modelo de regresión múltiple cuando ninguna otra variable independiente alcanzó el 0.15 nivel de significancia.

Resultados y Discusión

En el Cuadro 1 se presenta el rendimiento real (variable dependiente *y*) y datos de campo y % de cobertura (dron) (variables independientes, *xn*) en 20 parcelas comerciales del norte de Tamaulipas. En función del manejo agronómico de cada parcela, se observa una variabilidad marcada en cada una de las características evaluadas. Por ejemplo, la cobertura de grano de sorgo en la imagen del dron varía desde 16 hasta 32% (Fig. 1); la altura de la planta entre 55 y 65 cm; la longitud de panoja entre 24.5 y 28.4 cm y el rendimiento entre 1.9 y 4.2 ton ha^{-1}.

El análisis de regresión múltiple para medir la asociación del rendimiento real (*y*) y las variables independientes (*xn*) ofreció el mejor ajuste de modelo (R^2= 0.96) el siguiente: REND = -5526 + (103*%COB) + (85*ALT PL) + (29*LONG PAN), Donde REND: Rendimiento de sorgo en ton ha^{-1}; COB: Cobertura de grano en imagen tomada, en %; ALT PLAN: Altura de planta hasta hoja bandera, en cm; LONG PLAN: Longitud de panoja, en cm. El modelo indica que el rendimiento de grano de sorgo es mayor con una mayor cobertura de grano, mayor altura de planta y mayor tamaño de panoja e indica que la precisión del pronóstico del rendimiento es del 96%.

Cuadro 1. Rendimiento real (variable dependiente *y*) y datos de campo y % de cobertura (dron) (variables independientes, *xn*) en 20 parcelas comerciales del norte de Tamaulipas. Ciclo OI 2016-2017.

SITIO	% COBERTURA (DRON)	ALT. PLANTA (cm)	LONG. PANOJA (cm)	RENDIMIENTO (ton ha^{-1})
1	26	61	26.5	3.1
2	19	57	28.1	2.3
3	22	56	27.6	2.4
4	23	58	27.4	2.6
5	26	63	25.9	3.2
6	29	63	25.2	3.6
7	24	59	27	2.7
8	28	64	25.3	3.5
9	32	65	27.9	4.2
10	26	62	26	3.1
11	19	55	28.4	2.1
12	16	57	28.3	1.9
13	29	64	25.4	3.8
14	32	65	24.5	4.2
15	27	63	25.2	3.3
16	23	57	27.1	2.5
17	26	62	25.9	3.4
18	21	57	27.5	2.3
19	24	60	26.5	2.9
20	29	64	25.0	4.0

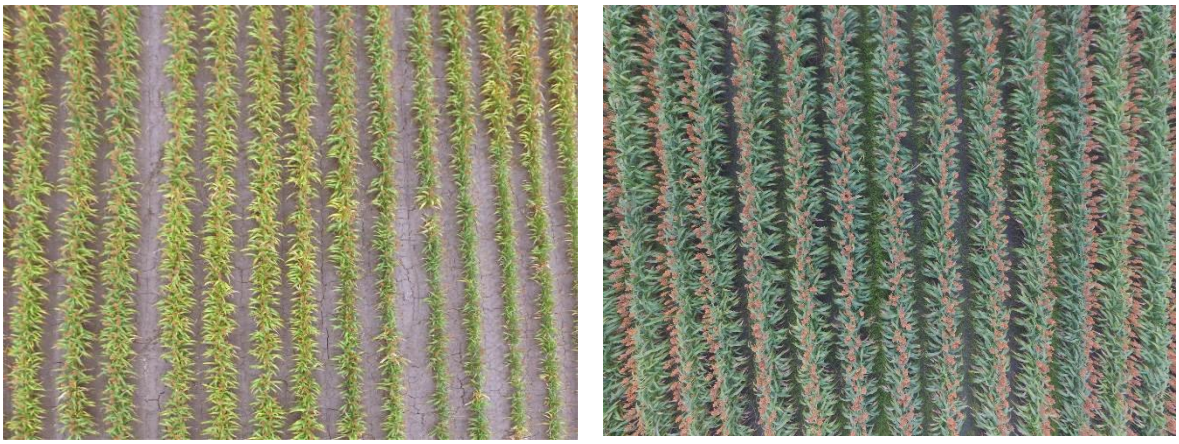


Figura 1. Imágenes con el dron para determinar cobertura (%) en dos lotes contrastantes: el lote 12 (izquierda) con una cobertura del 16% y el lote 14 con una cobertura del 32%. Norte de Tamaulipas. Ciclo OI 2016-2017.

Los resultados obtenidos en este trabajo concuerdan con Shut *et al.* 2018, quienes realizaron estimaciones de rendimiento con drones en los cultivos de algodón, maíz, sorgo, mijo y cacahuate en Mali con una precisión hasta del 85%.

Conclusiones

El uso del dron en conjunto con datos de plantas de sorgo (altura de planta y tamaño de panoja) ofrecen información adecuada para predecir de forma precisa (96%) el rendimiento de grano de sorgo, lo cual ofrece una herramienta rápida para la toma de decisiones en áreas extensivas de cultivo como el norte de Tamaulipas.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración del Patronato para la Investigación, Fomento y Sanidad Vegetal con sede en Matamoros Tam., el financiamiento de parte de las actividades de este proyecto de investigación.

Referencias

Baez-Gonzalez A. D., Tiscareño-Lopez M., Rodriguez-Moreno V., Macias J., Mendoza J. L. and Manjarrez J. 2006. Combining Modeling and Remote Sensing for Crop Yield Prediction in Mexico. In Richardson C.W., Baez-Gonzalez A. D. and Tiscareño-Lopez M. 2006. Modeling and Remote Sensing Applied to Agriculture. USDA-ARS INIFAP. Temple TX and Aguascalientes Mex. 250p.

SAS Institute. 2012. SAS release 9.3 ed. SAS Institute, Inc., Cary, NC.

Silva Serna, M. M., Tiscareño L. M. y Baez G. A. 2004. Predicción de volumen de cosecha de sorgo: una aproximación metodólogica. Memorias del XXXII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, León Gto.

Silva Serna M. M. y L. A. Rodríguez del Bosque. 2006. Agroclimatología, pp 241-256. En: L. A. Rodríguez del Bosque (ed.), Campo Experimental Rio Bravo: 50 Años de Investigación Agropecuaria en el Norte de Tamaulipas, Historia, Logros y Retos. Libro Técnico no 1. INIFAP. Campo Experimental Rio Bravo, Tam., México. 325 p.

Soria R. J., Ortiz S. C. A., Islas G. F. y Volke H. V. 1998. Sensores remotos principios y aplicaciones en la evaluación de los recursos naturales experiencias en México. Primera edición. Publicación especial No. 7. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo mex. 93p.

Schut, A.G.T., P. C. Sibiry Traore, X. Blaes, and R. A. de By 2018. Assessing yield and fertilizer response in heterogeneous smallholder fields with UAVs and satellites. Fields Crops Research 221: 98-107

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

PRODUCTIVIDAD DE LA MILPA: MAÍZ, BAYOCOTE, HABA, CALABAZA Y CHÍCHARO FERTILIZADA CON NPK Y ESTIÉRCOL, EN GANZDA, ACAMBAY, ESTADO DE MÉXICO

Juan-García E.[1*]; Santiago-Mejía2, H.[1]; Albino-Garduño3, R.[1]

[1]Universidad Intercultural del Estado de México

*Autor responsable: eduarjg10@gmail.com; Calle s/n Núm. s/n, Col. Barrio el potrero, Acambay, México. México. CP 50513; Tel. +52(712)-182-3964

Resumen
La agricultura campesina en México es importante para lograr una seguridad alimentaria, ésta se practica mayormente en laderas. Pero está en una crisis reflejada en bajos rendimientos. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la respuesta de la fertilización con NPK y estiércol en el rendimiento de las especies de la milpa: maíz, bayocote, haba, calabaza, y chícharo. Para ello se estableció una parcela experimental en Ganzda, Acambay, Estado de México en el ciclo agrícola 2017. Se manejó un diseño experimental central compuesto con bloques al azar de parcelas divididas con dos parcelas grandes (0 y 20 t de estiércol ha-1) y diez tratamientos de parcela chica, con tres repeticiones. Los tratamientos de parcela chica se generaron a partir de un factorial 22 (+1, -1) más dos puntos axiales (-2, +2) de los factores N y P. El noveno tratamiento corresponde a la dosis central. El décimo tratamiento se utilizó para corroborar el efecto del K2O (0, -2). Se agregó un tratamiento adicional sólo con estiércol. La fertilización con estiércol 20 t ha-1, obtuvo el mejor rendimiento de grano y rastrojo de maíz y de haba. La fertilización mixta, NPK más estiércol, incrementó los rendimientos de las especies componentes de la milpa. Las dosis 250 y 300 kg de nitrógeno con o sin estiércol disminuyo los rendimientos de grano y rastrojo de maíz, bayocote y haba. La fertilización con potasio disminuyó el rendimiento de grano y rastrojo de maíz y bayocote; sin embargo, incrementó el rendimiento de haba, calabaza y chícharo.

Palabras clave
Fertilización mixta; imbricado; intercalado; policultivo; MIAF.

Introducción
La intención básica del desarrollo sustentable es crear un proceso que permita el desarrollo social, pero de una manera en la que, para las generaciones venideras, deben seguir permaneciendo los recursos naturales y los ecosistemas donde garanticen un bienestar y una calidad de vida adecuados (Oguchi y Emmanuel, 2016).

Entre las necesidades fundamentales de la humanidad está la alimentación, para satisfacerla, la agricultura campesina o familiar tiene una gran importancia en nuestro país; gracias a que los pequeños productores son quienes sustentan la canasta de alimentos de autoconsumo (Barros, 2017).

La FAO y otros organismos internacionales han constatado que la agricultura familiar campesina en el mundo es la que produce más del 50% de los alimentos que se consumen en el mundo con solo el 23 % de superficie y el 40 % de agua de riego destinado a la agricultura (Altieri y Nicholls, 2012). En México, la mayoría de la agricultura campesina se ubica en condiciones de ladera y de temporal; y se encuentra en una crisis económica y

ambiental (Pérez y Juan, 2016). Existen tecnologías para tratar de revertir los problemas que enfrenta la agricultura campesina. Entre ellas se encuentra la tecnología Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF). Este sistema agroforestal está compuesto por tres estratos: sotocultivo (el frijol, otra leguminosa o especies de porte bajo); mesocultivo (maíz); epicultivo (árboles frutales con demanda en el mercado y adaptados a la ecología de la región) (Turrent *et al*., 2017). Es necesario realizar investigación en las condiciones reales del campesino, con especies locales, agricultura de temporal, condiciones edafoclimáticas adversas. De esta manera se desarrollará tecnología adecuada que disminuya la problemática de erosión de los suelos, baja productividad y rentabilidad, y por consecuencia tener la seguridad alimentaria. Por lo anterior, el presente trabajo tiene el objetivo de evaluar la producción de la milpa: maíz, bayocote, haba, calabaza, y chícharo fertilizada con NPK y estiércol, en el ciclo agrícola 2017, en un suelo Luvisol crómico de Ganzda, Acambay, comunidad otomí del noroeste del Estado de México.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El presente trabajo se realizó en un suelo Luvisol crómico bajo condiciones de temporal en la comunidad de Ganzda, Municipio de Acambay, Estado de México (Fig. 1).

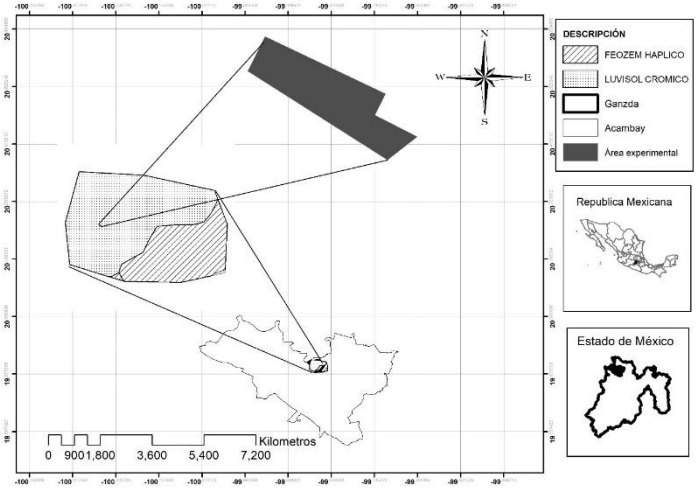


Figura 1. Ubicación de la parcela experimental y tipo de suelo en la comunidad de Ganzda, Acambay Estado de México**.**

La comunidad está ubicada en las coordenadas: longitud: -99.848889 y latitud: 19.988889, a una altura de 2800 metros sobre el nivel del mar, el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano y una precipitación anual de 660mm (INEGI, 2018).

Diseño experimental

Se manejó un diseño experimental central compuesto con bloques al azar de parcelas divididas con dos niveles de parcela grande y diez tratamientos de parcela chica, con tres repeticiones. Los niveles de parcela grande consistieron en, con estiércol 20 t ha-1 y sin estiércol 0 t ha-1. Los tratamientos de parcela chica se generaron a partir de un factorial 22 (+1, -1) que dio cuatro tratamientos, más dos puntos axiales (-2, +2) de los factores N y P que dieron cuatro tratamientos adicionales. El tratamiento 9 corresponde a la dosis central de los cinco niveles explorados (cuadro1). El décimo tratamiento se

utilizó para corroborar el efecto del K2O (0, -2). El tratamiento adicional 12 consistió en la aplicación de solo estiércol para cotejar la fertilización orgánica (cuadro 1).

Cuadro 1**.** Tratamientos del diseño experimental parcelas divididas, y tratamientos adicionales con los factores N, P, K y estiércol aplicados a maíz-haba, maíz-bayocote, calabaza y chícharo; en Ganzda, Acambay, ciclo agrícola 2017.

					maíz-haba, maíz-bayocote			calabaza			chícharo		
				Estiércol	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Trat.	X_1	X_2	X_3	t ha^{-1}		kg ha^{-1}			kg ha^{-1}			kg ha^{-1}	
1	-1	-1	0	20	150	80	40	150	80	40	55	70	40
2	1	-1	0	20	200	80	40	200	80	40	75	70	40
3	-1	1	0	20	150	140	40	150	140	40	55	110	40
4	1	1	0	20	200	140	40	200	140	40	75	110	40
5	-2	0	0	20	125	110	40	125	110	40	45	90	40
6	2	0	0	20	225	110	40	225	110	40	85	90	40
7	0	-2	0	20	175	50	40	175	50	40	65	50	40
8	0	2	0	20	175	170	40	175	170	40	65	130	40
9	0	0	0	20	175	110	40	175	110	40	65	90	40
10	0	0	-2	20	175	110	0	175	110	0	65	90	0
11	0	0	0	20	175	110	40	175	110	40	65	90	40
12	-	-	-	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	-1	-1	0	0	150	80	40	150	80	40	55	70	40
14	1	-1	0	0	200	80	40	200	80	40	75	70	40
15	-1	1	0	0	150	140	40	150	140	40	55	110	40
16	1	1	0	0	200	140	40	200	140	40	75	110	40
17	-2	0	0	0	125	110	40	125	110	40	45	90	40
18	2	0	0	0	225	110	40	225	110	40	85	90	40
19	0	-2	0	0	175	50	40	175	50	40	65	50	40
20	0	2	0	0	175	170	40	175	170	40	65	130	40
21	0	0	0	0	175	110	40	175	110	40	65	90	40
22	0	0	-2	0	175	110	0	175	110	0	65	90	0
23	0	0	0	0	175	110	40	175	110	40	65	90	40

Simbología: X1= N, X2= P, X3= K y Estiércol, niveles de fertilización; -2= 1, -1=2, 0= central, 1= 3, 2= 4.

Arreglo topológico

La milpa se estableció en un arreglo de dos surcos de mesocultivo: un surco de maíz imbricado con haba y un surco de maíz imbricado con bayocote; intercalados con dos surcos de sotocultivo: un surco de calabaza y uno de chícharo.

Fertilización y escarda

Los dos tipos de fertilización utilizados en el experimento fueron NPK más estiércol y solo estiércol. Las dosis de fertilización para cada especie se aplicaron de acuerdo con la lista de tratamientos (Cuadro 1). Las dosis de fertilización para maíz, haba, bayocote, chícharo y calabaza se fraccionaron en dos partes; en la siembra y en la primera escarda. En la siembra se colocó 1/3-1-1-1 de NPK y estiércol, respectivamente; las 2/3 partes de N restante se aplicaron en la primera escarda (9 de junio). La calabaza se fertilizó en la primera y segunda escarda; en la primera se le aplicó 1/3-1-1-1 de N-P-K-estiércol, respectivamente; y las 2/3 partes faltantes del N, en la segunda. Las fuentes de fertilización fueron, N: urea; P: súper fosfato triple; K: cloruro de potasio; y estiércol de bovino

precomposteado.

Cosecha

El tamaño de la parcela experimental fue de 5 m lineales con 0.80 m de ancho. Para realizar la cosecha se eliminó el efecto orilla 30 cm de cada extremo evitando el efecto de los tratamientos vecinos. Al final quedo una parcela útil de 4.4 m. La cosecha de fruto de calabaza se realizó en dos cortes, el 18 de agosto y el 2 de septiembre; para ello se seleccionaron tres plantas en competencia perfecta dentro del área útil de la parcela experimental. La cosecha del grano de chícharo se realizó el 10 de septiembre; de igual manera se eligieron tres plantas en competencia perfecta. La cosecha del grano de haba se realizó el 22 de octubre; se seleccionaron tres plantas en competencia perfecta. La cosecha del maíz y bayocote se realizó el 24 de noviembre, se evaluaron todas las plantas del maíz y bayocote de la parcela útil.

Análisis estadístico

El análisis de varianza (ANOVA) se realizó de acuerdo con el diseño experimental de parcelas divididas con el paquete estadístico SAS® (Statistical Análisis System) Versión 9.1 (SAS Institute, 2004). La comparación de medias fue realizada con la prueba de Tukey Krammer ($P \leq 0.05$). Se graficó el efecto del N-P-K y estiércol en el rendimiento de cada especie cultivada con Sigma Plot® versión 11.

Resultados y Discusión

Rendimiento de grano de maíz

El valor más alto del rendimiento de maíz se presentó con la fertilización de sólo estiércol para maíz imbricado con bayocote y maíz imbricado con haba (Cuadro 1), esto puede deberse a que cantidades adecuadas de estiércol favorecen a una alta eficiencia de uso de N; mientras que la fertilización mineral desequilibrada resulta una baja eficiencia de uso de N y una disminución en el rendimiento de los cultivos (Hui-Tian *et al*., 2015).

Rendimiento de rastrojo

El mayor rendimiento de rastrojo fue cuando el maíz estuvo imbricado con haba y con sólo 20 t ha^{-1} de estiércol (Cuadro 1). Los abonos orgánicos contribuyen al incremento en el rendimiento y la calidad de los cultivos (Hui-Tian et al., 2015). Estudios realizados por Muñoz-Tlahuiz *et al*. (2013), en los altos de Puebla y Tlaxcala en condiciones de temporal, encontraron que el mayor rendimiento de rastrojo de maíz se logró al aplicar estiércol con una dosis de 25 t ha^{-1}, lo que coincide con el presente estudio.

Rendimiento de bayocote

El mayor rendimiento de grano de bayocote imbricado con maíz fue con la dosis 250-50-40 kg ha^{-1} de N-P-K sin estiércol, 284.36 kg de grano en 0.25 ha-1. Sin embargo, también se presentaron rendimientos altos con la fertilización mixta, mineral con aplicación de estiércol 20 t ha^{-1} (Cuadro 1). Rojas *et al*. (2017) reportan que la producción de bayocote se favorece al asociarse con maíz; y Apáez *et al*. (2013) en condiciones de temporal con 150-150 kg de N-P ha^{-1} obtuvieron 1.42 t ha^{-1}; y puede alcanzarse hasta 8.6 t ha-1 con dosis similares (Rojas-Victoria *et al*., 2017).

Rendimiento del haba

El mayor rendimiento de grano fresco de haba imbricado con maíz (1.21 t 0.25 ha^{-1}) fue con sólo estiércol (20 t ha^{-1}). Pei-Pei *et al*. (2012) encontraron que la aplicación de estiércol (20 t ha^{-1}) en el cultivo de maíz intercalado con haba incrementa sus rendimientos. Otro estudio realizado por Pichardo-Riego *et al*. (2013) con haba, muestran que el estiércol incrementa los rendimientos debido a la función y contenido nutrimental de la materia orgánica. Otro estudio en haba muestra que la

fertilización mixta, mineral y estiércol, presentó los mayores rendimientos en comparación con sólo la mineral u orgánica (Guadarrama *et al*., 2007).

Rendimiento de la calabaza

El mayor rendimiento de fruto de calabaza (9.18 t 0.25 ha-1) se presentó en la fertilización mixta, NPK más estiércol, tratamiento 4 (cuadro 1). Ebel et al. (2017) mencionan que la calabaza en policultivo con maíz y frijol su rendimiento incrementa en conjunto y genera resiliencia ante perturbaciones externas. Otros estudios han mostrado que la mejor fuente de fertilización es la mixta NPK más estiércol, un ejemplo de ello es el estudio realizado por Rojas et al. (2017) donde al utilizar 250-150-300 kg ha-1 de N-P-K y 15 t ha^{-1} de estiércol obteniendo rendimientos de 11.3 t ha^{-1} de fruto fresco de calabaza.

Rendimiento de chícharo

Los rendimientos más altos (3.13 y 3.30 t 0.25 ha^{-1}) de grano de chícharo fueron con la fertilización mixta, NPK y estiércol tratamiento 1 y 4 (cuadro 1) y 2.73 con puro estiércol, los tres son iguales estadísticamente. Estudios semejantes han mostrado que la fertilización mineral más estiércol logran rendimientos de 2.32 t ha^{-1} en chícharo (Rafique *et al*., 2015).

Conclusiones

La fertilización únicamente con estiércol 20 t ha^{-1}, obtuvo el mejor rendimiento de grano y rastrojo de maíz y de haba. El mejor rendimiento de grano de bayocote se encontró en la dosis 250-50-40 kg de NPK ha^{-1} sin estiércol. Para el rendimiento de fruto de calabaza y grano seco de chícharo la mejor dosis fue 200-140-40 kg ha-1 con 20 t ha^{-1} de estiércol.

La fertilización mixta, NPK más estiércol, incrementó los rendimientos de las especies componentes de la milpa; maíz, bayocote haba, calabaza, y chícharo en el ciclo agrícola 2017, en un suelo luvisol crómico en Ganzda, Acambay, Estado de México.

El efecto del nitrógeno, fósforo y potasio con 20 t de estiércol ha^{-1} en el rendimiento de las especies componentes de la milpa fue positivo, pero cuando no se usa estiércol su efecto es menor o negativo. Las dosis con 250 y 300 kg de nitrógeno con o sin estiércol abatieron los rendimientos de grano y rastrojo de maíz, de bayocote y de haba, y este efecto es mayor al no utilizarse estiércol.

La fertilización con potasio, 40 kg ha^{-1}, disminuyó el rendimiento de grano y rastrojo de maíz y de bayocote, y este efecto fue mayor al no fertilizarse con estiércol. Sin embargo, incrementó el rendimiento de haba, calabaza y chícharo, siendo mayor el efecto cuando se utilizó 20 t de estiércol ha^{-1}.

Referencias

Altieri M. A., C. Nicholls. 2012. Agroecología: única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología1: 1-21.

Apáez B P., J. A. S. Escalante E., P. Ramírez V., S. Douglas K O., E. Sosa M., V. M. Olalde G. 2013. Eficiencia agronómica de nitrógeno y fósforo en la producción de frijol chino en espaldera de maíz. Terra Latinoamericana 4: 285-293.

Barros C. 2017. Hagamos milpa. Fortalezcamos la agricultura campesina. Argumentos 83: 305-311.

Ebel R., J. G. Pozas C., F. Soria M., J. Cruz G. 2017. Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. Terra Latinoamericana 35: 149-160.

Guadarrama Q A., J. Escalante E., M. Rodríguez G., P. Sánchez G., E. Sandoval C. 2007. Biomasa, proteína, taninos y rendimiento en haba en función del nitrógeno. Terra Latinoamericana 25:169-175.

Hui-tian M., L. Jia-long., X. Ming-gang., Z. Wen-ju., H. Shao-min., P. Chang. C. Li-ming. 2015. Carbon and nitrogen allocations in corn grown in Central and Northeast China: different responses to fertilization treatments. Journal of Integrative Agriculture 14:1212–1221.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2018. Catálogo de localidades. Consultado 23 de marzo de 2018 http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=150010024.

Muñoz-Tlahuiza F., J. de D. Guerrero-Rodrígueza., P. A. Lópeza., A. Gil-Muñoza., H. López-Sáncheza., E. Ortiz-Torresa., J. A. HernándezGuzmána., O. Taboada-Gaytána., S. Vargas-Lópeza., M. Valadez-Ramírez. 2013. Producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en condiciones de temporal en los valles altos de Libres-Serdán, Puebla, México. Revista mexicana de ciencias pecuarias 4: 515-530.

Oguchi C., B. and E. Chukwuma O. 2016. Sustainable Functional Education as a Strategy for the Attainment of Agenda 2030 (UN): A Perspective from the African Child. International Journal of Comparative Studies in International Relations and Development 4: 2354-4198.

Pei-Pei M., G Lin-Guo., P. W. Jian-Cheng., H. Hui-Ying., P. Christie., L. Li. 2012. Maize/faba bean intercropping with rhizobia inoculation enhances productivity and recovery of fertilizer P in a reclaimed desert soil. Field Crops Research130:19-27.

Pichardo-Riego J C., J. A. S. Escalante-Estrada., R. Díaz-Ruíz., A. Quevedo-Nolasco., V. Volke-Haller., E. J. Morales-Rosales. Rendimiento y eficiencia en el uso del agua de cultivares de haba (Vicia faba L.) Para doble propósito. 2013. Revista Chapingo Serie Horticultura1: 71-84.

Rafique E., M. Yousra., M. Mahmood-Ul-Hassan., S. Sarwar., T. Tabassam., T. K. Choudhary. 2015. Zinc Application Arects Tissue Zinc Concentration and Seed Yield of Pea (Pisum sativum L.). Pedosphere 2: 275-281.

Rojas V N., J. Escalante E., F. Conde M., J. Mejía C., R. Díaz R. 2017. Rendimiento del frijol ayocote y maíz del agrosistema asociado en función del número de plantas por mata. Terra Latinoamericana 35:219-228.

Rojas-Victoria N J., J. A. S. Escalante-Estrada., M. A. Rodríguez-Gonzales. 2017. Rendimiento de ayocote en espaldera de maíz con suministro de Nitrógeno. Ciencias de la Economía y Agronomía 2:1-5.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

PRODUCTIVIDAD DEL SISTEMA MILPA INTERCALADA CON ÁRBOLES FRUTALES, CON FERTILIZACIÓN MINERAL Y ORGÁNICA DURANTE TRES CICLOS DE CULTIVO, EN SAN FELIPE DEL PROGRESO, ESTADO DE MÉXICO

Muñoz-Ruiz E.[1*]; Albino-Garduño, R.[2]; Santiago-Mejía, H.[3]

Universidad Intercultural del Estado de México. Estado de México. México[1].
Universidad Intercultural del Estado de México. Estado de México. México[2].
Universidad Intercultural del Estado de México. Estado de México. México[3].

[1]*Autor responsable: eduardomunoz0894@gmail.com; Libramiento Francisco Villa S/N, Col. Centro, San Felipe del Progreso, Estado de México. México. CP 50640; Tel. +52 (712)-181-64-41.

Resumen

El objetivo del trabajo fue evaluar la productividad del cultivo maíz-frijol asociado, intercalado con tomate y relevado con cempasúchil durante tres ciclos de cultivo en Ejido San Felipe del Progreso. Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas con dos tratamientos, parcela grande (sin y con 10 t ha^{-1} de estiércol) y 22 tratamientos de fertilización mineral se intercalaron dos surcos de maíz-frijol asociado con tomate de cáscara. Los rendimientos de grano de maíz en los años 2015, 2016 y 2017, fue con la dosis de fertilización 90-50-40 de N-P-K kg ha^{-1} más estiércol. Los rendimientos en grano de frijol en los años 2015 y 2016 fueron: con la dósis de fertilización 180-80-40 de N-P-K kg ha^{-1} más estiércol y la dósis de fertilización 90-110-40 de N-P-K kg ha^{-1} más estiércol. Los rendimientos de tomate de cáscara en los años 2015, 2016 y 2017 con las dósis de fertilización 120-80-40 N-P-K kg ha^{-1}; con 150-110-40- de N-P-K kg ha^{-1} más estiércol. Los rendimientos de cempasúchil en 2016 y 2017 fueron; con la dósis de fertilización 180-80-40 de N-P-K kg ha^{-1} más estiércol y la fertilización de 10 t ha^{-1} de estiércol ovino precomposteado. En el año 2015 la ERT se obtuvó un valor de 1.23 solo mineral, indicando que se requiere un ha de monocultivo para alcanzar los rendimientos obtenidos en 0.33 ha^{-1} de policultivo y 1.42 con estiércol. En 2016, la ERT fue de un valor de 1.17 solo mineral; 1.63 con estiércol y ERT 2017 muestra efectos negativos.

Palabras clave

Policultivo; intercalado; rendimiento

Introducción

Una alternativa pertinente para la agricultura campesina, en superficies pequeñas y en ladera es el sistema milpa intercalada con árboles Frutales (MIAF). Este es un sistema agroecológico de cultivo múltiple en el cual el maíz, el frijol u otra leguminosa de preferencia comestible, y los árboles frutales con demanda en el mercado de fruta fresca, interactúan agronómicamente en franjas alternas perpendiculares a la pendiente del terreno. En el sistema MIAF, los cultivos básicos tienen el objetivo de garantizar la seguridad alimentaria, y los árboles son la fuente principal de ingreso económico, muro vivo para el control de la erosión hídrica de suelo, y en términos de servicios ambientales son

elemento clave para la captura y retención de carbono (Cortés *et al*., 2014). Por otro lado, se reconoce que la comunidad mazahua se basa en una economía de subsistencia estacional y autoconsumo que depende de las prácticas agrícolas de producción de temporal en el sistema milpa (Vizcarra y Guadarrama, 2006). Los campesinos en la zona mazahua representan un gran porcentaje de la población. Ellos practican una agricultura con ciertos usos y manejos particulares y con sistemas agrícolas que permiten tanto la conservación de especies como una dieta variada para ellos durante todo el año (Castillo *et al.*, 2013). En la región mazahua se han hecho algunas investigaciones previas sobre la fertilidad y productividad de la milpa. El estudio de Tapia (2015) mostró una ERT de 1.7 intercalando tomate con maíz-frijol asociado en un suelo andosol del Estado de México. Otro estudio realizado por García (2015) mostró una eficiencia relativa de la tierra (ERT) 1.35 y 1.40 intercalando maíz- frijol, asociado con haba en un suelo andosol. Se exploró el potencial de cultivos en el sistema MIAF y se determinó la dósis óptima fisiológica (o máximo rendimiento) del cultivo maíz (*Zea mays L.)* y tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) intercalados. En el estudio de Silva, (2016) en El Oro se obtuvo un rendimiento de 5.01 t ha^{-1} de maíz con la dósis de 120-80-40 kg ha^{-1} de N-P-K combinada con 10 t ha^{-1} de estiércol ovino. En caso de tomate de cáscara de 12.37 t ha^{-1} con la dósis de 120-80-0 kg ha^{-1} de N-P-K y 10 $kgha^{-1}$ estiércol ovino, con una ERT de 1.65. El método de campo para evaluar la productividad de agrosistemas, de acuerdo con Reggie J. (1991) propone que la optimización de insumos agrícolas (como fertilizantes) debe evaluarse en condiciones de producción del campesino. En este sentido, las recomendaciones técnicas de fertilidad son específicas del cultivo en cada condición de cultivo. La presente investigación se realizó en un suelo fluvisol, en el que se cultivaron especies de uso local, maíz (*Z mays*), frijol (*P vulgaris*), tomate de cascará (*P ixocarpa*), y cempasúchil (*Tagetes erecta*) este último como cultivo de relevo en el año 2015. La finalidad fue calcular la ERT de los cultivos múltiples. Así mismo, se calculó la optimización fisiológica de los fertilizantes sintéticos más estiércol, durante los ciclos agrícolas 2015, 2016 y 2017 en la localidad Ejido la Cabecera perteneciente al municipio de San Felipe del Progreso, Estado de México.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El experimento se estableció en el municipio de San Felipe del Progreso al noroeste del Estado de México. A una altitud de 2 545 msnm. La precipitación promedio de 950 mm, un clima templado subhúmedo. El suelo es fluvisol. (PRONTUARIO, 2009).

Diseño experimental

Se manejó un diseño experimental de parcelas divididas con dos tratamientos el diseño de tratamientos de parcela grande y 10 tratamientos de parcela chica, con tres repeticiones. En el ciclo 2017 se adicionó un tratamiento de parcela chica sólo con estiércol. Las parcelas chicas se generan a partir de un factorial 2^2 (+1,-1) que dio cuatro tratamientos más dos puntos axiales de los factores N y P que dieron 4 tratamientos más el tratamiento 9 correspondió a las dósis central de los factores explorados. El décimo tratamiento, se utilizó para corroborar el efecto del K2O (0-2). El tratamiento adicional 11 correspondió a la dósis central (tratamiento 9) en monocultivo, se exploraron cinco niveles de los tres factores de estudio (N, P_2O_5 y K_20). Este fue utilizado para calcular ERT. El tratamiento adicional 12 consistió en la aplicación de sólo estiércol para cotejar la fertilización orgánica. En el monocultivo de maíz, frijol, cempasúchil y tomate de cáscara se probó la dósis central que corresponde al tratamiento 22 en los dos primeros ciclos y en el último fue de 23. El tomate tuvo

la misma dósis de fertilización que el maíz, teniendo micro rotación de los surcos en los arreglos topológicos. Para determinar la dósis central de los cultivos, se tomó en cuenta la dósis recomendadade ICAMEX en los cultivos evaluados; Maíz de 115-46-30 (kg N-P-K ha-1), tomate de cáscara 120-60-120 (kg N-P-K ha^{-1}) y frijol 40-40-30 (kg N-P-K/ha-1) y la dósis usada por los productores en la región del Municipio de San Felipe del Progreso en las localidades de Fresno Nichi es de 119-77-00 30 (kg N-P-K/ha-1), en San Pedro el Alto 158-15-00 (kg N-P-K/ha-1) y en el municipio de Jocotitlan en la localidad de San Juan Coajomulco, y el análisis físico químico del suelo de la zona de estudio. Para calcula la eficiencia relativa de la tierra se utilizó la ecuación de ERT es la siguiente: $ERT = \sum_j^n = 1y_{j,i} / y_{j,s}$ (Mead y Willey, 1980). Donde "N" es el inicio de la fórmula, "J" termina la ecuación, "Y" es el rendimiento de la especie en policultivo y "S" es el rendimiento de la especie en monocultivo. Los datos obtenidos del rendimiento de maíz, rastrojo, frijol, tomate y cempasúchil se analizaron en el programa estadístico SAS® versión 9.00. Se realizó análisis de varianza (ANOVA) correspondiente al diseño experimental usado el modelo $Y_{ij} = T_i$ ($p \leq 0,05$). Se graficó con el programa Sigma plot® versión 11.

Resultados y Discusión

Se presenta el análisis de los rendimientos de cada especie evaluada por separado, mostrando el efecto de los factores de estudio, y posteriormente se interpretará la evaluación como sistema de cultivo múltiple, a través de la eficiencia relativa de la tierra.

Maíz asociado con frijol de guía

En los tres años evaluados se observó que la fertilización mineral combinada con el estiércol ovino precompostado tuvo un efecto positivo ($P<0.05$) en los rendimientos del grano de maíz. Estudios previos han mostrado el efecto positivo del manejo integrado de fertilizantes minerales y orgánicos. En el estudio realizado por Silvia (2016) la combinación de fertilizante mineral y orgánico en el cultivo de maíz generó mayor rendimiento de grano cuando se utilizó la dósis de fertilización 120-80-40 de N-P-K Kg ha^{-1} mezclada con estiércol. (Álvarez-Solís *et al.*,2010) mencionan que para mejorar la producción de maíz no basta emplear fertilizantes minerales, se debe combinar con la fertilización orgánica para complementar los requisitos nutrimentales del cultivo con efectos positivos en la biomasa microbiana. De los 22 tratamientos probados, los rendimientos se obtuvieron con la dosis 90-50-40 de N-P-K con la fertilización mineral más estiércol ovino precompostado (10 t ha^{-1}) fue uno de los tratamientos con mayor rendimiento (2015, 3.33 t; 2016 4.56 t y 2017 3.60 / 0.33 ha^{-1}), de grano de maíz en los tres años evaluados.

Frijol de guía

Los rendimientos más altos de frijol no siempre se presentaron en los tratamientos con la combinación de fertilización mineral más estiércol. En el año 2015 el tratamiento con mayor ($P \leq 0.05$) rendimiento (0.48 t/ 0.33 ha^{-1}) se obtuvo con la dosis 180-80-40 N-P-K kg ha-^{1} combinado con estiércol ovino (10 t ha^{-1}). Se obtuvo un rendimiento positivo con el cambio de la dosis baja en nitrógeno, dado que se realizó la micro rotación, por lo que refiere al año 2016 con la dosis 90-110-40 N-P-K kg ha^{-1} combinado con estiércol ovino 10 t ha^{-1} alcanzó el rendimiento máximo (0.60 t / 0.33 ha^{-1}). La integración de leguminosas mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, aportan materia orgánica y permiten la entrada de nitrógeno al suelo (Gimeno *et al*., 2006).

Tomate de cáscara

Los rendimientos más altos del tomate de cáscara se presentaron en todos los tratamientos con la combinación de fertilización mineral más estiércol. El estudio de Antonio (2018) confirma que los rendimientos más altos de tomate de cáscara fueron con la combinación de fertilizante mineral más estiércol. En el año 2015 el tratamiento que mostró mayor ($P \leq 0.05$) rendimiento (3.36 t /ha^{-1}) de tomate de cáscara fue con la dosis 180-80-40 N-P-K kg ha^{-1} combinado con estiércol ovino (10 t ha^{-1}). No obstante, la dosis 120-20-40 N-P-K kg ha^{-1} más estiércol mostró rendimientos altos en los años 2016 (4.86 t / 0.33 ha^{-1}) y 2017 (4.64 t / 0.33 ha^{-1}). El estudio realizado por Antonio (2018), mostró que el rendimiento más alto de tomate de cáscara fue con la dósis 120-20-40 kg ha^{-1} combinado con 10 ton ha^{-1} de estiércol. Cano (2016) en su estudio, evidencia que los fertilizantes orgánicos satisfacen las necesidades en el cultivo de tomate de cáscara para una mejor producción y calidad del fruto.

Cempasúchil

En el año 2015, el tratamiento que mostró mayor ($P \leq 0.05$) rendimiento (110654.44 capítulos / 0. 33 ha^{-1}) de capítulos de cempasúchil fue con la dósis 180-80-40 N-P-K kg ha^{-1}. No obstante, el tratamiento con la dosis 0-0-0 N-P-K kg ha^{-1} más 10 t ha^{-1} de estiércol mostró el mayor rendimiento (70263 capítulos / 0. 33 ha^{-1}) en el año 2017. Se estima que el alto rendimiento de cempasúchil en 2017 se debió al efecto residual de las especies cultivadas (tomate de cáscara, maíz, frijol de guía). Álvarez *et al.*, (2010), concluye en su estudio que la incorporación combinada de estiércol, rastrojo y cobertura de leguminosa es una estrategia adecuada para disminuir la fertilización inorgánica, con un efecto positivo en biomasa microbiana y la materia orgánica. Salazar *et al.*, (2010), menciona que después de un período de varios años de aplicación continua de estiércol, queda suficiente nitrógeno residual para producir el siguiente ciclo agrícola sin necesidad de aplicar ningún fertilizante químico y sin que disminuyera la producción.

Eficiencia relativa de la tierra

En este estudio, la eficiencia relativa de la tierra (ERT) con fertilización mineral fue de 1.23 y 1.17 y con la fertilización orgánica mostró una ERT de 1.42 y 1.63 en los años 2015 y 2016. Es decir, el valor de 1.23 necesita una hectárea de monocultivo para obtener los rendimientos que se obtienen en 0.3 hectárea de policultivo (maíz-frijol, asociado, intercalado con tomate de cáscara) en el sistema MIAF. La fertilización mineral más estiércol mostró un incremento en la ERT. Por el contrario, en el año 2017 la ERT muestra efectos negativos. La eficiencia relativa de la tierra parcial, con fertilización mineral y orgánica más alta en 2015 fue de 0.57 en policultivo de frijol y 0.60 en policultivo de tomate de cáscara; en 2016 fue de 0.74 y 0.91 en policultivo de maíz; en 2017 de 0.27 en policultivo de maíz y 0.32 en politultivo de cempasúchil. Se han realizado estudios bajo el sistema MIAF mostrando que la ERT es mayor a 1. Si la ERT es mayor que 1.0, el cultivo intercalado es más eficiente, y si ella es menor que 1.0 entonces, el cultivo simple es más eficiente (Gliessman, 2002). Silva (2016) obtuvó en su estudio una ERT de 1.65 y 1.15 en el sistema intercalado de maíz con tomate, con fertilización mineral y con estiércol respectivamente

Conclusiones

La dósis óptima fisiológica para el cultivo de maíz fue con 90-50-40 kg ha^{-1} de N-P-K combinada con 10 t ha^{-1} de estiércol de ovino puesto que mostró rendimientos positivos los tres años evaluados. Por su parte, los rendimientos más altos en el tomate de cáscara y frijol de guía se presentaron en los

tres años con 120-20-40 kg ha^{-1} de N-P-K compuesto y 10 t ha^{-1} estiércol de ovino. Los rendimientos más altos de cada especie fueron con fertilización mineral combinada con la fertilización orgánica más estiércol. El mayor valor de eficiencia relativa de la tierra fue de 1.63 al comparar a la misma dósis de fertilización en monocultivo y en policultivo combinada con mineral más orgánica, así mismo, mostró que se requiere más terreno en monocultivo para alcanzar el rendimiento en policultivo. Se estima que la fertilización orgánica con estiércol ha dejado efectos residuales de nutrimentos asimilables para los cultivos de relevo, para corroborarlo se requiere investigación que lo verifique.

Referencias

Álvarez, S, J. D., Díaz-Pérez, E., León-Martínez, N. S., and Guillén-Velásquez, J. 2010. Enmiendas Orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento de maíz. *Terra Latinoamericana*, *28*3.

Álvarez, S, J. D., Gómez-Velasco, D., León-Martínez, N. S., and Gutiérrez-Miceli, F. A. 2010. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. *Agrociencia*, *44*5.

Antonio, D, A. 2018. Opimización de fertilizantes (N-P-K Y Estiércol Ovino) en el cultivo intercalado de maíz (*Zeas Mays L.*) y tomate *(Physalis Ixocarpa*) del año 2016 en Santa Rosa de Lima, Estado de México.

Cano, M. L. 2016. Fertilizaciones orgánicas en el desarrollo del cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* brot.).

Castillo-Nonato, J., and Chávez-Mejía, C. 2013. Caracterización campesina del manejo y uso de la diversidad de maíces en San Felipe del Progreso, Estado de México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, *10*(1), 26-38.

Cortés, F. J. I., and Turrent F. A. 2014. La milpa intercalada con árboles frutales (MIAF): Un sistema agrícola multiobjetivo para las pequeñas unidades de producción, programa de edafología, Colegio de Postgraduados.

García, T. L. 2015. Fertilización mineral y orgánica en el cultivo intercalado maíz- frijol asociado y haba en un andosol del Estado de México. Colegio de Posgraduados. Maestría en Ciencia. 44.

Gimeno, G. H., González, L. R. G. and Guzmán, C. G. 2006. El manejo tradicional de las huertas en la provincia de granada. VII Congreso SEAE Zaragoza. 13:1-11

Gliessman, R. S. 2002. Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible., Turrialba, Costa Rica. 243-245.

Mead, R., Willey, R.W, 1980. The concept of a “Land Equivalent Ratio” y advantages in yelds from intercropping. Exp. A Gric.16, 217-218.

Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos San Felipe Del Progreso 2009. México. *Clave Geoestadística 15074 2009*.

Reggie, J. L. 1991., Rama de suelos., Investigación agronómica para el desarrollo de la agricultura tradicional. Colegio de Posgraduados. Escuela nacional de agricultura. Chapingo, México.

Salazar,S. E., Trejo-Escareño, H. I., López-Martínez, J. D., Vázquez-Vázquez, C., Serrato-Corona, J. S., Orona-Castillo, I., and Flores-Márgez, J. P. 2010. Efecto residual de estiércol bovino sobre el rendimiento de maíz forrajero y propiedades del suelo. *Terra Latinoamericana*, *28*(4), 381-390.

Tapia, H.A. 2015., Sotocultivos en el sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) En la región noroeste del Estado de México., Colegio de Postgraduados., Maestría en Ciencia. 71.

Vizcarra, B. I. and Guadarrama, M. 2006. Las niñas a la casa y los niños a la milpa la construcción social de la infancia mazahua. Convergencia, *13*(40), 39-67

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

AGROFORESTERÍA EN ZONA ÁRIDA: CULTIVO Y CONSERVACIÓN DE LA FLORA MEDICINAL DE SAN LUIS POTOSÍ

Díaz, Cándido

Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. De México, México.

*Cándido Díaz Reyes: diaz.candido.005@gmail.com; reforma #1016, Col. Centro, Fresnillo, Zacatecas, México. C.P. 99000; Tel. +52 555929215195

Resumen

La flora curativa es un recurso fitogenético visualizado como fuente generadora de beneficios económicos en múltiples estamentos sociales. El cultivo y conservación de planta medicinal se articula con la riqueza biológica y cultural de México. El cultivo, aprovechamiento y conservación de la flora medicinal nativa hilvana con la actual tendencia agroforestal de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales disponibles; por lo que esta investigación delinea diseñar una propuesta agroforestal medicinal en zona árida, a partir de una estratificación ideal basada en hábitos de crecimiento de las especies, estrategias de adaptación, importancia ecológica y su potencial económico; partiendo de la idea de sostenibilidad, en la cual adaptamos nuestras necesidades al medio ecológico y no en dirección inversa. El diseño agroforestal medicinal o farmacia viviente tienen como directriz permitir a los campesinos aprovechar, cultivar y conservar los recursos los recursos genéticos de este sitio sagrado natural, con viabilidad económica y ecológica.

Palabras clave: Agroforestería; conservación; medicinal

Introducción

La biodiversidad en nuestro país esta hibridada a la diversidad cultural, esta interdependencia confiere a México grandes oportunidades para el desarrollo sostenible.

La herencia natural de México se desarrolla en un territorio en el que más del 50% de su superficie presenta climas desértico y semidesértico (Granados, 2012), en los cuales se desarrollan de manera silvestre plantas con potencial terapéutico, ya que el estrés hídrico y las condiciones ecofisiográficas detonan el metabolismo secundario de la planta confiriéndole un efecto medicinal *sui generis* (Bruneton, 2001).

El objetivo de esta investigación es diseñar un sistema agroforestal medicinal (SAFM) con especies nativas en el sitio de estudio.

La naturaleza de las actividades económicas que se han desarrollado en este sitio caracterizado por sus muy altos índices de pobreza (95%), ha ocasionado una erosión en múltiples dimensiones por casi 250 años, por lo que esta ANP demanda un manejo sostenible de los recursos naturales, abriendo un área de oportunidad para la innovación agroforestal, exhibiendo un área de oportunidad para el aprovechamiento, cultivo y conservación de flora medicinal nativa.

El presente proyecto vinculará los conocimientos de distintas áreas del saber, con el fin de diseñar un espacio multiestratos que atienda problemas de índole agronómico en el área de investigación, así

como de requerimientos de insumos vegetales necesarios para atender los principales padecimientos de la población.

Materiales y Métodos

El sitio de estudio se ubica en el municipio de Catorce, en la parte norte del Altiplano Potosino, en el cuadrante suroriental de la Eco-región denominada Desierto Chihuahuense (DC) (Granados, 2011) en la colindancia entre San Luis Potosí (SLP) y Zacatecas. Se estudiarán básicamente tres tipos de vegetación: matorral desértico rosetófilo, matorral desértico micrófilo y bosque espinoso.

Factores Físicos

Se utilizarán Sistemas de Información Geográfica para la determinación de la composición física de las comunidades vegetales, se elaborarán mapas de clima, suelo, orografía y rocas con la ayuda de mapas digitales y el programa ArcGis 10.1.

Análisis Ecológico del Área de Investigación

Análisis del Suelo

Se obtendrán muestras compuestas de suelo en cada sitio definido, de aproximadamente 1 kg, se enviarán al Laboratorio Central Universitario del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo, donde se determinará: pH, P (Fósforo), K (Potasio), Ca (Calcio), Fe (Hierro) y textura del suelo

La información derivada de la composición sustrato-suelo aporta información ambiental que será correlacionada con datos obtenidos de la caracterización de las comunidades vegetales, para establecer hipótesis de factores que determinan la composición y estructura de las comunidades florísticas y revelar el efecto de las comunidades vegetales en el suelo.

Caracterización de la vegetación

Para describir el arreglo vertical de cada comunidad se realizará una estratificación de los individuos más representativos, con Valor de Importancia Relativo (VIR) más alto, se elaborará un perfil semirrealista de (Richards, 1952). Este método permite obtener valores que permiten generar un indicador ecológico para caracterizar las especies.

Ordenación

Para la ordenación de la vegetación se utilizará el Análisis de Correspondencia Canónica (CCA); para realizar el análisis se utilizará el programa de cálculo CANOCO (Braak, 1998), la representación gráfica se elaborará utilizando el programa CANODRAW.

Análisis del potencial económico de las especies

Se realizará un análisis económico de las especies nativas con potencial terapéutico e importancia ecológica; se realizaron entrevistas semiestructuradas para determinar los usos y técnicas de empleo de las especies medicinales. El análisis económico tiene como objetivo determinar las posibilidades de aprovechamiento de cada una de las especies, estimar los costos de aprovechamiento e identificar los canales de comercialización de los diferentes productos y el beneficio económico generado en su aprovechamiento. Los resultados del análisis servirán para establecer un diseño con especies que si bien tienen un rol ecológico y económico importante, también constituyan una entidad con cargada de significado en el sistema cultural de los habitantes de esta zona, con el objetivo de revalorizar y reapropiar el conocimiento, el espacio, las técnicas terapéuticas, y la significancia de estos elementos.

Resultado y Discusión

Derivado de los 30 muestreos se encontraron 38 especies de cactáceas, arbóreas y arborescentes, la composición florística, en su mayoría pertenecen a las familias cataceae (52%) y agavaceae (13%); la diversidad de especies en el área de estudio de acuerdo al índice de Shannon es de 4.46, considerándose así un ecosistema de diversidad alta. 58% del total de especies ostenta un uso medicinal. En el bosque espinoso el índice de Shannon es de 2.7, es decir se considera una diversidad media-baja, considerando como especie dominante al mezquite (*Prosopis sp.).* en el matorral desértico micrófilo el índice de Shannon es de 2.78, considerándose un sitio con diversidad baja, como especie dominantes se identificaron las especies gobernadora (*Larrea tridentata*), sangre de drago (*Jatropha dioica*), Tasajillo (*Cylindropuntia leptocaulis*) y hoja sén (*Flourensia cernua*). En el matorral desértico rosetófilo el índice de Shannon es de 3.21, considerándose un sitio con diversidad media-alta, se identifica como especies dominantes a las especies perene palma samandoca (*Yucca carnerosana*), lechuguilla (*Agave lechuguilla*) y palma china (*Yucca filifera*). En menor dominancia se aprecia a las cactáceas biznagas burra (Echinocactus platyacanthus) y al arbusto Gobernadora (*Larre tridentata*).

El aprovechamiento del mezquite representa una estrategia económica, cultural y ecológicamente viable para este sitio, a continuación, se presentan costos de aprovechamiento de esta especie:

Estimación económica de los productos derivados de *Prosopis sp.* por hectárea

Productos	Costo de producción	Ingreso	Utilidad bruta
Goma	1 000	13 000	12 000
Miel	1 433	3 000	1 568
Corteza	600	6 000	5 400
Vainas	1 000	6 125	5 125
Carbón	800	2 250	1 450
Total	4 833	30 375	25 542

Tabla 1 – Análisis de costos de producción, ingreso y utilidad bruta de los productos del mezquite.

Además de estas especies existen especies con potencial económico como nopales (xoconostles), orégano (*Lippia graveolens)*, cactáceas entre otras.

Conclusiones

En la porción del desierto chihuahuense (DC) perteneciente a San Luis Potosí coexiste una profusa herencia biológica (12.8% de las especies de cactáceas del planeta) (Jiménez, 2011), histórica, cultural, mineral y geográfica en una árida superficie que ha sufrido una continua erosión, particularmente evidente en el suelo, debido a la naturaleza de las actividades económicas.

La naturaleza de las actividades económicas impacta un "Sitio Sagrado Natural" degradado con alto grado de endemismo (43%), así como de pobreza (95%), ello aunado a grandes superficies que presentan nulo aprovechamiento 84%, gestan un panorama en el que la agroforestería representa una necesidad; el aprovechamiento de especies nativas con potencial económico están vinculadas al saber popular, lo cual representa una estrategia diversificada que enriquece no únicamente al medio ecológico sino al sistema cultural. El diseño de una farmacia viviente proyecta el potencial económico de las especies nativas en una alternativa económica, induciendo al cambio y la continuidad.

Agradecimientos

Agradezco a mi comité de asesores, al Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo, Dr. Diódoro Granados Sánchez y el Dr. Miguel Uribe Gómez; quiénes con su esfuerzo y luz han iluminado mi caminar en la investigación. Agradezco a mis maestros académico y de vida a mis tíos: la MC. Ameyali Hernández Hernández y el Dr. Felipe Reyes Fuentes. Y por su puesto al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por permitir hacer posible esta nuestra realidad.

Referencias

Bruneton. (2001). *Farmacognosia, fitoquímica, plantas medicinales* (2a ed. ed.). España: Acribia, 2a Edición.

Granados, D. (2012). *Ecología de los Desiertos del Mundo.* Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco: Departamento de Publicaciones de la Dirección General de Difusión Cultural y Servicio de la Universidad Autónoma Chapingo.

Jiménez, C. (2011). Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan. *Revista Digital Universitaria - UNAM*, 12.

Morafka, D.; Hernández, H. (1977). *A biogeographical analysis of the Chihuahua Desert through its herpetofauna*, 9, 51-68. La Haya, Países Bajos: Publishers.

Rzedowski, J. (1991). *Acta botánica mexicana*, (14), 3-21.

Rzendowski. (1994). *Vegetación de México.* México: Noriega Editores.

Rzendowski, J. (1965). San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

SEDESOL. (Mayo de 2010). *Catálogo de Localidades*. Obtenido de Microredgiones: http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/LocdeMun.aspx?tipo=clave&campo=loc&ent=24&mun=006

SRA. (2004). *El Hombre y la Tierra.* Chapingo, México: Departamento de Publicaciones De la Dirección General de Difusión Cultural y Servicio de la Universidad Autónoma Chapingo.

Villarreal, J. (2017). El elemento endémico de la flora vascular del Desierto Chihuahuense. *Acta Botánica Mexicana*, (118) 65-96.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

COMPARACION DE LA PRODUCTIVIDAD DE DOS HIBRIDOS DE SANDIA BAJO FERTILIZACION DE LENTA LIBERACION EN EL MUNICIPIO DE TLAHUALILO, DGO., MEXICO

Ríos-Vega, M.E.[1*]; Urrutia-Olivarez, MJ.[1]; Figueroa-Viramontes, U.[2]; Saucedo-Leyva, J.A.[3]

[1]Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango. Dom. Con. Ejido Venecia, Municipio de Gómez Palacio, Durango. México.
[2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Matamoros, Coahuila. México
[3]Alumno tesista de la Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango.

*Autor responsable: e-mail: maesther.rios@hotmail.com; Domicilio conocido S/N, Ejido Venecia, municipio de Gómez Palacio, Durango. México. CP 35112; Tel. +52(871)-845-2006

Resumen

Este trabajo de investigación se llevó acabo en el ciclo: primavera-verano 2017 en el cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*) híbridos Summer Flavor 800 (T1) y Montreal Escarlette (T2) respectivamente. En el trabajo se evaluó el potencial productivo del cultivo. La parcela experimental fue de 73.5 m^2. La parcela útil fue de 27.3 m^2. El diseño experimental utilizado fue en bloques al azar con 3 repeticiones. El análisis estadístico se realizó con el software Info Stat. La fertilización se realizó en base a la dosis 150-80-00 de N-P-K respectivamente, utilizando como fuente de nitrógeno un fertilizante de lenta liberación y como fuente de fosforo el fosfato monoamónico (map). Las variables evaluadas no mostraron diferencia estadísticamente significativa ($P \geq 0.05$) entre los tratamientos.

Palabras clave

Potencial productivo.

Introducción

La sandia es uno de los cultivos hortícolas que se cultiva en casi todo el mundo participando China, Turquía, Irán, Estados Unidos, Egipto, México, Corea, Kazajistán, España y Grecia. Debido a la demanda que tiene se produce un total de 105,375 millones de kilogramos de sandía, según los datos que ha reportado Hortoinfo (2014) procedentes de FAOSTAT, el organismo de estadística de la organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
En México la importancia de la sandía radica tanto en la demanda de mano de obra como en la captación de divisas de esta hortaliza. La superficie cosechada promedio de sandía en México durante el año 2017 fue de 15,871 ha con un rendimiento promedio de 24.7 toneladas por hectárea y una producción total de 509,409 toneladas. Los principales estados productores son: Sonora, Chihuahua y Guerrero con participaciones de 31.3, 16.6 y 9.8% de la superficie cosechada total respectivamente. La Región Lagunera participa con 6.1 % de la producción nacional, la superficie cosechada dedicada a este cultivo es de 974 ha., (SIAP, 2017). El municipio de Tlahualilo tuvo una superficie cosechada

de 95 ha con un promedio de 42 toneladas por hectárea (SIAP, 2015)
En el municipio de Tlahualilo, los problemas de producción de sandía son la disponibilidad de agua para riego, baja producción, enfermedades y comercialización.
La fertilización es de suma importancia para el cultivo, ya que le proporciona nutrimentos esenciales para la nutrición vegetal y así tener una mejor producción al término de su ciclo. En la fertilización convencional, solo un tercio de los fertilizantes nitrogenados son utilizados por las plantas (Alfaia, 1997).
Una alternativa es: la utilización de nuevos híbridos que, presentan resistencia a ciertas enfermedades y que constituyan una ventaja adicional a estos materiales, además, que tengan uniformidad, clave para la mecanización del cultivo y alto rendimiento de las variedades hibridas (Schwember y Contreras, 2011).
Otra alternativa es buscar nuevas tecnologías como los fertilizantes de lenta liberación los cuales provén el nitrógeno lentamente a los cultivos, de esta manera mejorando la absorción del nitrógeno y obteniendo un mejor desarrollo en cultivos hortícolas, tales como el cultivo de la sandía. El objetivo de este trabajo fue evaluar la producción de los híbridos de sandía Summer Flavor 800 y Montreal Escarlett bajo fertilización de lenta liberación en el municipio de Tlahualilo, Durango, México.

Materiales y Métodos

El proyecto de investigación se realizó en la parcela situada en el Ejido San Julio, municipio de Tlahualilo, Durango, México. Localizado a la altura del km 48 carretera Gómez Palacio-Tlahualilo, ubicado geográficamente en los paralelos 25°93’72.22” de latitud norte y los meridianos 103°41’72.22” de longitud oeste a una altura de 1100 metros sobre el nivel del mar; el clima predominante es seco estepario, presenta una temperatura media anual de 21°C.
El experimento se estableció en un suelo de textura arcillo arenosa con una densidad aparente de 1.3 g/m^3, la conductividad eléctrica de 0.57 ds/m, el pH de 7.8.
La preparación del terreno constó de un barbecho a 30 cm. de profundidad, un paso de rastra y un empareje. Finalmente se construyeron camas meloneras con medidas de 7 m de centro a centro. Se realizaron dos muestreos de suelo: el primero, antes de establecer el cultivo cuyos resultados nos indicaron las características generales del suelo: textura, densidad aparente, conductividad eléctrica, pH, amonio y nitratos., y el segundo, al término del quinto corte. Las variables determinadas fueron amonio y nitratos del suelo, además se realizarán muestreos de humedad para el control del experimento.
Se aplicaron 7 riegos distribuidos en: riego de pre-siembra y seis auxilios. El intervalo entre riegos fue de 14 días.
La siembra se realizó el día 14 de marzo del 2017 en suelo húmedo, la densidad de siembra fue de 2,196 plantas ha^{-1}. Se utilizaron dos híbridos de sandía: Summer flavor 800 nunhems de Bayer (T1) y Montreal Escarlett nunhems de Bayer (T2) respectivamente.
Para la fertilización la fórmula química utilizada fue: 150 - 80 – 00. Se utilizó fosfato mono amónico (map) como fuente de fosforo. Se aplicó todo el map 10 días antes de la siembra con ayuda de una fertilizadora., y Novatec Solub-21 (Compo®) como fuente de nitrógeno; se dividió en cinco partes iguales y se aplicaron antes de cada riego de auxilio. La aplicación fue de forma manual, se realizó una zanja lineal a 15 cm de las plantas, posteriormente el fertilizante fue sepultado.
La parcela experimental fue de 10.5 m de largo por 7 m de ancho para obtener un total de 73.5 m^2.

Cada parcela constó de dos surcos por cama y 8 plantas por surco a una distancia de 1.3 m.
Se realizó un escarde antes de cada riego con la finalidad de guardar humedad en el suelo, eliminar malezas y facilitar la expansión de raíces. El control de maleza sobre la cama se realizó de forma manual cuantas veces fue necesario.
No se requirió la aplicación de insecticidas químicos ya que la presencia de insectos plaga se mantuvo por debajo del umbral económico.
Se realizaron 5 cortes de forma manual, se consideró la madurez comercial del fruto. La calidad del fruto se determinó con un Refractómetro Digital Brixometro 0-55 °Brix Hm Digital para determinar los grados Brix (ºBrix) en una muestra representativa de cada parcela.
Las variables a evaluar en el cultivo fueron: Peso promedio del fruto (PESO PROM), Diámetro ecuatorial (D.E), Diámetro polar (D.P), Calidad º BRIX, Rendimiento (Ton/ha) (REND). Las variables en el suelo fueron: Nitratos y Amonio en partes por millón (ppm) 0-30 y 30-60.
Los tratamientos se establecieron bajo un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. La parcela útil fue de 27.3 m^2. Los datos se analizaron en el software estadístico Infostat con múltiple comparación de medias (LSD).

Resultados y Discusión

Al realizar el análisis de varianza para peso promedio del fruto (PESO PROM) en los tratamientos evaluados no se mostró diferencia estadística ($P \geq 0.05$). La media fue de 7.35 kg. Figura 1.1.
Sin embargo a pesar de que no se encontró diferencia estadística, numéricamente el hibrido Montreal Escarlett expresó frutos con un peso mayor en comparación con Summer flavor 800.
En el análisis de varianza (ANVA) no se encontró diferencia significativa ($P \geq 0.05$), entre los tratamientos evaluados en º BRIX. La media fue de 10.01 º Brix. Estos resultados superan a lo obtenido por Huitrón *et al.* (2007), en donde obtuvieron una media de 8 º Brix al evaluar sandía triploide comparando un efecto del ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) y 1- (2-cloro-4-piridil) – 3-fenilurea (CPPU). Figura 1.2

Figura 1.1 Peso promedio del fruto. Comparación de dos híbridos de sandía bajo fertilización de lenta-liberación

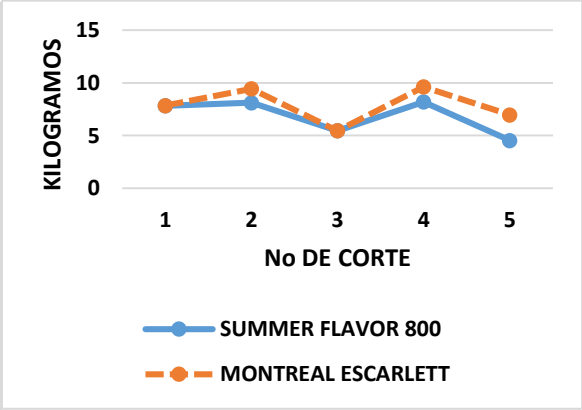


Figura 1.2 Calidad º Brix. Comparación de dos híbridos de sandía (*Citrullus lanatus*) bajo fertilización de lenta liberación.

Respecto a la variable diámetro ecuatorial (D.E), no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos evaluados (P ≥ 0.05). La media fue de 59.93 cm. Cuadro 2.1.

En el análisis de varianza (ANVA) no se presentó diferencia significativa (P ≥ 0.05), entre los tratamientos evaluados en Diámetro polar (D.P). La media fue de 80.9 cm. Estos resultados superan a lo obtenido por Calizaya (2013), quien obtuvo una media de 41.54 cm, de igual forma Mullins y Smith (2001) mencionan que la variedad Feedrom en sandías sin semillas alargadas fueron las más grandes, y reportan una media de 33.02 cm de diámetro polar. Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1. Resultado de las variables evaluadas en el fruto.

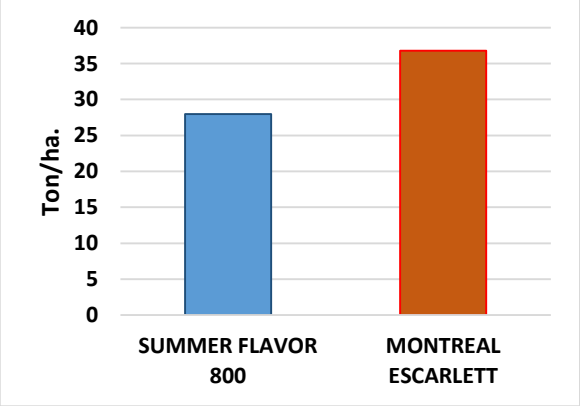
No. DE CORTE	VARIABLE	SUMMER FLAVOR 800	MONTREAL ESCARLETT	SIGNIFICANCIA 0.05
1	D.E (cm)	68.4	66.43	ns
	D.P (cm)	88.93	90.1	ns
2	D.E (cm)	65.1	68.67	ns
	D.P (cm)	94.4	79.4	ns
3	D.E (cm)	43.83	43.57	ns
	D.P (cm)	60.93	61.83	ns
4	D.E (cm)	67.33	71.67	ns
	D.P (cm)	91	97	ns
5	D.E (cm)	41.58	62.67	ns
	D.P (cm)	57.93	87.9	ns

D.E.=diámetro polar; D.P= diámetro polar; ns= no significativo

Rendimiento total

En el análisis de varianza (ANVA) los tratamientos fueron estadísticamente iguales (P ≥ 0.05) en rendimiento total. La media fue de 32.37 ton/ha. Sin embargo la media a pesar de que no se encontró diferencia estadística, numéricamente el hibrido Montreal Escarlett con 36.78 ton/ha fue superior en comparación con Summer Flavor 800 con una producción de 27.96 ton/ha. Figura 1.3.

Figura 1.3. Rendimiento total. Comparación de dos híbridos de sandía bajo fertilización de lenta liberación.



En el análisis de varianza (ANVA) no se encontró diferencia significativa entre tratamientos (P ≥ 0.05) para las variables: amonio y nitratos en el suelo en las diferentes profundidades: 0-30 y 30-60 cm (ppm). La media fue de 7 y 15 ppm respectivamente.

Cuadro 2.2. Resultado de las variables evaluadas en el suelo.

VARIABLE	SUMMER FLAVOR 800	MONTREAL ESCARLETT	SIGNIFICANCIA 0.05
AMONIO 0-30 (ppm)	6.71	6.71	ns
AMONIO 30-60 (ppm)	7.39	7.39	ns
NITRATO 0-30 (ppm)	16.12	14.77	ns
NITRATO 30-60 (ppm)	12.76	17.46	ns

ns= no significativo

Conclusiones

No se encontraron diferencias significativas entre los híbridos de sandía Summer Flavor 800 y Montreal Escarlett en las variables de calidad del fruto, de suelo y rendimiento total, sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos es importante mencionar que a pesar de que no se encontró diferencia estadística, el hibrido Montreal Escarlett obtuvo un rendimiento de 36.78 ton/ha que numéricamente superó a Summer Flavor 800 con 27.96 ton/ha.

Referencias

Alfaia, S.S. Destino de fertilizantes nitrogenados (15N) em um Latossolo Amarelo cultivado com feijão caupi (Vigna unguiculata L.). Acta Amazonica, v.27, p.65-72, 1997.

Hortoinfo. 2014. Diario Digital de Actualidad Hortofruticola. [Internet]. http://www.hortoinfo.es/index.php/4027-prod-mund-sandia-121214

Huitrón, M.V., Díaz, M., Diánez, F., y Camacho F. 2007. Effect of 2, 4 D and CPPU On triploid watermelon production and quality. Horscience 42 (3):559-564.

SIAP. 2015. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [Internet]. https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119

SIAP. 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [Internet]. https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119

Schwember A. y Contreras S. 2011. Revista Agronomía y Forestal n° 42 Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. U.C. [Internet]. agronomia.uc.cl/component/com_sobipro/Itemid,232/fid,218.../task,download.file/.

Mullins, C. A., Smith, A. B. 2001. Performance of watermelon cultivars, plateau experiment station.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

METODO PARA ESTIMAR CAPACIDAD PRODUCTIVA DEL PASTIZAL: SUELOS Y EROSION

Serna-Pérez, A.[1*]; Echavarría-Cháirez, F.G.[1]; Casas-Flores, J.I.[1]

[1]INIFAP-Campo Experimental Zacatecas. Calera, Zacatecas, México.

*Autor responsable: serna.alfonso@inifap.gob.mx; Carretera Zacatecas-Fresnillo Kilometro 24.5, Calera, Zacatecas. México. CP 98500; Tel. +52(01 800)-088-2222, Extensión 82319.

Resumen

Un buen manejo del suelo en las áreas de pastoreo es fundamental para conservar su productividad. Para ello se trabaja en el diseño de una metodología para estimar la capacidad productiva de un sitio de pastizal. En este documento se presentan los resultados obtenidos considerando el componente suelo. El objetivo del documento fue definir grupos de perfiles de suelo semejantes y determinar la erosión en una pequeña cuenca pastoreada a partir de información de suelo y mediante análisis geoestadístico. En un área de pastoreo de 53 ha se observaron perfiles de suelo y se tomaron muestras de suelo para análisis físico-químico. Se agruparon sitios con igual número de horizontes en el perfil y con interpolación Kriging se crearon grupos con perfiles de suelo semejantes (GPSS). Posteriormente mediante el programa IDRISI se asociaron GPSS con topografía y sus respectivos niveles de erosión potencial. Finalmente se logró obtener seis grupos de perfiles de suelo similares en la cuenca bajo estudio. Los que en conjunto con información topográfica y la ecuación universal de la pérdida del suelo proporcionaron información de erosión potencial que podría ser útil para controlar la degradación del suelo vía el manejo del sitio de pastoreo.

Palabras clave

Degradación del suelo; sobrepastoreo; Semiárido

Introducción

Para lograr la sustentabilidad en la producción de carne en el norte de México, es necesario mejorar la condición de las áreas de pastizal y matorral y conservar su productividad. Zacatecas puede servir como un ejemplo de la problemática que se desarrolla en estas áreas, así como de su importancia. En este estado de la republica alrededor del 70 % de la superficie son pastizales y matorrales que presentan diversos niveles de disturbio edáfico, pérdida de cobertura vegetal y cambios en composición florística. Lo anterior, afecta la habilidad del área de pastoreo para solventar las necesidades de alimentación de las especies ganaderas (Whisenant, 1999).

La forma como el disturbio afecta a los sitios de pastoreo ha ocupado la atención de investigadores de diferentes áreas de conocimiento, el presente trabajo está basado principalmente en el enfoque desarrollado en el suroeste de los EUA y el norte de México. Bajo esta forma de análisis el cambio en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y los procesos ecológicos asociados

(hidrología, ciclo de nutrientes, producción vegetal) son posteriores a cambios significativos en la vegetación del sitio de pastizal (Herrick *et al*., 2002). De tal forma, que la presión de uso de la vegetación por el ganado en el pastoreo, puede conducir a la degradación física del suelo. No obstante, el nivel de daño debido al pastoreo no siempre será igual al aplicar una misma presión de uso sobre el pastizal, debido a que algunos suelos continuarán funcionando después del disturbio o bien recuperarán su función después de un lapso de tiempo (Seybold *et al.*,1999); mientras que otros, no se recuperarán, a menos de que se aplique un aporte significativo de recursos externos (Herrick *et al*., 2002, Bestelmeyer *et al.*, 2003). Esto último no es deseable ya que puede significar la pérdida definitiva de la capacidad productiva de los sitios de pastoreo. Es importante hacer notar que el manejo del pastizal a través del control de cargas animales y el ordenamiento del uso y recuperación de la vegetación por medio de sistemas de pastoreo ha probado ser una forma práctica para reducir el disturbio al mínimo e incrementar la resistencia y elasticidad del suelo del pastizal mejorando su condición (Wood y Blackburn, 1984, McGinty *et al.*, 1979, Seybold *et al.*, 1999).

En un sitio o en un área de pastizal por consiguiente es posible encontrar diferencias en productividad a través del espacio. Por lo que se hace necesario identificar los factores relacionados con la vegetación, edáficos, geomorfológicos y su interrelación, así como de manejo asociados con los ciclos de energía, nutrientes y agua. Esto con la finalidad de entender los procesos involucrados, modelarlos y ubicarlos de manera geográfica para diseñar formas de manejo y de mejora de las áreas de pastizal. En el Campo Experimental Zacatecas (INIFAP), se realiza un proyecto para diseñar una metodología y poder estimar la capacidad productiva de un sitio de pastizal. En este documento se presentan los resultados obtenidos considerando el componente suelo en la cuenca experimental bajo estudio. El objetivo del documento fue definir grupos de perfiles de suelo semejantes y determinar la erosión en una pequeña cuenca pastoreada a partir de información de suelo (campo y laboratorio) y mediante análisis geoestadístico.

Materiales y Métodos

El área de pastizal en donde se desarrolla el proyecto es una microcuenca de 53 has de superficie bajo pastoreo en el municipio de Pánuco, Zacatecas. Se localiza en los 22º 54' Norte y 102º 33' Oeste, a una altitud media de 2,285 m. La precipitación promedio anual es de 400 mm. La vegetación dominante es un "pastizal nativo-matorral espinoso-nopalera". La fisiografía varía de ondulada a escarpada y presenta cárcavas muy desarrolladas. Los suelos son predominantemente arenosos De acuerdo con la clasificación WRB (2006), los suelos se clasifican, en su mayor parte, como Litosoles y, en menor proporción, como Kastañozem , con un horizonte petrocálcico a menos de 50 cm de profundidad (Serna y Echevarría, 2002).

Se observaron 74 perfiles de suelo, la mayoría directamente desde cárcavas y algunos pozos agrológicos de acuerdo con el Colegio de Postgraduados (1977). Se midió el grosor del perfil y su posición, color y textura al tacto. Una vez identificados los horizontes predominantes, se tomaron tres muestras de suelo por horizonte en cada perfil seleccionado. El total de muestras de suelo fue de 27. Se determinaron en laboratorio textura, materia orgánica, Nitrógeno, Fosforo capacidad de intercambio catiónico y salinidad (SEMARNAT, 2003). Se agruparon sitios con igual número de horizontes en el perfil y con interpolación Kriging (Isaaks y Srivastava, 1989) se crearon grupos con perfiles de suelo semejantes (GPSS). Mediante el programa IDRISI (Eastman, 1999) se asociaron

GPSS con topografía y sus respectivos niveles de erosión potencial (*E*). Ésta última variable se estimó a partir de la EUPS: *E* = *RKLS* (Wischmeier y Smith 1978). Los factores de erosividad de la lluvia (*R*; MJ-mm/ha-h) y erodabilidad del suelo (*K*; ton-ha-h/MJ-mm-ha) se determinaron de acuerdo con Figueroa *et al*. (1991). El factor de longitud de la pendiente y el de grado de la pendiente (*L* y *S*; adimensionales) se calcularon con IDRISI.

Resultados y Discusión

Se encontraron seis grupos de perfiles de suelo similares (GPSS) que se muestran en la Figura 1. El grupo de baja degradación (BD) se ubica en la parte alta y plana de la cuenca. Son suelos Kastanozem con horizontes tipo A (suelo superficial rico en materia orgánica), B (subsuelo desarrollado con horizonte de acumulación), y C (horizonte no desarrollado). El grupo de degradación media (MD) está ubicado al inicio de la ladera con pendiente ligeramente inclinada y sin horizonte A, quedando solamente los horizontes B y C, lo que condiciona su productividad. En la superficie hay acumulación de material orgánico. Son suelos Kastañozem muy degradados. Los GPSS de alta degradación (AD), alta degradación con desarrollo de horizonte orgánico incipiente (ADDP) y de alta degradación con una alta acumulación de carbonatos (59 mg kg^{-1}; ADAC) se ubican en la ladera y a pie de monte. Todos ellos presentan en la superficie lo que fue un horizonte C, pero que es actualmente equivalente a un horizonte A. Probablemente estos suelos perdieron los horizontes A y B por la erosión hídrica potenciada por la topografía. El GPSS de alta degradación con desarrollo limitado (ADDL) se distribuye en la parte alta de la cuenca en un área cerril. Presenta un horizonte muy delgado debido al afecto de la erosión hídrica y recibe deposición de suelo de las áreas circundantes. Los GPSS "alta degradación" (AD, ADDP, ADAC y ADDL) se clasifican actualmente como Leptosoles (WRB, 2006).

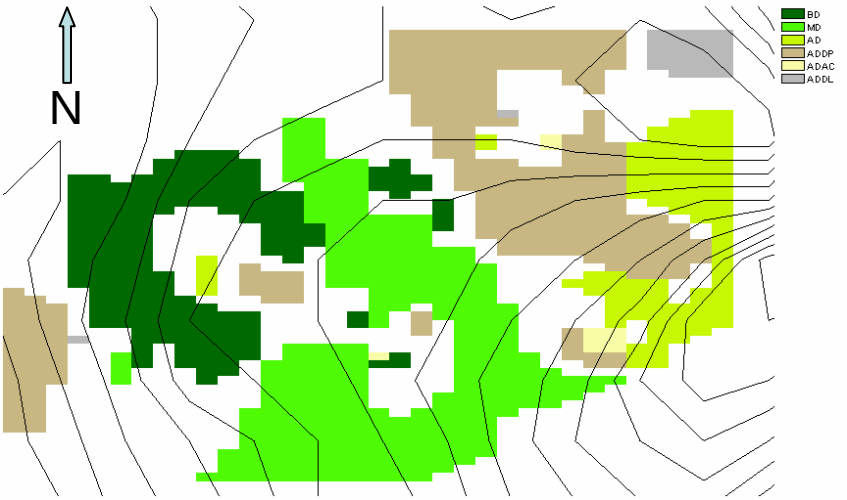


Figura 1. Distribución en la cuenca bajo estudio de los grupos de perfiles de suelos similares.

En la Figura 2 se presenta la distribución espacial de los valores estimados de erosión potencial para los suelos del área de estudio. Al comparar las Figuras 1y 2 se puede apreciar que los GPSS con menor posibilidad de erosionarse son BD, MD y ADDP, pues tienen valores de erosión potencial de entre 0 y 2 ton/ha/año. Por otro lado, los GPSS con mayor posibilidad de erosionarse son AD, ADAC y ADDL con valores de erosión potencial de más de 2 a más de 6 ton/ha/año. Dada la similitud entre el potencial de erosión y la topografía de los suelos de los GPSS BD y MD se esperaría perfiles de suelo parecidos, sin embargo, MD no presenta horizonte A. Tal diferencia podría explicarse por lo inaccesible del sitio en BD debido a una alta cobertura de espinosas y cactáceas (dato no mostrado), lo que dificulta el pastoreo; mientras que una mayor facilidad de acceso en MD propicia el sobrepastoreo. Los suelos del GPSS ADDP se distribuyen en tres niveles de erosión potencial, por lo que se esperaría que los perfiles de suelo fueran muy variables en cuanto al número de horizontes. Sin embargo, no es así, ya que el perfil del suelo presenta solo un horizonte de alrededor de 30 cm de profundidad. La baja cobertura vegetal de este sitio (dato no mostrado) pudo facilitar la pérdida paulatina de los horizontes superficiales. Los suelos de los GPSS AD, ADAC y ADDL se distribuyen principalmente en los tres más altos niveles de erosión potencial y con el mayor grado de pendiente. Lo que podría explicar porque sus perfiles muestran solo un horizonte como resultado de la intensa actividad degradadora de la erosión hídrica.

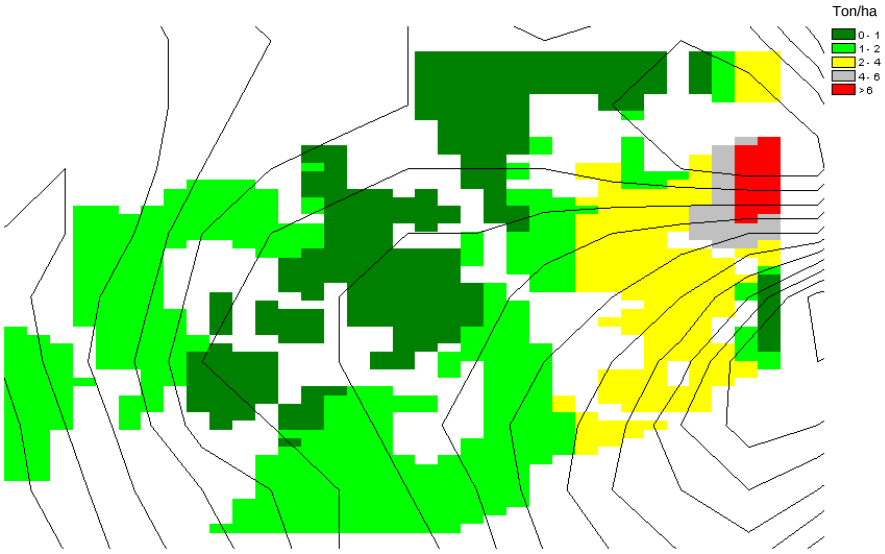


Figura 2. Erosión potencial estimada para los suelos del área de estudio y su distribución.

Conclusiones

Se definieron seis grupos de perfiles de suelo similares en la cuenca bajo estudio. Los que en conjunto con información topográfica y la ecuación universal de la pérdida proporcionaron información de erosión potencia que puede ser útil para controlar la degradación del suelo vía el manejo del sitio de pastoreo.

Referencias

Bestelmeyer BT, Brown JR, Havstad KM, Alexander R, Chavez G, Herrick JE. 2003. Development and use of state-and-transition models for rangelands. J Range Manage. 56(2):114-126.

Colegio de Postgraduados 1977. Manual de conservación del suelo y del agua. Colegio de Postgraduados-SARH-SPP, Chapingo, México, pp. 65-105.

Eastman, J.R. 1999. IDRISI32: Guide to GIS and image processing. Clark labs, Clark University. Worcester, MA 01610-1477, USA.

Figueroa, B., A. Amante, H.G. Cortes, J. Pimentel, E.S. Osuna, J.M. Rodríguez, y F.J. Morales. 1991. Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. SARH-Colegio de Postgraduados. México.

Herrick JE, Brown JR, Tugel AJ, Shaver PL, Havstad KM. 2002. Application of soil quality to monitoring and management: Paradigms from rangeland ecology. Agron J. 94(1):3-11.

Isaaks, E. H., y R.M. Srivastava. 1989. Applied geostatistics. Oxford University Press. New York.

McGinty WA, Smeins FE, Merrill LB. 1979. Influence of soil, vegetation and grazing management on infiltration rate and sediment production of Edwards Plateau rangeland. J Range Manage. 32(1):33-37.

SEMARNAT. 2003. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación del 23 de abril de 2003.

Serna, A. y F.G. Echavarría. 2002. Caracterización hidrológica de un agostadero comunal excluido al pastoreo en Zacatecas, México. I. Pérdidas de suelo. Téc Pecu Méx. 40(1): 37-53.

Seybold CA, Herrick JE, Brejda JJ. 1999. Soil resilience: A fundamental component of soil quality. Soil Sci. 164(4):224-234.

Whisenant, S.G. 1999. Repairing damaged wildlands: A process-oriented, landscape-scale approach. Cambridge University Press. Cambride, UK. 312 p.

Wischmeier, W.H., y D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA, Agric., Handbook 537, U.S. Government Printing Office., Washington, D.C. USA. 58 p.

Wood MK, Blackburn WH. 1984. Vegetation and soil responses to cattle grazing systems in the Texas Rolling Plains. J Range Manage. 37(4):303-308.

WRB. 2006. IUSS Working group. World reference base for soil resources. 2nd edition. World soil resources reports No. 103. FAO, Rome, Italy.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

RENDIMIENTO DE SEMILLA DE CALABAZA (*CUCURBITA ARGYROSPERMA* HUBER) EN CAMPECHE, MÉXICO

[1*]Villalobos-González A.; [2]Flores Fajardo J.A.; [3]Garcia-Sandoval, J.A.; [4]Rangel-Fajardo, M.A.; [5]Tucuch-Haas, J.L.

[1*]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Edzná. Campeche, Camp. México.
[2]Instituto Tecnológico de Chiná (IT China). Campeche, Camp. México.
[3]INIFAP, Campo Experimental Chetumal. Chetumal, Quintana Roo. México.
[4,5] INIFAP, Campo Experimental Mococha. Mérida, Yucatán- México.

*villagonzalez.antonio@hotmail.com; Calle Roble Núm. 24, Col. Santa Lucia, Campeche, Camp., México. CP XXXXX; Tel. 01 800 088 2222 ext. 88312

Resumen

El estudio tuvo como objetivo estudiar la respuesta tres accesiones de calabaza chihua (*Cucurbita argyrosperma Huber*) en relación a rendimiento de semilla/kg ha^{-1} en primavera-verano bajo condiciones de temporal en un suelo Luvisol de Campeche. Para ello se incluyó un ensayo con las accesiones de calabaza chihua denominada "Edzná", "Becal" y "Pixoyal" del estado de Campeche. El ensayo se condujo bajo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones en la localidad de Pocyaxum, Municipio de San Francisco de Campeche, Camp., México. La unidad experimental consistió de tres surcos de seis metros de longitud, separados a 2.40 m uno del otro y 1.25 m entre planta. La accesión "Becal" presento el mayor ($p \leq 0.05$) rendimiento de semilla con un promedio de 0.870 kg/ha^{-1}, seguido de "Edzná" con 0.710 kg/ha^{-1}. El menor ($p \leq 0.05$) rendimiento se obtuvo en la accesión "Pixoyal" con 0.480 kg/ha^{-1}. Las accesiones que presentaron mejor respuesta bajo condiciones de temporal en primavera-verano fue "Becal".

Palabras clave

Accesión; rendimiento; primavera-verano

Introducción

México es un importante centro de origen, domesticación y diversificación del género *Cucurbita* (Acevedo, 2009). La familia Cucurbitaceae incluye 118 géneros y 825 especies, de las cuales, 141 (128 silvestres y 13 cultivados) crecen en México, convirtiéndolo en uno de los países con más diversidad en este aspecto. En el país se cultivan numerosas variedades de cuatro de las cinco especies domesticadas en Mesoamérica: *Cucurbita pepo, C. moschata, C. argyrosperma* y *C. ficifolia* (Lira-Saade, 1995).

La calabaza chihua *(Cucurbita argyrosperma Huber)* es considerada una planta herbácea, de rastrera a trepadora; posee tallos angulosos, hojas pecioladas y raíces fibrosas. Sus flores son monoicas con la corola blanco-amarillenta a naranja en el limbo. Los frutos son de tamaño diverso, de 14 cm a 50 cm de largo y 14 cm a 25 cm de diámetro, piriformes o claviformes, cortos o largos y rectos o

encorvados en la parte más delgada. Su cáscara es rígida de coloración completamente blanca, hasta verde oscuro, pasando por tonos sombreado amarillo, blanco con franjas reticuladas color verde o verde con franjas reticuladas color blanco. El color de la pulpa es amarillo anaranjado de sabor dulce. En su interior se encuentran semillas de 1.5 cm a 3 cm de largo y de 0.7 cm a 1.7 cm de ancho, planas, elípticas a lanceoladas (Dorantes *et al*., 2016).

A nivel regional, el desarrollo de investigaciones sobre accesiones de calabaza nativa conocida en Yucatán y Quintana Roo como x-top y en Campeche como chihua es escaso. En este contexto, es vital la generación de estudios sobre la diversidad genética de la calabaza en la Península de Yucatán (Villalobos *et al*., 2017). Actualmente en la región, la chihua, es un producto de gran importancia debido a la demanda que tienen sus semillas, las cuales se emplean en la elaboración de botanas y platillos regionales. Localmente la semilla tostada y salada se consume de forma directa, además de ser aprovechadas por sus propiedades medicinales. También se aprovecha las semillas, que son ricas en aceites y proteínas. Otro uso es como objeto de decoración, debido a sus diversas formas y sus colores que desde hace tiempo se convirtió en un objeto de decoración entre algunas familias del estado de Campeche.

Actualmente en el estado Campeche se siembran alrededor de 17 mil hectáreas, con 99.3 % en condiciones de temporal o secano; se registró una producción de 10 592 t cosechadas en 15 885 ha, con rendimiento promedio de 0.700 t/ha. El distrito con mayor superficie y producción es Escárcega, con 9 900 ha y 6 000 t de semilla de calabaza chihua (SIAP, 2016).

El objetivo de la presente investigación fue estudiar la respuesta tres accesiones de calabaza chihua (*Cucurbita argyrosperma Huber*) en relación a rendimiento de semilla/kg ha^{-1} en el ciclo de primavera-verano bajo condiciones de temporal en un suelo Luvisol del municipio de Campeche.

Materiales y Métodos

El presente trabajo se desarrolló en el ciclo de primavera-verano 2017 bajo temporal. Para ello se empleó una superficie de terrenos aledaños a la comunidad de Pocyaxum, Municipio de San Francisco de Campeche, Camp., México. La localidad se localiza a 19.7333N, -90.3583O y a una altura de 30 msnm. Los estudios se instalaron sobre los suelos rojos-arcillosos-profundos, denominados *Kancab* o *K´aancab* en la clasificación de suelos elaborados por los antiguos Mayas (Medina, *et al*., 2009) y llamados Luvisoles en la clasificación de la FAO-UNESCO 1970.

En este sentido, el estudio contemplo la evaluación de tres accesiones de calabaza chihua (*Cucurbita argyrosperma Huber*) del estado de Campeche, que localmente se denominan “Edzná”, “Becal” y “Pixoyal”. La siembra se efectuó en junio 2017. Para ello se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental consistió de tres surcos de seis metros de longitud, separados a 2.40 m y 1.25 m entre planta. Se fertilizo a los 15 días después de la siembra (dds) con 150 kg de fosfato diamónico (18-46-00) en mezcla con 100 kg de cloruro de potasio. El fertilizante se aplicó de forma manual en suelo húmedo, a una distancia de 10 cm de separación de la base del tallo de la planta de calabaza, que seguidamente fue tapado.

Antes de la emergencia se realizó la aplicación de Glyfosato en dosis de 2.0 L/ha. Durante la fase de desarrollo y cierre del cultivo fueron necesarios varios cortes de maleza de forma manual. Se realizaron dos aplicaciones del insecticida Decis Forte (Deltametrina 10.7%) en dosis de 0.5 l/ha para barrenadores.

En el presente studio se evaluó el rendimiento de semilla/ha, que fue determinado de la semilla cosechada de cada unidad experimental, y que estuvieron sometidas a un proceso de secado a temperatura ambiente para pesarlos en una báscula digital. A los datos se les realizo un análisis de varianza con el programa SAS para Windows Versión 9.0 (SAS, 2002) en forma individual. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados y Discusión

La producción de la calabaza es generada principalmente en condiciones de temporal, y que habitualmente es influenciada por factores climáticos que repercuten en el rendimiento de semilla/ha; por ejemplo la suspensión de las lluvias en etapas criticas del cultivo. Estudios realizados Ayvar *et al*. (2004) en especie nativa denominada "Apaxtla", observaron que las densidades de 26 666 y 8 888 plantas/ha (30 y 90 cm entre matas) incrementaron significativamente la cantidad de frutos pero no el rendimiento total de semilla. Otros estudios realizados en 60 familias de calabaza pipiana (Cucurbita argyrosperma Huber), señalan que existe una variación genética en el peso de semilla y rendimiento de semilla/ha (Sánchez *et al*., 2006). En el presente trabajo se encontraron resultados similares al anterior, al observar que las accesiones de calabaza chihua presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para el rendimiento de semilla por hectárea. La accesión "Becal" presento el mayor ($p \leq 0.05$) rendimiento de semilla con un promedio de 0.870 kg/ha^{-1}, seguido de "Edzná" con 0.710 kg/ha^{-1}. El menor ($p \leq 0.05$) rendimiento se obtuvo en la accesión "Pixoyal" con 0.480 kg/ha^{-1} (Figura 1).

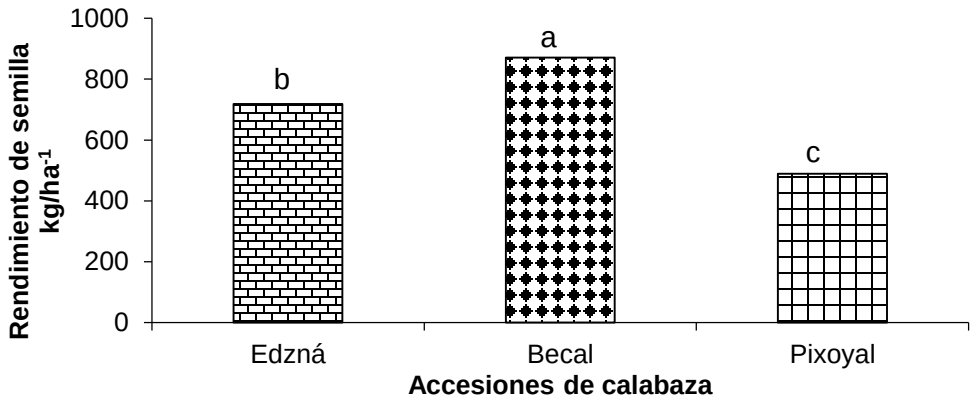


Figura 1. Promedio del rendimiento de semilla de las accesiones de calabaza chihua en condiciones de temporal en primavera-verano 2017, Pocyaxum, Campeche, Camp., México; Medias con la misma letra (s) entre tratamientos son estadísticamente iguales con un α=0,05; n.s.=no significativo.

Conclusiones

Las accesión que presento la mejor respuesta al rendimiento de semilla/ha en condiciones de temporal en el ciclo de primavera-verano 2017 en el estado de Campeche fue Becal.

Referencias

Acevedo, G.F. 2009. La bioseguridad en México y los organismos genéticamente modificados: cómo enfrentar un nuevo desafío, en capital natural de México. Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México. II: p. 319-353.

Ayvar, S.S., Mena, B.A., Cortes, M.D., Duran, R.J.A., Luna M.J.G. 2004. Rendimiento de la calabaza pipiana en respuesta a la poda y la densidad de población. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 27. p. 69-72.

Dorantes, J.J., Flota, B.C, Candelaria, M.B., Ramírez, M.M., Crosby, G.M.M. 2016. Calabaza chihua (Cucurbita argyrosperma Huber), alternativa para alimentación animal en el trópico. Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 9. P. 33-37.

FAO-UNESCO (Food and Agricultural Organization of the United Nations). 1970. Clave de unidades de suelos del mundo. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Dirección de Agrología. México, D.F.

Lira-Saade, R. 1995. Estudios taxonómicos y ecogeográficos de las cucurbitáceas latinoamericanas de importancia económica. IPGRI. Roma, Italia. 281 p

Medina, M.J., Volke, H.V.H., Galvis, S.A., González, R.J.M., Santiago, C.M.J., Cortes, F.J.I. 2009. Propiedades químicas de un luvisol después de la conversión del bosque a la agricultura en Campeche, México. *Agronomía mesoamericana*, Vol. 20, Núm. 2. p 217-235.

Sanchez, H.M.A., Mejia, C.JA., Villanueva, V.C., Sahagún, C.J., Muñoz, O.A., Molina, G.J.D. 2006. Estimación de parámetros genéticos en calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma Huber*). Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 29. p. 127-136.

Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2016. Sistema de Información Agropecuarias de Consulta (SIACON). Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Versión 1.1, México, D.F. http://www.siap.gob.mx/

Statistical Analysis System, Versión 9.0 para Windows. 2002. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Villalobos, G.A., Medina, M.J., Soto, R.J., Hernández, P.M. 2017. Evaluación de cultivares de calabaza bajo condiciones de temporal en Campeche, México. XXIX Reunión Científica – Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco 2017 y VI Simposio Internacional en Producción Agroalimentaria Tropical. Pág. 238-244.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

BIOMASA Y RENDIMIENTO EN FRIJOL EJOTERO EN RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN FOLIAR DE ZINC: NANOPARTÍCULAS versus SULFATO

Bautista-Díaz, J.[1]; Ojeda-Barrios, DL.[1*]; Sánchez-Chávez, E.[2]; Hernández-Rodríguez, OA.[1], Jiménez-Castro, JA.[1]; Guerrero-Prieto, VM.[1]

[1]Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chihuahua. México.
[2]Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Delicias, Chihuahua. México

*Autor responsable: dojeda@uach.mx 1Facultad de Ciencias Agrotécnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua, Escorza 900, CP 31300. Chihuahua, Chih., México.

Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar la eficiencia de la fertilización foliar con nanopartículas de ZnO (NPsZnO) y sales comunes de $ZnSO_4$ ($ZnSO_4$), en la producción de biomasa, altura y longitud de raíz en el cultivo de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike). Se utilizaron dos fuentes de zinc: nanopartículas de ZnO y sales de $ZnSO_4$ en dosis: 0, 25, 50, 75 y 100 ppm, con cuatro repeticiones por tratamiento. Se realizaron cuatro aplicaciones vía foliar, la primera a 20 días después de trasplante y posteriormente cada diez días. Nuestros resultados indican que la dosis de 25 ppm de NPsZnO demostró ser más eficiente en la producción de biomasa, incrementando el rendimiento un 77 % en relación al Control sin aplicación, y un 82 % mas que la dosis de 25 ppm de $ZnSO_4$. En cuanto al crecimiento, la dosis de 50 ppm de $ZnSO_4$ obtuvo un mejor desarrollo, sin embargo, no es significativamente diferente a las nanopartículas de ZnO, de la misma manera sucedió en la variable de longitud de raíz donde la dosis de 75 ppm de $ZnSO_4$ obtuvo un mayor desarrollo respecto a los demás, sin mostrar diferencias significativas con la dosis 25 ppm de NPsZnO. Finalmente, resaltar que la aplicación foliar de nanopartículas de ZnO a dosis de 25 ppm contribuyeron a mejorar la producción de biomasa foliar, longitud de raíz y rendimiento en el cultivo de frijol ejotero cultivar Strike, en comparación a la aplicación de $ZnSO_4$.

Palabras clave

Phaseolus vulgaris; Nanopartículas; Zinc; Biomasa.

Introducción

El Zinc (Zn) es el segundo metal de transición más abundante y el único presente en las seis clases de enzimas (Castillo-González *et al*., 2018). Es un microelemento esencial para el crecimiento y producción de las plantas (Chen *et al*., 2018). Se encuentra presente en todos los tejidos fotosintéticos, es necesario para la división celular y la biosíntesis de clorofila. Además, participa en el metabolismo de las auxinas, cuajado de fruto y desarrollo del polen (Saa *et al*., 2018). Aunque, los fertilizantes son cruciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, la mayoría de los fertilizantes aplicados no se aprovechan en su totalidad debido a diversos factores, como la degradación por fotolisis, hidrolisis, lixiviación, descomposición, entre otros (Singh *et al*., 2018). La aplicación foliar de nutrientes es una medida práctica para muchos cultivos que puede dar un mejor resultado en la respuesta de la planta,

economizando las tasas de aplicación e incrementando la eficiencia de los fertilizantes (Morsy *et al*., 2017). En específico, la aplicación foliar de zinc a los cultivos es una forma efectiva de incrementar la concentración de este elemento en granos. Sin embargo, el desarrollo de fertilizantes foliares de zinc más eficientes, están limitados por la falta de conocimiento sobre la distribución, movilidad y especiación del zinc en hojas, una vez que es absorbido por la planta (Casey et al., 2018). Por lo tanto, se requiere disminuir las pérdidas de nutrientes en la fertilización y mejorar el rendimiento y biomasa del cultivo con la ayuda de nuevas técnicas y sus aplicaciones a través de la nanotecnología y las nanopartículas (Singh *et al*., 2018). Motivo por el cual el objetivo del presente trabajo fue evaluar la eficiencia de la fertilización foliar con nanoparticulas de ZnO y sales comunes de $ZnSO_4$ en la producción de biomasa, altura y longitud de raíz en el cultivo de frijol ejotero cultivar Strike.

Materiales y Métodos

Condiciones experimentales

El estudio se realizó en un invernadero, ubicado en Chihuahua, Chihuahua (28°41’29.8” N, 106°06’58.6” W). El cultivo fue seleccionado por su alto consumo alimenticio por los mexicanos. Por lo cual, la variedad utilizada (*Phaseolus vulgaris* var. Strike) se obtuvo de la Comercializadora Hydro Enviroment S.A. de C.V. México. Es una variedad de ciclo corto (60 días), sensible a la salinidad y su crecimiento es adecuado en condiciones de invernadero. Las semillas se germinaron en sustrato de peat moss y se trasplantaron en macetas de 25 x 30 cm, 10 días después de emergencia (DDE). Se estandarizó cada maceta con 2.8 kg de suelo por maceta. Además, se realizó una fertilización edáfica utilizada por Martínez *et al.* (2012), la cual consistió en 100-100-50 (NPK), aplicando el 40 % a 20 DDE, 30 % a 35 DDE y 30 % a 45 DDE. Se utilizó Urea como fuente de Nitrógeno (46 % de N), Fosfato mono amónico como fuente de Fósforo (11 % de N y 54 % de P) y Nitrato de potasio como fuente de Potasio (13 % N y 44 % K).

Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Con un total de 9 tratamientos (Cuadro 1), con 4 repeticiones, donde una planta representa una unidad experimental. Se emplearon dos fuentes de Zinc; Nanopartículas de ZnO (Nano-ZnO) y $ZnSO_4$ en dosis de: 0, 25, 50, 75, 100 ppm. Estas concentraciones representan el factor 0x, 0.5x, 1x, 1.5x y 2x de la dosis utilizada por Morsy *et al*. (2017) en el cultivo de habas. Los tratamientos fueron aplicados vía foliar, realizando la primera aplicación a 20 días después de trasplante y posteriormente cada 10 días a partir de la primera aplicación, teniendo un total de 4 aspersiones durante el ciclo del cultivo, el cual fue de 60 días.

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza ANOVA, realizando una comparación de medias mediante LSD al 95 % con el programa Statistical Analysis System.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos, en función de la fuente y dosis de aplicación de NPsZnO y $ZnSO_4$.

Tratamiento	Fuente	Dosis (ppm)
1	NPsZnO	25
2	NPsZnO	50
3	NPsZnO	75
4	NPsZnO	100
5	$ZnSO_4$	25
6	$ZnSO_4$	50
7	$ZnSO_4$	75
8	$ZnSO_4$	100
9	Control	0

Muestreo de plantas
Al finalizar el ciclo del cultivo (60 DDE), el material vegetal fue extraído del sustrato y posteriormente fue seccionado en zona radicular, vegetativa y frutos.

Producción y biomasa fresca
Una vez extraído y seccionado el material vegetal, fue pesada cada sección individualmente en una bascula Scout Pro® para obtener la biomasa fresca de la zona vegetativa, radicular y la producción según la metodología utilizada por (Tucuch *et al*., 2015). Esto fue expresado en gramos de peso fresco ($g.pf^{-1}$).

Altura y Longitud de raiz
Después de extraer el material vegetal, se midió la altura y longitud de la raíz mediante la metodología implementada por Medrano & Bonifacio (2018). Para esto, se utilizo una cinta métrica midiendo desde el cuello de la planta, hasta el ápice de la raíz para medir longitud radicular y desde el cuello planta, hasta el último entrenudo del tallo para medir la altura de la planta.

Resultados y Discusión

En el Cuadro 2, se presentan los parámetros agronómicos evaluados, encontrando diferencias significativas solo en biomasa foliar, rendimiento y longitud de raíz. Los resultados obtenidos indican que la dosis de 25 ppm de NPsZnO mostró un mejor resultado en cuanto a rendimiento, incrementando la producción en un 77 % en comparación al control sin aplicación y un 82 % más que la dosis de 25 ppm (Cuadro 2). Además, a pesar de no mostrar diferencias significativas en cuanto a biomasa radicular, la dosis de 25 ppm de NPSZnO obtuvo un mayor contenido, siendo mayor un 41 % que el Control sin aplicación y un 8 % más que la dosis de 25 ppm de $ZnSO_4$. De la misma manera, la dosis de 25 ppm de NPsZnO presentó la mayor biomasa total, con un 32 % más que el Control y un 20 % mas que la dosis de 25 ppm de $ZnSO_4$. Además, la dosis de 25 ppm mostró un mejor resultado en cuanto a la altura de planta, siendo un 12 % más que el Control y un 4 % más que la dosis de 25 ppm de $ZnSO_4$.
En cuanto a las variables de biomasa foliar y longitud de raíz la dosis de 25 ppm de NPsZnO, no es significativamente diferente con la dosis de 50 ppm de $ZnSO_4$ para biomasa foliar y la dosis de 75 ppm de $ZnSO_4$ para longitud de raíz. Estos resultados coinciden con los de Xu *et al.* (2018) en donde

el NPsZnO incrementó la biomasa fresca respecto al control en lechuga. Mientras tanto Khanm *et al.* (2018) encontraron que el uso de NPsZnO mediante cualquier método de aplicación (foliar o edáfica) es estadísticamente significativa comparado con $ZnSO_4$ en la germinación, crecimiento y producción de tomate.

Cuadro 2. Efecto de la aplicación de Nanopartículas de ZnO y sales de $ZnSO_4$ en biomasa foliar, biomasa radicular, rendimiento, biomasa total, altura y longitud de raíz.

Tratamiento	Biomasa foliar ($g.pf^{-1}$)	Biomasa radicular ($g.pf^{-1}$)	Rendimiento ($g.pf^{-1}$)	Biomasa total ($g.pf^{-1}$)	Altura (cm)	Longitud de raíz (cm)
Control	14.98 ± 1.41 ABC	1.88 ± 0.33 A	4.18 ± 1.82 AB	21.03 ± 2.88 A	25.88 ± 2.13 A	23.88 ± 3.77 ABC
Nano-ZnO 25	17.75 ± 1.41 BC	2.65 ± 0.33 A	7.40 ± 1.82 B	27.80 ± 2.88 A	29.00 ± 2.13 A	28.75 ± 3.77 BC
Nano-ZnO 50	16.03 ± 1.41 ABC	2.20 ± 0.33 A	5.30 ± 1.82 AB	23.53 ± 2.88 A	27.00 ± 2.13 A	20.88 ± 3.77 AB
Nano-ZnO 75	14.20 ± 1.41 AB	1.78 ± 0.33 A	4.05 ± 1.82 AB	20.03 ± 2.88 A	26.25 ± 2.13 A	21.88 ± 3.77 AB
Nano-ZnO 100	13.58 ± 1.41 A	1.78 ± 0.33 A	5.50 ± 1.82 AB	20.85 ± 2.88 A	25.50 ± 2.13 A	18.25 ± 3.77 AB
$ZnSO_4$ 25	16.58 ± 1.41 ABC	2.45 ± 0.33 A	4.05 ± 1.82 AB	23.08 ± 2.88 A	27.88 ± 2.13 A	28.38 ± 3.77 BC
$ZnSO_4$ 50	19.00 ± 1.41 C	1.88 ± 0.33 A	1.68 ± 1.82 A	22.55 ± 2.88 A	26.13 ± 2.13 A	24.50 ± 3.77 ABC
$ZnSO_4$ 75	15.03 ± 1.41 ABC	1.98 ± 0.33 A	3.98± 1.82 AB	20.98 ± 2.88 A	24.00 ± 2.13 A	33.38 ± 3.77 C
$ZnSO_4$ 100	15.88 ± 1.41 ABC	1.70 ± 0.33 A	2.48 ± 1.82 AB	20.05 ± 2.88 A	24.00 ± 2.13 A	17.38 ± 3.77 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Conclusiones

Se puede concluir que la aplicación de nanopartículas de óxido de Zinc en la dosis de 25 ppm suministrado de manera foliar favoreció la biomasa foliar y la longitud de raíz, lo cual se reflejo en mejora del rendimiento, en comparación a la aplicación de $ZnSO_4$.

Agradecimientos

A CONACYT por la beca otorgada para realizar estudios de Maestría en Ciencias de la Productividad Frutícola en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

Referencias

Casey, L. T., Cui, L., Kirk, G., Donner, E., Kopittke, M., Schjoerring, J., y otros. (2018). Foliar application of zinc sulphate and zinc EDTA to wheat leaves: differences in mobility, distribution, and speciation. *Journal of Experimental Botany* , *69* (18), 4469-4481.

Chen, Q., Gong, C., Ju, X., Zhu, Z., Shen, W., & Cui, J. (2018). Hemin Through the Heme Oxygenase 1/Ferrous Iron, Carbon Monoxide System Involved in Zinc Tolerance in Oryza Sativa L. *Journal of Plant Growth Regulation* , 1-11.

Castillo-Gonzalez, J., Ojeda-Barrios, D., Hernandez-Rodriguez, A., González-Franco, A. C., Robles-Hernandez, L., & López-Ochoa, G. R. (2018). Zinc metalloenzymes in plants. INTERCIENCIA, 43(4), 242-248.

Khanm, H., Vaishnavi, B., & Shankar, A. (2018). Raise of Nano-Fertilizer Era: Effect of Nano Scale Zinc Oxide Particles on the Germination, Growth and Yield of Tomato (Solanum lycopersicum). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences , 7* (5), 1861-1871.

Martínez, M., Jasso-Chaverría, C., & Huerta-Díaz, J. (2012). Effect of fertilization doses with fertigation and conservation tillage in bean yield and soil properties. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas , 3 (8), 1551-1564.

Medrano, A., & Bonifacio, A. (2018). Evaluation of behavior of the quinoa (Chenopodium quinoa Wlld.) with localized application with different levels of semi-decomposition stretcher. *Revista de la Carrera de Ingenieria Agronómica , 4* (2), 1139-1153.

Morsy, N., Shams, A., & Abdel-Salam, M. (2017). Zinc foliar spray on snap beans using nano-Zn with N-soil application using mineral, organic and biofertilizer. Middle East Journal of Agriculture , 6 (4), 1301-1312.

Saa, S., Negron, C., & Brown, P. (2018). Foliar zinc applications in Prunus: Fron lab experience to orchard management. *Scientia Horticulturae , 233*, 233-237.

Singh, A., Sinh, N., Afzal, S., Singh, T., & Hussain, I. (2018). Zinc oxide nanoparticles: a review of their biological synthesis, antimicrobial activity, uptake, translocation and biotransformation in plants. *J Mater Sci , 53*, 185-201.

Tucuch, C., Alcántar, G., & Larqué, A. (2015). Effect of salicylic acid on root growth and total biomass of wheat seedlings. *Terra Latinoamericana , 33* (1), 63-68.

Xu, J., Luo, X., Wang, Y., & Feng, Y. (2018). Evaluation of Zinc oxide nanoparticles on lettuce (Lactuca sativa L.) growth and soil bacterial community. *Environmental Science and Pollution Research , 35*, 6026-6035.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

DIAGNÓSTICO DE LA SUSTENTABILIDAD EN EL USO DE FERTILIZANTES FOSFATADOS EN SUELOS AGRÍCOLAS: UN ENFOQUE EXPERIMENTAL

Morón-Cruz José Alberto [1]; Tapia-Torres Yunuen [1] y García-Oliva Felipe [2]

[1]Escuela Nacional de Estudios Superiores UNAM, campus Morelia, Michoacán, México.
[2]Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM. Morelia, Michoacán, México.

*Autor responsable: jamoron@cieco.unam.mx; Calle Literato deToluca Núm. 109, Col. Ignacio Ramírez, Morelia, Michoacán. México. CP 58149; Tel. +52 (443)-31197383

Resumen

Uno de los nutrientes que es limitante en el suelo y de uso común en los fertilizantes es el fósforo (P), elemento finito y no renovable, y esencial para la vida. Sin embargo, debido a que el P es altamente reactivo, las plantas utilizan menos del 20% del P aplicado al suelo, y el resto puede quedar ocluido en partículas de suelo o puede lixiviarse causando grandes problemas de eutrofización, por lo que es necesario emplear técnicas agrícolas alternativas a las actuales, que busquen el reciclamiento del P en el suelo, ya que se estima que este elemento puede agotarse en un periodo de 80 años. El presente proyecto tiene como objetivo analizar bajo un enfoque experimental, el efecto del manejo agrícola (sostenible e intensivo convencional) en la dinámica del P en un suelo de origen volcánico en el centro de México. Se realizó la colecta de suelo en un sitio con manejo agrícola, un sitio abandonado con historial de manejo agrícola intensivo y en un sitio conservado (bosque de encino) en Avándaro Edo. de México a estos suelos se les analizaron variables biogeoquímicas, enzimáticas y de resiliencia y resistencia con la finalidad del observar el cambio debido al cambio de uso de suelo, y a las prácticas de agricultura empleadas.

Palabras clave fósforo; fertilización; restauración; biogeoquímica

Introducción

Muchos suelos en su estado natural contienen una baja cantidad de nutrientes disponibles y requieren la fertilización para adquirir los máximos rendimientos posibles (FAO, 2009). Uno de los nutrientes que generalmente es limitante en el suelo es el P, un elemento esencial para los organismos vivos que no puede ser sustituido por otro elemento. El P forma parte de moléculas indispensables en el almacén y transferencia de energía, en el metabolismo de los organismos vivos (por ejemplo el ATP), es constituyente de los ácidos nucleicos (ADN y ARN) y es componente de los lípidos que forman parte de de las membranas citoplásmicas (Kleemann y Morse, 2015). La deficiencia de P es a menudo un factor limitante en el crecimiento de plantas (Kleemann y Mors, 2015).

El P que contienen los fertilizantes proviene de la roca fosfórica, la cual se define como el producto obtenido de la extracción de una mina y del procesamiento metalúrgico subsiguiente de los minerales fosfatados (Zapata y Roy, 2007). Las rocas fosfóricas pueden ser utilizadas ya sea como materia prima para la fabricación industrial de los fertilizantes fosfatados solubles en agua (80-90%). El consumo de fertilizantes fosfatados va en aumento años tras año en un 2-3%, y dado que los fertilizantes

fosfatados provienen de una reserva finita, es por esto que el tener acceso a fertilizantes fosfatados cada vez implica un mayor costo (Cordell, 2010; Kleemann y Morse, 2015). Aunado a lo anterior, 5 países tienen el control de aproximadamente el 95% de las reservas globales de las minas de fósforo: Marruecos (85%), China (6%), EUA (3%), Sudáfrica (2%) y Jordán (2%) (Jasinski, 2012; Cordell y White, 2011). De esta manera, asegurar la disponibilidad y accesibilidad del P a largo plazo, principalmente para la seguridad alimentaria, es un gran reto global

La problemática del acceso al P generará que los sistema agrícolas sean muy vulnerables, por lo cual es necesario buscar métodos agrícolas alternativos que reduzca la vulnerabilidad de la agricultura. Como mineral terrestre limitado, es bien aceptado que se deben hacer mayores esfuerzos para mejorar el uso de P en los ecosistemas globales (Kleemann y Morse, 2015).

La rehabilitación y mejora de suelos con problemas de fertilidad son esenciales como pasos preliminares para la sostenibilidad y una mejor calidad de vida en el área (Pajares *et al*., 2011). Por lo que evaluar el estado de la sostenibilidad de un sistema agrícola o los aspectos críticos que lo ponen en peligro es de vital importancia (Olmos y Gonzalez, 2013). Para este proyecto se identificó y analizó el efecto del cambio de uso de suelo en la dinámica de C, N y P y actividad enzimática de siete enzimas, además se usaron los indicadores de resistencia y resiliencia que se determinaron con base en los índices propuestos por Orwin y Warlde (2004), utilizando las variables biogeoquímicas y la actividad de las siete enzimas cuantificadas. Esto nos dio información sobre la vulnerabilidad de las variables ante el cambio de uso de suelo aplicado en suelos volcánicos con producción agrícola biodinámica en Avándaro, Edo. de México y nos ayudó a describir los cambios en las características del suelo provocados por el manejo agrícola y su posterior abandono. Además de que se identificó la eficiencia sobre la disponibilidad de P, de fertilizar con hidroxiapatita y con materia orgánica mediante analsisis de fraccionamiento de P.

Materiales y Métodos

Se realizaron los siguientes análisis biogeoquímicos y enzimáticos siguiendo las metodologías citadas:

- Humedad y pH (Chavez-Ortiz, 2014)
- Determinación de C, N y P disueltos (Jones y Willet, 2006).
- Determinación de Nitrógeno disponible (NH_4 y NO_3) (Robertson *et al.*, 1999).
- Determinación de Fósforo disponible (HPO_4) (Hedley *et al.*, 1982).
- Determinación de Nutrientes en biomasa microbiana (C , N y P) (Vance *et al.*, 1987)
- Actividad enzimática (BG, NAG, PO, Fm, FD, FN, CELLH Y FT) (Sinsabaugh, 2001).
- Fraccionamiento de P (Perroni et al., 2014)
- Indices de Resistencia y resiliencia (Orwin y Warlde, 2013).

Resultados y Discusión

Los resultados del presente proyecto enfocados en el elemento P nos mostraron la deficiencia que existe en el sitio de P, ya que se obtuvieron valores bajos de P disponible y POD , sin embargo dadas

las caracteristicas limitamtes de P en el suelo, los microorganismos del sistema agrícola, a pesar de contar con una mayor disponibilidad de P con respecto a los otros sitios, inmovilizan más P posiblemente con la finalidad de tenerlo como reserva, ya que el P inmovilizado en biomasa microbiana es un importante reservorio de P disponible, particularmente en ecosistemas que cuentan con P fuertemente unidos a superficies minerales (Chapin et al., 2002). En cambio, el sitio encinar presenta una baja disponibilidad de P tanto disponible como en biomasa microbiana, debido posiblemente a las características del suelo volcánico y a la competencia por este elemento con la vegetación del sitio.

En cuanto a los resultados obtenidos en la técnica de fraccionamiento secuencial de P para las muestras de suelo provenientes del encinar y el suelo agrícola. La prueba estadística T nos mostró que hay diferencias significativas en todas las concentraciones de todas fracciones de P extraídas para ambos sitios excepto para la fracción de $NaHCO_3$ orgánica. El fraccionamiento nos muestra que la mayor parte del P que se encuentra en el suelo encinar se encuentra retenido en la fracción de NaOH orgánico (52%). Esto nos sugiere que la mayor cantidad de P en el suelo analizado está fuertemente unido a compuestos de hierro (Fe) y aluminio (Al) y estructuras complejas de materia orgánica. Esto se debe a la naturaleza del suelo, los suelos son de tipo andosol, de origen volcánico, y están constituidos principalmente de ceniza, la cual contiene alto contenido de alófano (entre 7.8 y 57.3%; Fassbender y Bornemisza, 1987), además de que cuentan complejos humus-aluminio que contribuyen a muchas de las propiedades comunes de los Andosoles (Takahashi y Shoji, 2002).

Sin embargo la cantidad de PT disponible en el sitio encinar corresponde a 82 µg P $*g^{-1}$ un 14% respecto al PT del sitio (0.6 mg $P*g^{-1}$), esta fracción corresponde al P potencialmente utilizable por microrganismos y plantas del suelo (Syers et al., 2008). Al comparar el PT en el sitio agrícola, podemos ver que el sitio agrícola cuenta con más del doble de concentración de PT: 1.5 mg $P*g^{-1}$, esto puede deberse al suministro de composta y fertilizantes minerales que se utilizan en el campo agrícola. Sin embargo, a pesar de contar con mayor cantidad de PT, el sitio agrícola cuenta con casi la misma concentración de PT disponible: 90 µg $P*g^{-1}$, solo 8 µg $P*g^{-1}$ más comparado con el sitio agrícola y solo un 6% respecto a su concentración de PT. Esto nos sugiere que el P que está siendo agregado a suelos agrícola está siendo adsorbido.

En cuanto a los resultados de los indicies de resistencia y resiliencia, los resultados nos dicen que las variables que perdieron la capacidad de soportar los disturbios ocasionados antropogénicamente por las actividades agrícolas son las variables NO_3^- y PO_4^{3-}, las variables restantes obtuvieron valores positivos de resistencia. La resistencia del suelo depende de las condiciones previas a la perturbación del sistema, los suelos que están bien estructurados, son profundos y tienen un alto contenido de materia orgánica en el suelo exhiben una gran resistencia y resiliencia. (Blanco-Canqui y Lal, 2010).

Sin embargo, se identificaron variables que perdieron su velocidad y capacidad de recuperación después del disturbio, es decir perdieron cierta parte de su resiliencia, estas variables son 5 de las 7 enzimas cuantificadas (AG, AP, PO, CELLH, FN), los disturbios generados después de 5 años de uso intensivo de agroquímicos, cultivo de papa y el abandono de 14 años de la actividad agrícola en el sitio abandonado, no fueron suficientes para recuperar la condición original que supone el sitio conservado. Esto se debe posiblemente a la mala gestión de los suelos que se tuvo, pues las prácticas agrícolas con labranza intensiva y los monocultivos que se emplearon en años anteriores crean

tensiones en el sistema, provocando cambios rápidos e irreversibles en el suelo (Blanco-Canqui y Lal, 2010). La identificación de las actividades enzimáticas como variables con poca resiliencia se puede explicar porque las enzimas que llevan a cabo los procesos catabólicos, son biomoléculas sensibles y rápidamente afectadas por el manejo del suelo, a diferencia de procesos lentos tales como la erosión de rocas o procesos llevados a cabo en el material parental (Blanco-Canqui y Lal, 2010).

En cuanto a los resultados de eficiencia de uso de fertilizantes inorganicos y organicos, los resultados nos dicen como el precio por Kg de P es 169 veces más barato en el tratamiento de hidroxiapatita con respecto a precio de P en la materia orgánica, esto se debe al contenido de P por cada tratamiento, además de que se puede observar que el gasto útil de ambos tratamientos es favorecido en el sitio agrícola ya que las perdidas son menos. Esto puede deberse a las características químicas del sitio encinar, al contar con una mayor cantidad de materia orgánica el sitio puede ayudar a la adsorción del P.

Conclusiones

- Los resultados de la caracterización inicial, indican que el nutriente limitante en la zona es el P.
- Las prácticas aplicadas favorecen los procesos de disponibilidad de N inorgánico y la inmovilización microbiana de P.
- La variables menos resistentes y resilientes están vinculadas con el P (principalmente enzimas)
- El P en el suelo analizado, esta retenido en complejos con Aluminio y Hierro; esto nos da una idea de como diseñar el siguiente experimento.
- Tratamientos con hidroxiapatita favorecen más a la disponibilidad de P que los tratamientos con materia orgánica.

Referencias

FAO (2009) 1.02 billion people hungry. FAO. Accessed 15 Aug 2013

Kleemann, R., y Morse, S. (2015). Sustainable phosphorus management-a global transdisciplinary roadmap. *Ecological Economics*, *114*, 245-246.

Zapata, F., y Roy, R. N. (Eds.). (2007). *Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible*. FAO.

Cordell, D. (2010). The Story of Phosphorus: Sustainability implications of global phosphorus scarcity for food security (Doctoral dissertation).

Cordell, D., y White, S. (2011). Peak phosphorus: clarifying the key issues of a vigorous debate about long-term phosphorus security. *Sustainability*, *3*(10), 2027-2049.

Jasinski SM. Phosphate rock. In: US Geological Survey, editor. Mineral commodity sum- maries. USGS; 2012. p. 118–9.

Olmos, M. A., y González-Santos, W. (2013). El valor de la sostenibilidad. Revista Ciencia y Agricultura, 10(1), 91-100

Orwin, K. H., y Wardle, D. A. (2004). New indices for quantifying the resistance and resilience of soil biota to exogenous disturbances. Soil Biology and Biochemistry, 36(11), 1907–1912. doi:10.1016/j.soilbio.2004.04.036

Jones, D. L., y Willett, V. B. (2006). Experimental evaluation of methods to quantify dissolved organic nitrogen (DON) and dissolved organic carbon (DOC) in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, *38*(5), 991-999.

Hedley MJ, Stewart JWB y Chauhan BS. 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. Soil Sci. Soc. Am J 46: 970-

Vance, E., Brookes, P., y Jenkinson, D. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biology and Biochemistry, 19(703–707).

Sinsabaugh, R. L., y Foreman, C. M. (2001). Activity pro□ les of bacterioplankton in a eutrophic river. *Freshwater Biol*, *46*, 1239-1249.

Perroni, Y., García-Oliva, F., Tapia-Torres, Y., Souza, V. (2014). Relationship between soil P fractions and microbial biomass in an oligotrophic grassland-desert scrub system. *Ecological Research*, *29*(3), 463-472.

Chapin, F. S. (2002). III, Matson PA, Mooney H A. Principles of terrestrial ecosystem ecology.

Takahashi y Shoji, 2002 T. Takahashi, S. Shojidistribution and classification of volcanic ash soils, Global Environmental Research, 6 (2) (2002), pp. 83-97

Syers, J. K., Johnston, A. E., y Curtin, D. (2008). Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use. *FAO Fertilizer and plant nutrition bulletin*, *18*(108).

Blanco H. y Lal R. (2010). Principles of Soil Conservation and Management. Vadose Zone Journal, 9(1), 199-200.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA DE LA PALMA DE ACEITE (*Elaeis guineensis* Jacq.) EN EL ORIENTE DEL ESTADO DE CHIAPAS

Victorino Gómez Valenzuela[1]

[1] **Unidad Regional Universitaria Sursureste, Universidad Autónoma Chapingo**.
e-mail: vgomez62@hotmail.com.

Resumen

En la porción oriente de Chiapas se desarrollan actividades productivas de gran importancia; se cultivan especies vegetales de importancia agroindustrial entre las que se encuentran hule (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) y palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). Esta última, aunque muy polémica desde la óptica ambientalista, mantiene interés y expectativa en los productores; sin embargo se desconocen las áreas con mayor potencial productivo considerando las características naturales de la zona; por ello se planteó su estudio y análisis desde la perspectiva edafoclimática haciendo uso de la información existente y con el apoyo de la Metodología de Zonificación Agroecológica propuesta por la FAO, adaptada a México y en particular al oriente del estado, para conocer la vocación ambiental natural para cultivar palma de aceite. Entre los resultados de este estudio destaca la identificación de una superficie de 61,991.4 hectáreas, donde no existen restricciones de clima y suelo para el cultivo de palma y 235,021.7 hectáreas, con cierto nivel de restricción, manejando adecuadamente los componentes edafológicos, es posible incrementar los rendimientos y la calidad de la producción, por lo que podría ampliarse la superficie cultivada. Derivado de lo anterior, se concluye que existen condiciones agroecológicas adecuadas para continuar cultivando esta oleaginosa, aprovechando el potencial productivo existente y así contribuir a mejorar la planeación del desarrollo agrícola en la región.

Palabras clave: Zonificación agroecológica, Niveles de Aptitud, Oriente de Chiapas.

Introducción

En México, Chiapas ocupa el primer lugar en superficie cultivada con palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.), (38,525 hectáreas establecidas que significa el 70% de la superficie total nacional. Según el INIFAP, Chiapas cuenta con las condiciones agroclimáticas apropiadas para el establecimiento de más de 400,000 hectáreas adicional es (Pérez y Platas, 2015).

El mejor desarrollo de la palma de aceite ocurre a bajas elevaciones, 0-500 msnm, aunque existe plantaciones hasta 1,500 msnm. La temperatura máxima óptima para el cultivo es de 28 a 34 ºC y la mínima de 21 a 24 ºC. Puede desarrollarse en un rango de precipitación de 650 a 5,000 mm anuales (suelos de buen drenaje), pero la cantidad ideal de lluvia es de 2000 a 2500 mm año^{-1} distribuidos uniformemente y sin períodos de sequía. Ante un severo déficit de humedad (más de 200 mm al año) hay aborto de flores y predomina la floración masculina (Janick y Paull, 2008).

Al ser la palma de aceite una planta de origen tropical, las condiciones óptimas se encuentran cerca del ecuador (17° de latitud), sin embargo, existe plantaciones a los 18° de latitud norte y sur con rendimiento de 20 toneladas de fruta fresca por hectárea. Requiere de suelos profundos, planos o ligeramente ondulados; pendientes mayores a 12% lo exponen a erosión y los costos de producción se incrementan por requerir más caminos, terrazas o curvas de nivel y se dificulta el manejo (Sandoval, 2011).

De las 90,118 hectáreas sembradas en México hasta 2016, solo 33.76% de la superficie se encuentra mecanizada, 58.03% cuenta con tecnología aplicada a la sanidad vegetal, mientras que el 63.49% con este cultivo cuenta con

asistencia técnica. Por otro lado, 95.92% de la producción es de temporal (SAGARPA, 2016), lo que explica porque hasta ahora se han utilizado tierras en donde los aportes de lluvia registran valores acordes al requerimiento hídrico del cultivo.

Materiales y método

La zona oriente de Chiapas comprende 15,556 Km^2, representa el 19% del territorio estatal y está conformada por los municipios de Marqués de Comillas, Benemérito de las Américas, Ocosingo, Palenque, La Libertad y Catazajá, Figura 1.

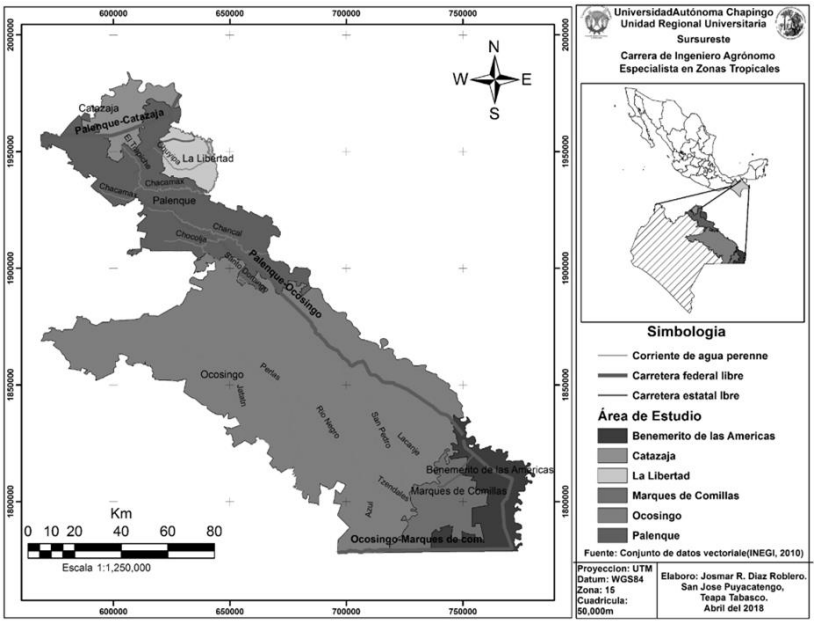


Figura 1. Ubicación del área de estudio en el oriente del estado de Chiapas.

En la zona de estudio predomina el clima cálido húmedo, 81.21%, y en pequeña porción el semicálido subhúmedo, 1.14% de la superficie, localizado en el municipio de Ocosingo. Los rangos de temperatura van de los 22 a los 24 °C como mínima y de 26 a 28 °C, en las máximas, observándose los valores más altos en el municipio de Benemérito de las Américas y Marqués de Comillas.

El Oriente de Chiapas, tiene rangos de precipitación de 1,500 hasta 3,000 mm anuales, predominando valores de 2,000 a 2,500, lo cual cumple con el requerimiento de lluvia para la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.), presentándose esta temporada de lluvias de mayo a noviembre.

La provincia fisiográfica predominante en el área de estudio es la sierra de Chiapas y Guatemala (80%,) , en menor proporción la llanura costera del Golfo sur que ocupa los municipios de Catazajá y La Libertad, cuyos suelos son planos y poca pendiente. Los tipos de suelo predominantes son Nitosol y Rendzinas; en menor proporción se encuentran Vertisoles y Regosoles.

Para la zonificación agroecológica se utilizó la "Metodología propuesta por la FAO (1997) adaptada a las condiciones de la República mexicana" (Pájaro y Ortiz, 1992) a la cual se le realizó modificaciones.

Se utilizó cartografía de INEGI (2004), escala de 1: 250,000 de los municipios mencionados, con la que se elaboró un mapa de ubicación. Se trabajó con el cultivo de palma de aceite con un nivel de inversión alto que supone un enfoque de una agricultura mecanizada o comercial y porque se trató de encontrar las mejores condiciones

naturales para establecimiento del cultivo. Utilizando el mapa de clasificación agroclimática obtenido y por sobre posición de información se realizó el ajuste por unidad de suelos.
Para el factor pendiente se establecen las siguientes categorías, acordes al grado de pendiente propuesto por Sandoval (2011), Cuadro 1.

Cuadro 1. Categorías por pendiente del terreno (Sandoval, 2011).

Pendiente	Condición	Ejemplo
0-12%	Pendiente sin restricciones (S1, O), no se degrada	MA=MA
12-25%	Con limitaciones (S2, 1) se degrada una clase	MA=A
>30%	Pendiente no apta (NA)	NA

Como la metodología no considera el factor altitud se utilizó el mapa de alturas para descartar zonas que superaban dicho rango.

Resultados y discusión

Clasificación agroecológica de la palma de aceite. Al aplicar el conjunto de criterios señalados en la metodología se degradan significativamente las categorías de Aptitud, manteniendo un mosaico predominantemente No Apto en el área de estudio y conservando solamente a las porciones noroccidental y centro oriental con la mayor Aptitud para el cultivo de palma de aceite, denotándose la importancia del factor suelo en la definición de aptitud para este cultivo, Figura 2.

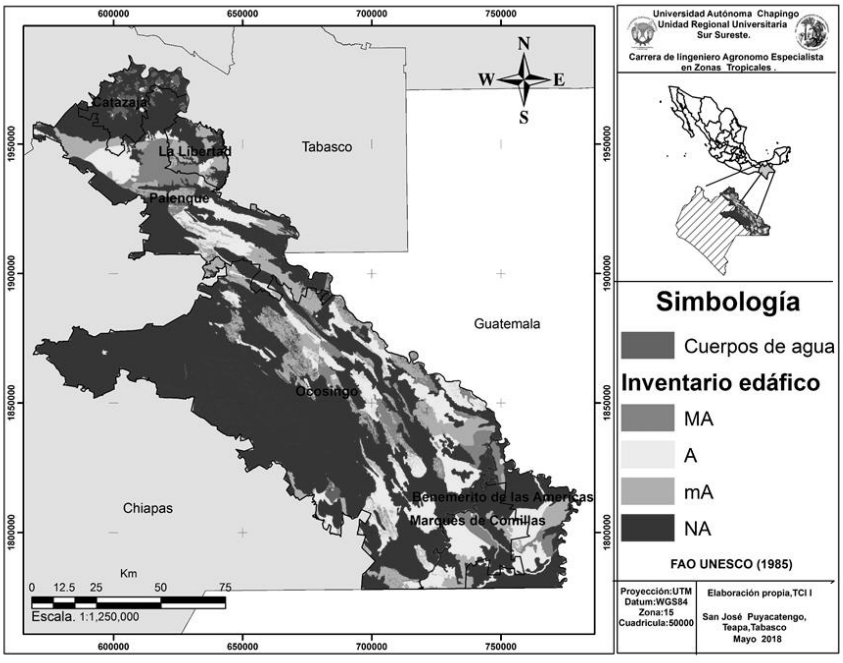


Figura 2. Clasificación agroecológica para cultivo de palma de aceite en el oriente del estado de Chiapas.

El estudio clasificó y cuantificó 61,991.4 ha como zonas Muy Aptas en donde se tienen las mejores condiciones climáticas y edáficas para el cultivo de referencia, estas áreas se ubican en su mayor parte en el municipio de Palenque, pero estas zonas solo representan el 4% de la superficie total del área de estudio.

Cuadro 2. Niveles de aptitud para el cultivo de palma de aceite en el oriente del estado de Chiapas.

Nivel de aptitud	Superficie		
	Km^2	Ha	%
MA	**620**	**61,991.4**	**4.1**
A	2350	235,021.7	15.5
mA	2212	221,228.7	14.6
NA	9990	999,004.5	65.8
Total	15172	1´517,246	100

Aún así se tiene que el potencial adafoclimático para el cultivo de esta palma es de alrededor de 62,000 ha y que de acuerdo a la estimación que se tiene respecto a la superficie establecida, existe el doble de hectáreas susceptible de aprovechamiento para este cultivo. Se encontró que alrededor de 235,000 ha se clasifican como zonas Aptas, en estas áreas podría establecerse el cultivo de palma y no tendría muchas limitaciones, pero no cumple estrictamente con los requerimientos del cultivo, en este caso las zonas Aptas representan el 15.5% y eventualmente podrían acercarse en producción a las zonas Muy Aptas si se atiende las limitaciones edáficas que presentan. La clasificación marginalmente Apta representa un 14.6% (221,228 ha), en donde las condiciones edáficas presentan limitaciones que podrían mejorase con manejo. De establecerse el cultivo en estas condiciones puede prosperar, pero difícilmente será productivamente similar a las clases Aptas y Muy Aptas, Cuadro 2.

Conclusiones

Por condiciones agroclimáticas no se presentan limitaciones para el cultivo de palma de aceite en el oriente del estado de Chiapas ya que las temperaturas y la precipitación cumplen con las necesidades hídricas de este.
Las unidades de suelo, así como su textura, son la principal limitante para el cultivo de palma de aceite.
Se encontraron 61,000 ha (4%) Muy Aptas ubicadas en mayor proporción en el municipio de Palenque; 235,000 ha (15%) Aptas; 221,000 ha (15%) marginalmente Aptas y en mayor proporción zonas No Aptas cuya extensión es de 999,000 ha (66%), la mayor proporción del área de estudio tiene esta última condición.

Agradecimientos

A los palmicultores que sin ningún interés proporcionaron experiencias e información acerca de sus plantaciones. Asociaciones de palmicultores, e instituciones educativas y oficiales por las facilidades para la realización del presente trabajo**.** En especial a: Sr. Erasmo Humberto Ramírez Figueroa productor y presidente de la Sociedad Cooperativa de Palmeros Unidos con el Valle de Tulijá, S. C. de R. L. de CV; Ing. Jorge Luís Reyna de la Secretaría del Campo Delegación VI Selva Palenque, Chiapas; Dra. Arely Bautista Gálvez, Profesora de La Escuela Maya de Estudios Agropecuarios de la Universidad Autónoma de Chiapas; MC. Héctor Cano Ascencio, técnico y asesor profesional del desarrollo agrícola en la zona de estudio; MC. Humberto Sánchez Bolón, gerente técnico de la empresa Oleopalma, agroindustrias de Palenque S.A de C.V.; Sra. Otilia Jiménez Silvano, Productora de palma

de aceite y representante del grupo de palmeros del Ejido Nueva Esperanza, Palenque, Chiapas; Sr. Fausto Arcos Ruiz. Palmicultor y presidente de la sociedad de palmeros Chancalá, Rio Seco Palenque, Chiapas.

Literatura citada

FAO, 1997. Zonificación agro-ecológica. Guía general. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

INEGI. 2004. Guía para la interpretación de cartografía edafología. Obtenido de http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/EdafIII.pdf

Janick, J. and R. E. Paull. 2008. The Encyclopedia of fruit and nuts. Obtenido de http://s3.amazonaws.com/zanran_storage/www.fitoica.com/ContentPages/2476053199.pdf

Pájaro, H. D. y C. A. Ortiz S. 1992. Estimación del periodo de crecimiento por disponibilidad de agua y libre de heladas para la república mexicana. Centro de edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

SAGARPA, 2017. Potencial Palma de Aceite. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Obtenido de Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257081/.pdf

Sandoval, E. A. 2011. Programa estratégico para el desarrollo rural sustentable de la región sur sureste de México: Trópico húmedo. Paquete tecnológico palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). Establecimiento y mantenimiento. Centro Regional de Investigación Pacífico Sur. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas, México.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE 10 ECOTIPOS NACIONALES DE CHILE PIQUIN *Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum* CON TRATAMIENTOS QUÍMICOS

Corral-Díaz B.[1*]; Estrada-Pérez, G.[1]; Osuna-Ávila, P.[1]; Flores-Margez, J.P.[1]

[1]Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Cd. Juárez, Chihuahua, México.

*Autor responsable: bcorral@uacj.mx; Calle Plutarco Elias Calles Núm. 1210, Col. Fovissste Chamizal, Ciudad Juárez, Chihuahua, México. CP 32310; Tel. +52(656)-688-1800 ext. 1894

Resumen

El chile piquín o chiltepín *Capsicum annuum* var glabriusculum es un chile silvestre. Se caracteriza por su picor, aroma y color. Se usa como condimento alimenticio, en la industria farmacéutica y cosmética. No se siembra comercialmente por problemas de germinación y establecimiento de la plántula. Se evaluaron tres tratamientos químicos en la germinación de 10 ecotipos, Las semillas se colocaron por 24 horas en soluciones de nitrato de potasio (1M), ácido giberélico (500ppm) y agua; se germinaron en cajas de Petri. Previamente se caracterizaron 25 frutos de cada ecotipo. Los promedios más altos del peso de fruto, peso de semillas, largo y ancho de fruto se encontraron en el ecotipo de Otáez, Dgo con valores de 0.235g, 0.145g, 8.59mm y 13.57mm; respectivamente además 38.04 semillas por fruto. Los valores más bajos fueron para San Carlos, Tamps. (0.046g y 0.027 g en pesos de fruto y semillas); Cd, Juárez, Chih (5.82mm y 6.42mm de ancho y largo y 10.6 semillas por fruto). En la germinación hubo diferencias altamente significativas en los factores evaluados: Las semillas de Mérida, Yuc. germinaron 73.33% , seguidas de Cd. Juárez, Chih y Mochis, Sin., con 47.08 y 38.03%. La germinación con KNO_3 fue 59.25%, mejor al ácido giberélico (22%) y el testigo (12.5%). En la interacción los ecotipos con KNO_3 Mérida, Mochis, Cd. Juárez, Imuris, Son, Mazatlán, Sin y Chinipas, Chih. germinaron desde 67.5 hasta 85% . Se concluye que el nitrato de potasio fue el mejor promotor de la germinación.

Palabras clave

Ecotipos; Germinación; Nitrato de Potasio.

Introducción

El chile "piquín" o "del monte" (Capsicum annuum, L. var. glabriusculum Dierb.), considerado como el ancestro de todas las formas de chiles conocidos actualmente dentro de esta especie (jalapeño, serrano, ancho, pasilla, guajillo, de árbol, etc.), se encuentra ampliamente distribuido en forma silvestre en México, principalmente en las zonas bajas (Rodríguez, *et al*., 2003). El nombre más común y debido a su gran parecido entre sus subespecies este cambia de nombre común conforme a la región donde se encuentre, por lo que se le conoce como: chile piquín, chiltepín, chiltepillo, chitepec, milichili, chile mosquito, diente de tlacuache, pico de pájaro o de paloma, chile bravo, chile del monte, chile enano, chile diente, entre otros (Araiza, *et al*., 2011). Las semillas de esta especie contienen una cutícula cerosa dura y la presencia de inhibidores naturales, que dan lugar a una

germinación menor de 5%; esta impermeabilidad provoca una latencia que es necesario romper por varios métodos (INIFAP 2004; López 2013; González *et al.*, 2015).

En una evaluación el INIFAP (2004) remojaron semillas por 24h en una solución comercial de ácido giberélico (AG) a 5000 ppm logrando entre 60 a 80% de germinación a los 15 y 20 días. Mientras que Araiza *et al*. (2011) usando AG a 400 ppm, a 35 °C y un período de 10 h luz, a los 16 días tuvo 65% de germinación y el testigo con 47% hasta las ocho semanas. López (2013) evaluó cinco métodos para romper la dormancia; con AG a 5000ppm logró el mayor porcentaje de germinación con varios orígenes de semilla, sobresaliendo el de Mérida, Yuc. Osuna *et al*. (2015) y trataron las semillas con ácido clorhídrico y nitrato de potasio, además de evaluar el efecto que se presentaba con una variación de la temperatura; encontraron que el nitrato de potasio y el ácido clorhídrico fueron los únicos en presentar un resultado favorable en la germinación en condiciones de laboratorio.

El Objetivo de esta investigación fue caracterizar los frutos de 10 ecotipos de chile piquín y determinar los porcentajes de germinación de las semillas con tratamientos químicos como promotores de la germinación.

.

Materiales y Métodos

Los ecotipos de chile piquín se obtuvieron de 10 diferentes localidades de la República Mexicana: Cd. Obregón, Son., Ímuris, Son., Cd Juárez, Chih., Chínipas, Chih., San Carlos, Tamps., Mazatlán, Sin., Mochis, Sin., Otáez, Dgo., Sierra de Oaxaca y Mérida, Yuc. Se seleccionaron aleatoriamente 25 frutos de cada colecta y se les determinó, el peso (g), ancho (mm), largo (mm), número de semillas por fruto, peso de semillas (g) y relación del peso de semillas y peso de fruto (%).Para seleccionar las semillas y evaluar la germinación, se colocaron en vasos de precipitado con 500 mL agua, por 30 minutos separando las semillas vanas (las que flotaron) de las viables (Araiza, *et al*., 2011). Después se secaron con papel y en una segunda inspección se eliminaron las que mostraban daños físicos. Los tratamientos aplicados fueron:

Nitrato de potasio (KNO_3 Se preparó la solución de nitrato de potasio (ACS, Caisson Labs®) a una concentración 1 M en 500 mL de agua destilada. Esta solución fue fraccionada en 10 vasos de precipitado, para remojar las semillas de cada ecotipo por 24 h (Cano *et al*., 2015).

Ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$) Una solución de ácido giberélico (Gibiotin® -Biochem) fue preparada a una concentración de 500 ppm en 500 mL de agua destilada. Se sumergieron las semillas por un lapso de 24h en vasos de precipitado con 50 mL (Cano *et al*., 2015).

Agua (Control) Durante 24h, las semillas estuvieron sumergidas en agua potable, funcionando como el tratamiento control para el experimento.

Germinación en cajas de Petri Al terminar los tratamientos químicos, se colocaron las semillas en cajas de Petri, con papel filtro humedecido. Las cajas se distribuyeron en mesas del laboratorio Bajo un diseño completamente al azar con un arreglo factorial de 10 x 3 con 4 repeticiones. Las cajas se cubrieron con parafilm, para evitar la evaporación y facilitar la germinación. Con luz encendida las 24 horas, a una temperatura de 25 ± 2 °C. por 25 días. Se consideró como semilla germinada la que presentaba las dos hojas cotiledonales y la raíz principal (Cano *et al*., 2015). Se realizaron análisis de varianza para las características de los frutos y el porcentaje de germinación, la separación de promedios con la prueba de Tukey al 0.05 de significancia. Se usó el paquete estadístico SPSS v-23.

Resultados y Discusión

En el Cuadro 1 se reportan los promedios de las características de los frutos y la separación de grupos de acuerdo a la prueba de Tukey. Se observa que el peso de fruto del ecotipo Otáez, Dgo. fue el de mayor con 0.235g, mientras el menor fue San Carlos, Tamps, con 0.046g. En ancho de fruto, los genotipos de Otáez y el Chínipas fueron los más anchos con 8.592 y 8.180 mm, contrastando con los de Mérida y Ciudad Juárez con un ancho de 5.820 mm y 5.833 mm, respectivamente. Los frutos más largos fueron los de Otáez con 13.560 mm, mientras Cd. Juárez con 6.424 mm. fue el menor. Estas mismas colectas presentaron los valores más altos y bajos con 38.04 y 10.60 semillas por fruto. Las semillas más pesadas fueron para Otáez, con 0.146g y las menores para San Carlos 0.027 g y Juárez con 0.029 g. Todas estas características coinciden con lo señalado por varios autores como INIFAP (2004); Araiza *et al.* (2011) y López (2013) Quienes han encontrado una gran amplitud entre y dentro de los genotipos evaluados. Estas características son las más deseables para cualquier programa de mejoramiento genético. En la relación de peso semilla/fruto, prácticamente todos fueron iguales desde 63.198% hasta 56.595% el único diferente al resto del grupo fue Ciudad Juárez con de 42.929%.

Cuadro 1. Promedios de las características de los frutos y la semilla de chiltepín, según la prueba de Tukey, para separar por grupos homogéneos.

Ecotipo	PESO FRUTO (g)		ANCHO (mm)		LARGO (mm)		Semillas por fruto		PESO SEM (g)		REL % SEM/FRUT	
Obregón	0.154	b	7.436	b	8.178	c	23.24	bc	0.078	b	62.854	a
Ímuris	0.066	de	6.253	def	6.893	de	10.68	e	0.038	de	57.939	a
Cd. Juárez	0.064	de	5.820	f	6.424	e	10.60	e	0.029	e	43.929	b
Chínipas	0.108	bcd	8.180	a	8.180	c	18.80	cd	0.068	bc	62.414	a
San Carlos	0.046	e	5.898	ef	6.774	de	15.24	de	0.027	e	56.595	a
Mazatlán	0.087	cde	6.473	cde	7.046	cde	16.20	d	0.056	cd	63.198	a
Mochis	0.115	bcd	7.063	bc	7.748	cd	19.12	cd	0.068	bc	58.445	a
Otáez	0.235	a	8.592	a	13.568	a	38.04	a	0.145	a	60.973	a
Oaxaca	0.123	bc	6.686	cd	13.220	ab	26.00	b	0.075	bc	60.576	a
Mérida	0.071	cde	5.833	f	12.257	b	14.72	de	0.043	de	60.838	a

Los ecotipos con la misma letra, por cada variable, indican que estadísticamente son iguales Tukey 0.05.

Los análisis de varianza para los factores tratamientos químicos, ecotipos y la interacción resultaron con diferencias altamente significativas en la prueba de germinación. En la Figura 1A se notará que con KNO_3 se logró el mayor porcentaje con 58.25,% seguido de AG con 22% y el control el 12.5%, demostrando que el KNO_3 se puede recomendar como un buen tratamiento para escarificar la semilla como lo señalan Osuna *et al.* (2015), Magnistkiy y Ligarreto, (2007) y Andrade *et al*., (2008). Los resultados con nitrato superan a los de Osuna *et al*., (2015), similares a los de Cano *et al*. (2015), e inferiores a los de Andrade *et al.*, (2008). El problema de la disminución de germinación con AG quizá se deba a la calidad del producto y a la baja concentración usada, (8.2% AG). Comparada con los trabajos de INIFAP (2004) y López (2013) con 5000 ppm lograron hasta un 85% de germinación. En la Figura 1B se observan los porcentajes de germinación de los 10 ecotipos, donde Mérida con 73.33% superó ampliamente a los otros, tal y como lo indican López (2013) y Cano *et al.* (2015) El menor porcentaje fue para la Sierra de Oaxaca con tan solo 6.66%.

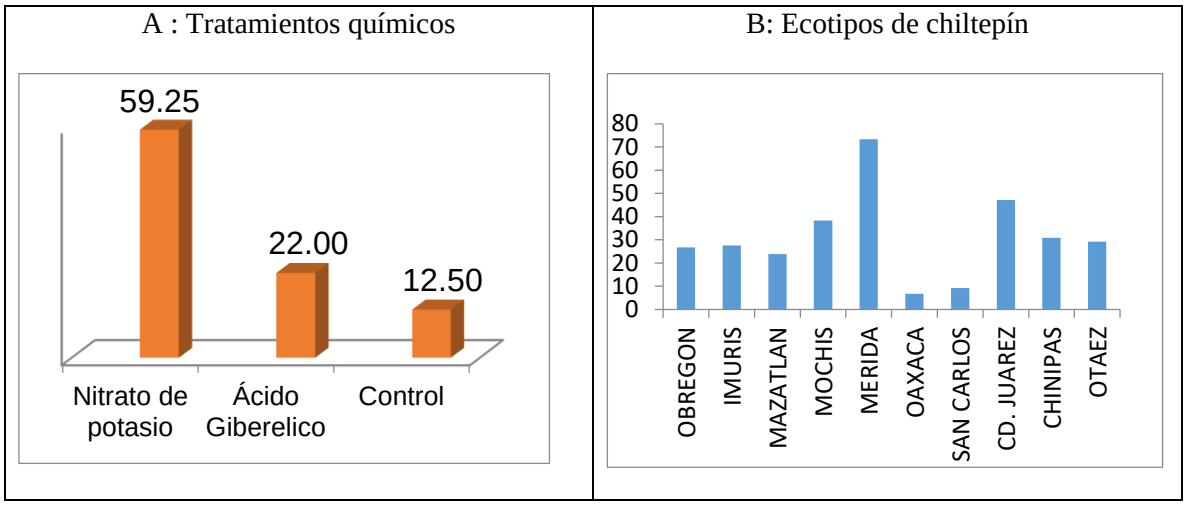


Figura 1 A y B. Porcentajes de germinación de semillas de chiltepín, evaluando dos factores: (A) tratamientos químicos y (B) ecotipos.

Los resultados más sobresalientes en la interacción fueron con KNO_3 para los ecotipos de Mérida, Mochis, Cd. Juárez, Ímuris, Obregón, Mazatlán y Chínipas con porcentajes desde el 85, 83.75, 73.75, 72.50, 72.50, 68.75 y 67.50% respectivamente; aunque en este mismo grupo se encuentra Mérida con AG (68.75%) y el control con 66.25%. Con esto se demuestra que el nitrato es un buen promotor de la germinación en cualquier genotipo de chile piquín.

Conclusiones

La germinación de 10 ecotipos de chiltepín en cajas de Petri se pudo contrastar con el efecto del nitrato de potasio, el ácido giberélico y un control con agua. En términos estadísticos en el ecotipo de Mérida, Yuc. se encontró la mejor respuesta con un 73.33% de germinación; seguido de Cd. Juárez, Chih. y Mochis, Sin. El mejor tratamiento químico fue el KNO_3 con 59.25% de germinación, independientemente del genotipo utilizado. Mientras que el ácido giberélico y el control tuvieron un 22% y 12.5% respectivamente. Por lo tanto, se considera el nitrato de potasio como una opción viable para promover la germinación en semillas de chile piquín. Esto se demostró al comparar las interacciones entre genotipos y productos usados, donde el KNO_3 fue el mejor para todas las colectas evaluadas con valores desde 85% a 67%. Mientras que el único ecotipo que no se afectó por los tratamientos fue el de Mérida ya que con los tres tratamientos la respuesta fue similar en términos estadísticos, 85% con KNO_3, 68.75% con ácido giberélico y 66.25% con el control. Las semillas de Obregón y Mazatlán no germinaron cuando se aplicó el tratamiento control.
En las características del fruto los de Otaez, Dgo. superaron al resto de los genotipos en las variables medidas de peso, ancho, largo, número y peso de semillas. Se encontró que algunas características de los frutos alcanzaron una correlación altamente significativa entre el peso del fruto y la cantidad de semillas (r = 0.736 **); ancho del fruto y peso de las semillas (r = 0.782**) y el número y peso de las semillas (r= 0.875**).

Referencias

Andrade – Rodríguez, M., Ayala - Hernández, J. J., Alia - Tejacal, I., Rodríguez-Mendoza, H., Acosta-Durán, C. M. y López – Martínez, V. 2008. Efecto de, promotores de la germinación y sustratos en el desarrollo de plántulas de papayo. *Facultad de agronomía*. 25: 617 – 635.

Araiza-Lizarde, N., Araiza-Lizarde, E. y Martínez-Martínez, J. G. 2011. Evaluación de la germinación y crecimiento de plántula de chiltepín (Capsicum annuum L variedad glabriusculum) en invernadero: Rev. Colombiana de Tecnología. 13: 170-175.

Cano -Vázquez, A., López - Peralta, M., Zavaleta - Mancera, H. A., Cruz - Huerta, N., Ramírez- Ramírez, I., Gardea – Gardea - Béjar, A. González - Hernández, V. A. 2015. Variación en grados de latencia en semillas entre colectas de chile piquín (Capsicum annuum var. glabriusculum). *Botanical Sciences*, 93(1), 175-184.

González - Cortés N., Jiménez – Vera, R., Guerra –Baños, E .C., Silos – Espino, H., Payro de la Cruz E. 2015. Germinación del chile amashito (Capsicum annuum L. var. Glabriusculum) en e l sureste mexicano. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. Núm. 11: 2211-2218.

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2004. Tecnología de producción del Chile piquín en el noreste de México. México. Folleto técnico Núm. 29. 35 p.

López- Valdez, A.P. 2013. Efecto de un gradiente de elevación, procedencia y temperatura en la germinación de semillas de chile piquín (capsicum annuum l. var. glabriusculum (dunal) heiser y pickersgill) Tesis UANL. Linares, N.L.

Magnitskiy, S. V. y Ligarreto, G. A. 2007. El efecto del nitrato de potasio, del ácido giberélico y del ácido indolacético sobre la germinación de semillas de agraz (Caccinium meridionale Swartz). *Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 1:137-141.

Osuna-Ávila, P.; López-Rodríguez, E.; Corral-Díaz B.; Flores-Margez, J. P. y Olivas, Enríquez. E. 2015. Germinación de chile piquín bajo diferentes ambientes físico - químicos en Ciudad Juárez, Chihuahua. Memorias del XL Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. San Luis Potosí, SLP. 365-369.

Rodríguez del Bosque., L. A., Ramírez M., M, y Pozo C., O. 2003. El cultivo del chile piquín bajo diferentes sistemas de producción en el noreste de México. I.er Simposio Regional sobre Chile Piquín: Avances de Investigación en Tecnología de Producción y Uso Racional del Recurso Silvestre. Río Bravo, Tamps., México.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

FUENTES NATURALES DE CALCIO PARA MEJORAR LA PRODUCCION Y CALIDAD EN MANZANO "TOP RED"

Velásquez-Espino, C.[1*]; Soto-Parra, J. M.[2]; Sánchez-Chávez, E. [3]; Piña-Ramírez, F. J.[4]; Yáñez-Muñoz R. M. [4]Pérez-Leal, R[4]; Flores-Córdova, M.A.[4]

[1]Alumna de Maestría de Ciencias de la Productividad Frutícola. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas Universidad Autónoma de Chihuahua 1. Chihuahua, Chihuahua. Méx.
[2]Profesores-Investigadores. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas 2. Chihuahua, Chihuahua. Méx.
[3]Investigador 3. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo Unidad Delicias.Delicias, Chihuahua. Méx.
[4]Profesores-Investigadores. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas 2. Chihuahua, Chihuahua. Méx.

*Autor responsable: civez94@hotmail.com; Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, UACH, Av. Pascual Orozco s/n, Campus 1, Santo Niño, Chihuahua, Chih., México. CP 31200; Tel. +52(614)-486-2534

Resumen

En Chihuahua, México, la produccion de Manzana, se hace predominante con más del 80% del País con 586,593 toneladas. La nutrición del suelo-planta juega un papel de importancia para lograr cosechas abundantes con un mejor contenido nutricional en plantas. El suministro adecuado de nutrientes, ayuda alcanzar el potencial de la calidad de desarrollo de planta-fruto. La conservación de la fertilidad del suelo es necesaria para mantener características de productividad que pierden después de cada cosecha, por este caso, las fuentes naturales de Calcio al suelo ayudan a conservar su fertilidad y a mejorar la calidad de hojas y frutos. El estudio se realizó en manzano 'Top Red' en una estructura Taguchi L25 con 6 factores y 5 niveles por factor: $CaCO_3$_V 0, 60, 300, 600, 1200 kg ha-1, $CaSO_4$_s 0, 60, 300, 600, 1200 kg ha^{l1}; humus de lombriz 0, 360, 1800, 3600 y 7200 kg ha-1, lixiviado de lombriz 0, 50, 250, 500, 1000 L ha^{-1} y micorrizas 0, 3, 15, 30 y 60 kg ha^{-1}; se evaluó rendimiento y calidad de fruto en cosecha por superficie de respuesta. Se obtuvo un rendimiento de 89.6 t ha^{-1} con potencial de 177.6 t ha^{-1} de manzana con respuesta para sólidos solubles y acidez titulable que definen el sabor y expectativas de almacenamiento; la dosis recomendada por hectárea es 839.9 kg CaCO3, 299.3kg CaSO4·2H2O, 5779 kg humus lombriz, 1000 L de lixiviado de lombriz y 30 kg de micorrizas, fue importante evaluar su efecto en postcosecha para ajustar una dosis de amplio espectro.

Palabras clave: Fuentes naturales; $CaCO_3$; $CaSO_4$·, humus y lixiviado lombriz; micorrizas; rendimiento; calidad de fruto.

Introducción

El manzano *Malus sylvestris* (L.), es un frutal cultivado en México ocupa el 20° lugar en producción mundial, de acuerdo con el cierre 2017, esta fruta presentó una producción total de 714,140 toneladas, con un valor de 4.66 mil millones de pesos, en una superficie cosechada de 54,248 hectáreas (SIAP-SAGARPA, 2018), del volumen nacional recolectado, respectivamente Chihuahua, aportó 89.2% con una producción de 5889,227 toneladas /ha (SIAP- SAGARPA, 2018).

La producción frutícola requiere del uso extensivo del recurso del suelo y su manejo debe contemplar prácticas sustentables, como son las fuentes naturales (Aruani *et al*, 2006).
En frutales el calcio (Ca) desempeña un papel fundamental, pues afecta la calidad del producto y su resistencia de almacenamiento después de la cosecha (Pérez *et al*, .2008).Hay una relación directa entre el contenido de Ca y de los frutos, la firmeza y el tiempo de vida útil en anaquel, cuando el contenido de Ca en fruto es bajo, hay un aumento del metabolismo respiratorio, la maduración y senescencia, (Reyes *et al.*, 2017).
La conservación de la fertilidad del suelo es una tarea necesaria para mantener sus características de productividad después de cada cosecha. Eso implica restituir al suelo las sustancias que se pierden por causa de los procesos de nutrición de las plantas al desarrollarse. Uno de los métodos empleados para minimizar está perdida consiste en la incorporación de materia orgánica comportadas. Estas son el resultado de un proceso de conversión de humus de la materia orgánica que tiene lugar por acción de microorganismos (Bernal *et al.*, 2004). se traduce en un mejoramiento de la calidad de fruto en cosecha y postcosecha, resultado de una mejora en la fertilidad del suelo y contenido nutricional foliar (Soto *et al*.,2016).
Existe una relación directa entre el contenido de Ca y de los frutos, la firmeza y el tiempo de vida útil en anaquel, (Pérez *et al*., 2008).

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en el municipio de Cuauhtémoc Chih 28°27'31.00",-106°54'28.00". Se utilizaron árboles de manzanos “Top Red”, plantados en el año1988, ubicados en la Huerta campo 22, el sistema de plantación es de Tresbolillo 4.70 X 4.70 X 3.70 m con una densidad de 30 ha, de 625 árboles ha^{-1} y el área experimental fue de 0.3 ha.
Las características del suelo son arena 50.688%, limo 19.840%, arcilla 29.472%, clasificación migajón fuertemente Arcilla /Fte arenosa; pH CaCl2 0.01 M 6.39 ligeramente ácido, materia orgánica 1.55% Medio, C.E. 0.70 mmhos cm-1, N-NO3 138.75 kg ha-1, P 18.70 kg ha-1, K 637.50ppm, Ca 4075.0 ppm, Mg 1287.50 ppm, Na 312.5 ppm, Cu 3.46 ppm, Fe 3.08 ppm, Mn 5.02 ppm, Zn 7.58 ppm. Dada la naturaleza factorial de la estructura Taguchi empleada, Se utilizó un experimento factorial con seis factores, a cinco niveles, bajo una estructura Taguchi L25 con 25 tratamientos de acuerdo a los siguientes factores y niveles: se utilizó dos fuentes de Carbonato de calcio (CaCO3 Velgis Marmolina y Cementos Chihuahua), dos fuentes de Sulfato de calcio (CaSO4 Solugyp y Cementos chihuahua), humus de lombriz, lixiviado de Lombriz y micorrizas.
Se midió: Calidad de fruto en Postcosecha, (4-6 meses en Atmosfera controlada), Produccion y acabado de fruto t/ha, y Contenido nutricional foliar (pulpa y cascara).

Se realizaron dos aplicaciones de los tratamientos, la primera fue en postcosecha 2017 (octubre a noviembre con 7 aplicaciones) y la segunda fue en mayo 2017; la cosecha se realizó en agosto (150 días después de completa floración, la fecha de completa floración fue en marzo, con un adelanto de alrededor de 15 a 20 días, inédito para esta región y variedad).
Las variables de respuesta en cosecha fueron rendimiento en t ha^{-1} y calidad de fruto (se dejó siete días a temperatura ambiente y entonces se evaluó la calidad que conlleva implícito vida de anaquel) para peso de fruto (g) color del fruto (%, escala de seis valores desarrollada por Rodríguez et al., 2001) firmeza de la pulpa (lb in2), sólidos solubles totales (°Brix), acidez titulable (% de ácido málico) y relación azúcar acidez.

Resultados y Discusión

Para que esta fruta pueda completar su capacidad de almacenamiento y una buena vida de anaquel, tiene que contar con una buena nutrición, tamaño, color, forma y sobre todo evitar malformaciones por daño de rosetado, corona de hielo, de clorofila, de lenticelas prominentes, punto rojo, entre otros), tienen que tener más firmeza (crujientes), más jugosos y dulces (balance adecuado azúcar ácido) y sobre con capacidad de almacenamiento tal que salga (después de 3 a 4.5 meses en atmósfera convencional, de 6 a 8 y hasta 10 a 11 meses en atmósfera controlada).

En el cuadro 1. Se puede observar la respuesta máxima de produccion, la respuesta obtenida para el análisis de regresión y para los factores: Humus liquido, $CaCO_3$ (cementos chihuahua), humus sólido y micorrizas. La media general fue de 141.09 t ha^{-1}.

Cuadro 1. Superficie de respuesta máximo[1] tratada con enmiendas minerales, orgánicas y microorganismos promotores del desarrollo vegetal con humus de lombriz liquido como factor de señalización. En manzano 'Top Red'. Calidad cosecha 2017

		Factores						
Regresión		Hu_Liq	$CaCO_3$_V	$CaCO_3$_C	$CaSO_4$_c	$CaSO_4$_S	Hu_Sol	Mico
		0.4360	0.5526	0.4504	0.3600	0.2398	0.1939	0.7824
Lineal (L)[X]	0.1978[V]	L						
Cuadrática(C)	0.6350			Hu_Sol	$CaSO_4$_S			
Productos	0.7782							
Modelo	0.6249							
		R^2 0.3780		C.V. 19.68		µ141.09		
Análisis canónico de la superficie de respuesta								
Predicho punto fijo		Valores críticos						
209.9661		2330.59	-244.31	-261.13	123.63	-60.03	683.47	-120.03
Valores predichos								
t ha^{-1}	Error E.	Kg ha^{-1}						
51.6	52.221	1000.0	300.0	300.0	100.0	100.0	3600.0	30.0
61.6	48.889	1004.3	285.3	302.1	97.1	92.4	3510.3	29.3
71.0	46.051	1009.7	267.0	306.4	95.3	85.2	3455.9	28.6
80.1	43.411	1015.1	243.1	316.6	94.8	79.3	3473.6	27.9
89.6	40.647	1019.1	215.1	334.2	95.2	76.1	3576.1	27.4
100.2	37.696	1021.5	187.4	355.0	95.9	74.9	3716.7	27.0
112.3	34.795	1023.1	161.3	375.9	96.7	74.7	3863.6	26.7
126.0	32.404	1024.2	136.6	396.4	97.4	74.9	4009.4	26.5
141.5	31.201	1025.1	112.8	416.5	98.1	75.4	4153.0	26.3
158.7	31.958	1025.9	89.6	436.3	98.7	76.0	4294.6	26.1
177.6	35.193	1026.6	66.8	455.7	99.3	76.7	4434.6	25.9
Porcentaje de incremento (+) – decremento (-) con respecto a la media simple								
+243.7		+2.6	-77.7	+51.9	-0.7	-23.3	+23.1	-13.6

[U]Superficie de respuesta máxima, análisis de cordillera (Ridge). µ Media general, C.V. Coeficiente de variación, R^2 Coeficiente de determinación. [V]Probabilidad de F: Pr ≥ 0.05 No significativo, Significativo 0.05 ≤ Pr ≤ 0.01. Altamente significativo Pr ≤

0.01. [X]Respuesta (Pr > |t|) significativa lineal (L), cuadrática (C); [Y]Productos significativos de ese factor con el resto. Fuentes: $CaCO_3$_V marmolina 0.5952 CaO, 0.0012 Na_2O, 0.0744 SiO_2, 0.0009 Fe_2O_3, 0.0209 Al_2O_3; $CaCO_3$_C carbonato de calcio Cementos de Chihuahua 0.5500 CaO, 0.0016 Na_2O, 0.0825 SiO_2, 0.0054 Fe_2O_3, 0.0163 Al_2O_3, 0.0109 MgO; $CaSO_4$, sulfato de calcio Cementos de Chihuahua (Yeso Agrícola) 0.3281 CaO, 0.0013 MgO, 0.0045 SiO2, 0.0006 Fe2O3; CaSO4_S (SoluGYp) 0.3131 CaO, 0.0072 MgO, 0.0013 SiO_2, 0.0021 Fe_2O_3, 0.0012 K_2O; Hu_Liq Humus de Lombriz liquido (OptiHumus[MR]) pH 8.20, CE 4.06 dS m^{-1}, M.O. 0.11%, C 0.06%, relación C/N 3.13, Nt 0.02%, P 0.01%, K 0.13%, Ca 0.01%, Mg 0.004%, Na 0.02%, Cu 0.60 mg L^{-1}, Fe 3.70 mg L^{-1}, Mn 1.10 mg L^{-1}, Zn 0.11 mg L^{-1}, B 7.33 mg L^{-1}; Hu_Sol Humus de lombriz sólido (OptiHumus[MR]), pH 8.12, CE 10.16 dS m^{-1}, M.O. 21.70%, C 12.59%, relación C/N 6.57, Nt 1.91%, P 0.96%, K 1.68%, Ca 3.52%, Mg 1.35%, Na 0.27%, Cu 34.04 mg L^{-1}, Fe 11850.3 mg L^{-1}, Mn 458.8 mg L^{-1}, Zn 173.7 mg L^{-1}, B 164.7 mg L^{-1}; Micorrizas (Sehumic-Vam[MR], *Acaulospora scobiculata, Gigaspora margarita, Glomus fasciculatum, G. constrictum, G. tortuosum, G. geosporum* con 20,000 esporas viables kg^{-1}). Valores críticos en negrillas son los eigenvectores de mayor peso para ese eigenvalor.

El resumen de las variables evaluadas que se presentan en el cuadro 2, las respuestas más de definitoria se dio en rendimiento, que señala el impacto de las enmiendas cálcicas, orgánicas y humus solido de lombriz promotores de la fertilidad del suelo sobre la producción de manzano.
Sin embargo con el humus líquido y microorganismos potenciadores de la fertilidad del suelo, hubo menos significancia.

Cuadro 2. Resumen de la superficie de respuesta para la producción y calidad en cosecha del Comportamiento de fruto de manzana Top Red 2017

	Hum líquid 1000	$CaCO_3$ Velgis 300[V]	$CaCO_3$ GCC 300	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$ GCC 200	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$ YINSA 200	Hum. Solido 3600	Micorrizas 30	Eigenvectores Total	Eigenvectores Prop. + / -
				Diámetro					
11.6[W]		---	++		+++			8	5 / 3
9.7			++	++	--			6	4 / 2
-6.6		+++			++			5	5 / 0
-11.1			-	+++	++			6	5 / 1
Frecuencia	0	6	5	5	9	0	0	25[X]	19 / 6
Kg ha^{-1}	1065	384.2	328.4	137.8	14.4	3011	27.6		
				Peso de fruto					
63.9		---	++			+		6	3 / 3
36.2		+		++	---	++		8	5 / 3
-40.1				+++	+++	+		7	7 / 0
Frecuencia	0	4	2	5	6	4	0	21	15 / 6
Kg ha^{-1}	1027	66.8	455.7	99.3	76.7	4435	25.9		
				Color					
10.1		+++	--		-			6	3 / 3
4.9		++	+	++	-	--		8	5 / 3
-8.9		+	+++	--			+	7	5 / 2
Frecuencia	0	6	6	4	2	2	1	21	13 / 8
Kg ha^{-1}	954	122.3	443.8	126.4	109.5	1978	19.0		
				Firmeza					
17.7		--			+++	+		6	4 / 2
12.4		+	-	+++				5	4 / 1
-6.1			++		-	++	++	7	6 / 1
-10.6			++	+	++	--	+	8	6 / 2
Frecuencia		3	5	4	6	5	3	26	20 / 6
Kg ha^{-1}	1059	259.4	163.0	112.6	161.5	5779	27.2		
				Sólidos solubles totales (SST)					
54.6			+++				+++	6	6 / 0
-31.8		+++	-		-			5	3 / 2
-63.8		+		++	++	+++		8	8 / 0

Frecuencia		4	4	2	3	3	3	19	17 / 2
Kg ha^{-1}	1000	311.5	263.1	112.3	112.3	4350	29.9		
				Acidez titulable (AT)					
69.9			+++	++			+	6	6 / 0
-50.6		+++			-	--		6	3 / 3
-90.4		++		+		+++		6	6 / 0
Frecuencia	0	5	3	3	1	5	1	18	15 / 3
Kg ha^{-1}	1000	300.0	300.0	100.0	100.0	3600	30.0		
				SST / AT					
42.6		++				+++		5	5 / 0
24.6		+++			-	--		6	3 / 3
-32.4			++	+++	++	-		8	7 / 1
Frecuencia	0	5	2	3	3	6	0	19	15 / 4
Kg ha^{-1}	1000	300.0	300.0	100.0	100.0	3600	30.0		
				Resumen					Total
Subtotal	0	33^{Y}	27	26	30	25	8	149	149
Selección	0 / 0	6 / 1	4 / 3^{Z}	3 / 4	3 / 4	4 / 3	0 / 7		proporción + / -
Porporción +/-	0 / 0	25 / 8	22 / 5	24 / 2	19 / 11	16 / 9	8 / 0		114^{X} / 35
Mínimo kg		66.8	163.0	99.3	14.4	1978	19.0		
Máximo kg		384.2	455.7	137.8	161.5	5779	30.0		

Conclusiones

Se obtuvo un rendimiento promedio de 177.6 t ha^{-1} con un potencial de manzana con incidencia sobre calidad del fruto para: peso, diámetro, color, firmeza, sólidos solubles totales y acidez titulable relación azúcar-acidez que en su conjunto definen el sabor característico de la variedad y expectativas de almacenamiento, por lo que es importante corroborar su efecto en postcosecha.

A pesar de su buena capacidad de conservación, al igual que todos los productos, tienden a perder calidad cuanto más tiempo pasa. La sensación de 'harenosidad' en las manzanas es una característica varietal pero también aumenta con la conservación. Es importante evaluar su efecto sobre la calidad de fruto en postcosecha, así como la inclusión de otras enmiendas para disminuir la fertilización inorgánica y costos de producción.

Las fuentes naturales de calcio aplicadas al suelo, dan un valor nutrimental, suelo-planta dando como resultados cosechas más abundantes en cuanto a calidad y cantidad.

Agradecimientos Al Doctor Juan Manuel Soto Parra, por la dedicación y el apoyo en esta investigación.

Referencias

Aruani M.C., Sánchez E y Reeb P. 2006. Cambios en las propiedades de un suelo franco bajo producción orgánica de manzano utilizando coberturas vegetales. CI. Suelo (Argentina) 24(2) 131-137.

Bernal P., Juan Giovanni; Hoyos C., Ángela María; Barba Ho., Luz Edit.; Díaz Ortiz, Jaime Ernesto; (2004). Influencia de imanes permanentes en la variación de la materia orgánica y la actividad microbiana de tres enmiendas orgánicas. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, Sin mes, 27-31.

Pérez-Pérez, E., Nava, A., González, C., Marin, M., Sandoval, L., Casassa-Padrón, A. M.,... & Fernández, C. (2008). Efecto de la aplicación de sulfato de calcio y materia orgánica sobre la incidencia de la pudrición apical de la guayaba (Psidium guajava L.). Revista de la Facultad de Agronomía, 25(3), 507-524.

Reyes-Medina, A., & Pinzón, E., & Álvarez-Herrera, J. (2017). Effect of calcium chloride and refrigeration on the quality and organoleptic characteristics of cape gooseberry (Physalis peruviana L.). Acta Agronómica, 66 (1), 15-20.

SIAP, S. (2018). Manzana: México produjo 714,140 toneladas en 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 3.

Soto Parra, J. M., Piña Ramírez, F. J., Sánchez Chávez, E., Pérez Leal, R., & Basurto Sotelo, M. (2016). Fertirrigación con macronutrientes en manzano 'Golden Delicious': Impacto en rendimiento y calidad de fruto. Nova scientia, 8(16), 162-180.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

RELACIÓN ENTRE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO Y CARBONO DE BIOMASA MICROBIANA DE SUELOS RIBEREÑOS DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA LOS VOLCANES

Cruz-Flores, G.[1*]; Santiago-Aguilar, I.[2] Valderrábano-Gómez[2]Juan Manuel, López-López Alma Bella, Guerra-Hernández Eloisa A.

[1]Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. Ciudad de México. México.
[2]Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. Ciudad de México. México.

* Autor responsable: edaynuve@gmail.com; Calle Batalla 5 de mayo S/N esquina Fuerte de Loreto Núm. , Col. Ejército de Oriente, Ciudad de México, México. CP 09230; Tel. 01 5623 0700 # 39183

Resumen

Los parámetros bioquímicos se emplean para determinar la calidad de los suelos, entre los que podemos destacar aquellos que se definen en función del carbono orgánico del suelo y el carbono de biomas microbiana, el qCO_2. Esta investigación se llevó a cabo en un sistema ribereño entre 2400 y 4000 m en la Reserva de la Biosfera los Volcanes. Se muestreo a uno y cinco metros de amplitud y en ambas exposiciones de ladera suelo para determinar pH activo, conductividad eléctrica densidad aparente, carbono orgánico del suelo (COS) y carbono de biomasa microbiana (CBM). Así como también se tomaron muestras de mantillo para cuantificar el carbono. Con los resultados de COS y CBM se calculó el qCO_2. Estos datos se sometieron a un análisis estadístico con $p \leq 0.05$. COS y CBM mostraron correlaciones simples solo con propiedades ambientales como la altitud, temperatura ambiental, temperatura del suelo y pH activo, mientras que el qCO_2 se correlaciono con el COS y CBM. En cuanto al análisis de varianza y pruebas de Tukey, no mostraron diferencias significativas.

Palabras clave Carbono microbiano; coeficiente metabólico; Áreas Naturales Protegidas.

Introducción

La relación entre carbono de biomasa microbiana (CBM) y carbono orgánico del suelo (COS) se la denomina coeficiente microbiano (CBM/COS) (también se puede representar como qCO2). Este cociente proporciona una medida de la dinámica de la materia orgánica del suelo y puede ser empleado como indicador de la pérdida o acumulación neta de carbono (Anderson y Domsch, 1986). El carbono proviene de la materia orgánica del suelo, este comprende un amplio rango de sustancias carbonadas, incluyendo: la biomasa microbiana, restos vegetales y/o animales en descomposición y mezclas amorfas coloidales de sustancias orgánicas complejas de alto peso molecular (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas) (Picone, 2006). Muchas de estas sustancias carbonadas son utilizadas por los microorganismos, su actividad impacta en la dinámica de los ecosistemas, debido a que la comunidad microbiana juega un papel esencial en el proceso de transformación de la materia orgánica, el ciclo de los elementos y la estabilidad de la estructura del suelo (Marinari *et al*., 2000; Masciandaro *et al*., 1997).

Materiales y Métodos

El presente estudio se realizó en la Reserva de la Biosfera los Volcanes, en este se seleccionó un río de régimen permanente y sobre este se eligieron las cuatro zonas de muestreo distribuidos en un gradiente altitudinal de los 2400 m a los 4000 m. Para seleccionarlos se utilizó la carta topográfica de INEGI, E14B42 Huejotzingo-Puebla, además de recorridos y reconocimientos en campo.
Para la colecta de muestras se trazó un transecto de 30 m a lo largo del río y se determinó la exposición de ladera en cada lado del cuerpo de agua. En cada una de las exposiciones se trazaron seis amplitudes perpendiculares (tres a un metro y tres a cinco metros) sobre el transecto y en estas amplitudes se procedió a tomar las muestras. Con un marco de 25 cm × 25 cm se tomaron 12 muestras de mantillo en ambas exposiciones de ladera y amplitudes y se determinó el carbono almacenado por biomasa seca y el factor de conversión a carbono de 0.58. Con el suelo descubierto se tomó muestra para determinar densidad aparente del suelo por el método del cilindro (USDA, 1999). Se tomaron 12 muestras (en las distancias mencionadas y por cada una de las zonas de estudio) de suelo en las seis amplitudes mencionadas a una profundidad de 0-20 cm para determinar materia orgánica por el método de oxidación húmeda (Walkley y Black, 1934). Esta muestra también se utilizó para determinar pH activo y conductividad eléctrica utilizando los métodos reportados en Standard Soil Methods for Long-Term Ecological Research (Robertson *et al*., 1999). Se tomaron otras 12 muestras (por cada una de las zonas de estudio) en las mismas amplitudes pero a una profundidad de 0-10 cm y se procesaron con el método de fumigación-incubación y medición estequiométrica de CO2 (Powlson *et al*., 1987; Shan-Min *et al*., 1987).
Los datos de CM, COS, CBM y qCO_2 obtenidos en laboratorio se procesaron con un análisis de correlación simple de Pearson y un análisis de varianza, además de complementarlo con pruebas de Tukey ($p<0.05$).

Resultados y Discusión

Las cuatro zonas de estudio se encontraron a diferentes altitudes y presentaron diferentes tipos de vegetación. En 3961 m se localizó el zacatonal alpino con especies de los generos *Mhulenbergia* y *Festuca* asociados con *Pinus hartwegii*; en 3300 m corresponde a la zona conservada de bosque de *Pinus hartwegii*; en 2678 m es la zona de bosque fragmentado con agricultura, la cual cuenta con las especies *Buddleja cordata*, *Salix bonplandiana* y *Pinus ayacahuite*, por último en 2419 m se encontró la zona periurbana con agricultura, en la cual se encontraron las especies *Alnus acuminata*, *Prunus pérsica*, *Prunus salicifolia*, *Crataegus mexicana* y *Sambucus nigra*.
Los valores de pH fueron de 5.3 a 7.4 que los clasifica como suelos moderadamente ácidos a neutros; la conductividad eléctrica mostró efectos despreciables de salinidad (0.03 a 0.77 dS m^{-1}) (NOM-021-RECNAT, 2000) y respecto a la densidad aparente del suelo (DAs) se encontró de 0.7 a 1.7 g cm^{-3}, indicando una DAS que se encuentra en un intervalo de muy baja a muy alta (USDA, 1999).
El valor de qCO_2 presento correlaciones significativas con el carbono orgánico del suelo ($r^2 = 0.43$) y el carbono de biomasa microbiana ($r^2 = 0.57014$), mientras que el carbono en mantillo presento correlación con la altitud ($r^2 = -0.58$), temperatura ambiental ($r^2 = 0.64$) y la temperatura del suelo ($r^2 = 0.60$). De las correlaciones encontradas en el carbono en mantillo con la temperatura y la altitud, concuerda con lo que establecen Jonathan y Bolstad (2009) acerca de que los principales factores ambientales que determinan la respiración y descomposición de los componentes orgánicos son la humedad, temperatura, propiedades de los residuos orgánicos presentes en el suelo y las condiciones

edáficas particulares. En cuanto al análisis de varianza y pruebas de Tukey no mostraron diferencias significativas.

En referencia al qCO_2 y el contenido de carbono en mantillo, la Figura 1(A) muestra el qCO_2 es mayor en la zona de zacatonal alpino y de bosque fragmentado con agricultura mientras que en el bosque de *Pinus hartwegii* y la zona periurbana con agricultura es menor. Mocali *et al*., (2008) señalan que el qCO_2 representa una eficiencia microbiana para mineralizar materia orgánica del suelo. En la figura 1(B) corresponde al grafico del carbono en mantillo donde se aprecia que el carbono contenido en este reservorio es mayor (>5 Mg ha^{-1}) en el bosque fragmentado y la zona periurbana debido a la presencia de árboles caducifolios que aportan material vegetal, a diferencia del bosque de *Pinus hartwegii* y el zacatonal alpino donde del contenido es menor y no se encuentran especies caducifolias. Cruz y Etchevers (2011) reportaron entre 12 y 357 Mg ha^{-1} para estos bosques templados del PN-IP aunque su estudio no consideró sistemas ribereños que suelen perder capas de mantillo con el flujo del agua en los arroyos.

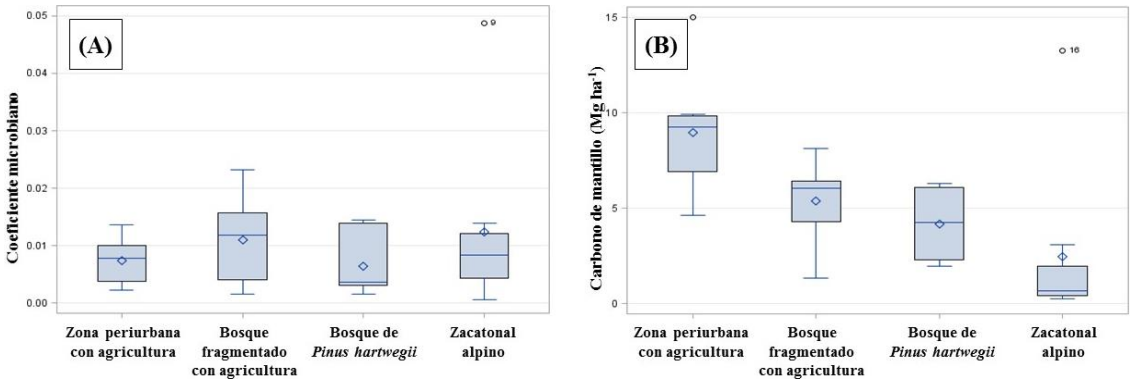


Figura 1. A-Coeficiente microbiano, B-Carbono de mantillo.

El carbono orgánico del suelo presento correlaciones simples significativas con características ambientales, tales como la altitud (r^2 = 0.37), temperatura ambiental (r^2 = -0.35), temperatura del suelo (r^2 = 0.34) y pH activo (r^2 = 0.51). Los datos presentados concuerdan con lo reportado por Ochoa *et al*., (1981) quienes encontraron una correlación positiva y altamente significativa entre la altitud de muestreo y el contenido de carbono en suelos venezolanos (r^2 = 0.768). Se apreció un comportamiento similar en el carbono de biomasa microbiana con correlaciones con la altitud (r^2 = 0.33) y la temperatura del suelo (r^2 = -0.32465). El análisis de varianza y las pruebas de Tukey no mostro diferencias significativas en ninguno de los dos contenidos.

Respecto a los contenidos de carbono orgánico del suelo en la Figura 2(A) se presenta el carbono orgánico del suelo donde se observó que el contenido es mayor (>70Mg ha^{-1}) el bosque de *Pinus hartwegii* y zacatonal alpino. Muhammad *et al*., (2007) reportaron que los bosques ribereños y pastizales mejorados en Colombia fueron los que presentaron un mayor contenido de carbono en suelos, reportando valores entre 52.3 y 81.3 Mg ha^{-1} respectivamente en comparación a otros tipos de vegetación con otros usos de suelo estudiados en Costa Rica y Nicaragua, mientras que en la zona periurbana y el bosque fragmentado, ambos con agricultura el contenido fue menor (<50Mg ha^{-1}). Sampson y Sacholes (2000) mencionan que las prácticas agrícolas son las que tiene una gran influencia en el almacenaje de carbono en el suelo o su liberación a la atmósfera como CO_2. En la

figura 2(B) se aprecia el contenido de carbono en biomasa microbiana es mayor (>0.36 Mg ha^{-1}) en el bosque de *Pinus hartwegii* y el zacatonal alpino, por lo tanto, es menor (<0.32 Mg ha^{-1}) en la bosque fragmentado y la zona periurbana.

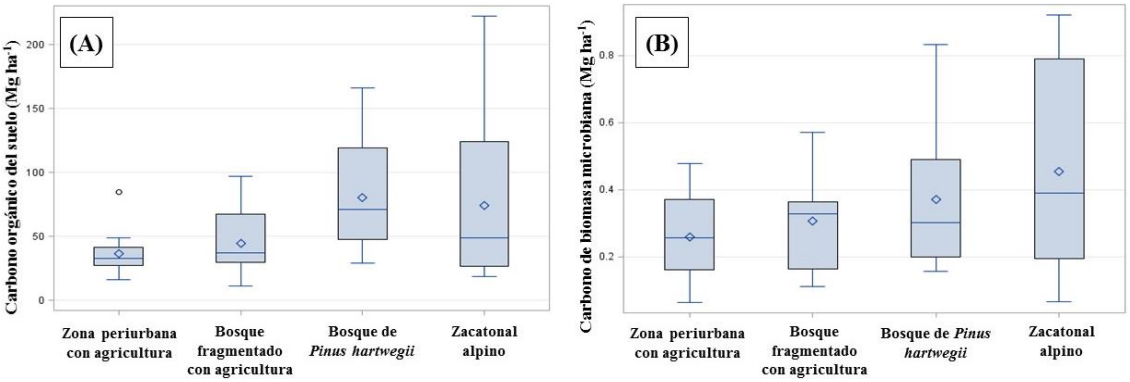


Figura 2. A-Carbono orgánico del suelo, B-carbono de biomasa microbiana.

La incidencia de la luz solar en las laderas y la amplitud de muestreo respecto al río no fueron variables que condicionaran el almacenamiento de carbono en los almacenes presentados en este estudio.

Conclusiones

El qCO_2 se encontró con valores diez veces mayores en el bosque fragmentado con agricultura y el zacatonal alpino que en la zona periurbana con agricultura y el bosque de *Pinus hartwegii*.
El contenido de carbono en suelo y biomasa microbiana tienden a incrementarse en sitios conservados y de mayores altitudes.
El carbono en mantillo es menor en las zonas conservadas a diferencia de aquellas zonas perturbadas de menor altitud donde encontramos las especies frutales caducifolias.

Agradecimientos
(Apoyo proyecto PAPIME PE 215016)

Referencias

Anderson, T.H. and Domsch, K.H. 1986. Carbon link between microbial biomass and soil organic matter. Perspectives in Microbial Ecology. Proceedings of the 4th International Symposium on Microbial Ecology, 1986 Ljubljana, Yugolsavia (1986). 467-471 pp.

Cruz, G. y Etchevers, J. 2011. Contenidos de carbono orgánico de suelos someros en pinares y abetales de áreas protegidas de México. Agrociecia. 45: 849-826.

Jonathan, G.M. and Bolstad, V. 2009. Variation of soil respiration at the tree spatial scales: components within measurements, intra-site variation and patterns on the landscape. Soil Biology and Biochemistry. 41: 530-543.

Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B. y Grego, S. 2000. Influence of organic and mineral fertilizers on soil biological and physical properties. Bioresource Technology. 72: 9-17.

Masciandaro, G., Cecanti, B. y García, C. 1997. Soil agro-ecological management: Fertirrigation and vermicopost treatments. Bioresource Technology. 59: 199-206.

Mocali, S., Paffeti, D., Emiliani, G., Benedetti, A. and Fani, R. 2008. Diversity of heterotrophic cultivable microbial communities of soil treated with fumigants and dynamics of metabolic, microbial, and mineralization quotients. Biology and Fertility of Soils. 44: 557-569.

Muhammad, I., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., Casasola, F. y Rojas, J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. Agroforestería en las Américas. 45: 27-36.

Norma Oficial Mexicana. 2000. NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. Norma Oficial Mexicana. Diario Oficial de la Federación, México.

Ochoa, G.R., Malagón, C.D. y Pereyra, J. (1981). El contenido de materia orgánica, nitrógeno total y factores que los afectan en algunos suelos de Venezuela. Venezuela: Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. 9 pp.

Picone, Ll. 2006. Propiedades del suelo relacionadas con la fertilidad. In: Echeverría, H.E. *et al*. (Ed.). Fertilidad de suelo y Fertilización de Cultivos (pp. 3-18). Buenos Aires: Ediciones INTA.

Powlson, D.S., Brookes, P.C. and Christensen, B.T. 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to Straw incorporation. Soil Biology and Biochemistry, 19: 159-164.

Robertson, G.P., Coleman, D.C., Bledsoe, C.S. and Sollins, P. 1999. Standard Soil Methods for Long-Term Ecological Research. New York, USA. Oxford University Press. 106-114 p.

Sampson, R.N. and Sacholes, R.J. 2000. Additional human-induced activities. In: Watson R.T. *et al*. (Ed.). Land use, land use change, and forestry: A special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 181-281). New York: Cambridge University Press.

Shan-Min, S., Brookes, P.C. and Jenkinson, D.C. 1987. Soil respiration and the measurement of microbial biomass C by the fumigation technique in fresh and in air-dried soil. Soil Biology and Biochemistry, 19: 153-158.

United States Depatment of Agriculture (USDA). 1999. Soil quality test kit guide. USA: United States Department of Agriculture. USA. 14-15 pp.

Walkley, A., y Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed codification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37: 29-37.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

EFECTO INMEDIATO DE INCENDIOS FORESTALES SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUELOS BAJO TRES TIPOS DE VEGETACIÓN

Barragán-Maravilla, S.[1*]; Hernández-Vallecillo, G.[1]; Gutiérrez-Castorena, Ma. del C.[1]; Ángeles-Cervantes, E.[4]

[1]Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México. México.
[2]Facultad de Estudios Superiores-Zaragoza, UNAM. Ciudad de México, México.

*Autor responsable: barragan.sandra@colpos.com; Carretera México-Texcoco Km.36.5, Montecillo Texcoco, Estado de México, México. CP 56230. Tel. +52(595) 952-0244

Resumen

Los incendios forestales tienen un efecto positivo o negativo sobre la vegetación en función de la severidad del fuego; no obstante, poco se ha estudiado para comprender cuales son las propiedades edáficas relacionadas con la regeneración del bosque o degradación de los suelos. Además, la mayoría de las investigaciones se llevan a cabo en muestras de suelos calentados en laboratorio o de incendios prescritos y tiempo después de haber ocurrido el incendio. En el año 2017 ocurrió un incendio forestal en la comunidad de San Miguel Coatlinchán, Estado de México que afectó tanto a bosques naturales como a plantaciones forestales. El objetivo de este estudio es evaluar el efecto que tienen los incendios forestales de diferente severidad sobre las propiedades físicas y químicas de suelos bajo vegetación de *Quercus sp* (Q), *Cupressus sp*. (C) y *Pinus sp*. (P). Dos días después de que brigadas sofocaron el fuego, se describieron y clasificaron perfiles de suelo, tipos de incendio, y se colectaron muestras compuestas de los primeros 5 cm de profundidad del suelo. Posteriormente, se llevaron al laboratorio para analizar sus propiedades edáficas. Los resultados muestran que las propiedades del suelo que se modifican son: textura, MO, retención de humedad, fosfatos, y cationes intercambiables (Ca, Mg y K), cuyos valores pueden incrementar o disminuir en función del tipo de vegetación. La secuencia del efecto de los incendios entre tipos de vegetación fue: P >C >Q, sin embargo, no mostró diferencias significativas entre la severidad del fuego.

Palabras clave Severidad; cenizas; plantaciones forestales

Introducción

Se ha mencionado que los incendios forestales tienen un efecto dual sobre la vegetación en función de la severidad del fuego (Shvidenko y Nilsson, 2000), lo cual también está relacionado con los cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo post-incendio. Este efecto puede variar por la frecuencia, duración, severidad e intensidad del fuego, y temperatura que se alcanza en el suelo, así como de las características propias del combustible (Parsons *et al.*, 2010); Sugihara *et al.*, 2006; Jardel *et al.*, 2006). Algunas de las propiedades que se han analizado son: textura y mineralogía (Ketterings *et al.*, 2000; Reynard *et al.*, 2010); color, porosidad y mineralogía (Qiang *et al.*, 2016); propiedades químicas como pH, MO, CIC, cationes intercambiables, fósforo, nitrógeno

total (Näthe *et al.*, 2017; Urrutia *et al.*, 2013; Ulery *et al.*, 2017), por mencionar algunos. Sin embargo, la mayoría de las investigaciones se han llevado a cabo años después de que ocurrieron los incendios, en muestras calentadas en laboratorio u obtenidas de incendios prescritos.
En el año 2017 se presentó un incendio forestal que duró cinco días, afectando una superficie de 300 y hasta 1000 hectáreas (www.sdpnoticias.com; www.jornada.unam.mx y www.toltecayotl.org), que abarcó las comunidades de Tequexquinahuac, San Pablo Ixayoc y Coatlinchán. En esta última resultaron dañadas con diferente severidad algunas plantaciones forestales y bosques naturales de interés ecológico y comercial para los pobladores. Conocer el efecto inmediato del fuego sobre el suelo permitirá ampliar la información y conocimiento sobre las condiciones edáficas post-incendio, y entender el proceso de regeneración forestal o degradación de los suelos.

Materiales y Métodos

Zona de estudio: se localiza en la comunidad de San Miguel Coatlnchán, Texcoco Edo. de Méx., en las coordenadas 19°24´20´´ N y 98°29´30´´W, a 2300 mnsm. El material parental son tobas y cenizas cristalinas andesíticas (Rodríguez-Tapia, 1999). El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (García, 1981). El suelo dominante es Phaeozem (INEGI, 2009). La vegetación corresponde a bosques naturales de *Quercus sp.* (*Q*), y plantaciones forestales de *Cupressus sp.* (*C*) y *Pinus sp.* (*P*) *Descripción y clasificación de suelo:* se describieron dos perfiles de suelo de acuerdo con el "Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo"(Cuanalo, 1990), y se clasificaron de acuerdo con la WRB (2015). *Identificación de tipos de incendios:* Se identificó la severidad del fuego en cada tipo de vegetación con base a Rothermel (1991) y CONAFOR (2010). *Colecta de muestras de suelos:* se colectaron muestras compuestas de áreas afectadas y no afectadas por incendios, de los primeros 5 cm de profundidad. *Análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo:* las propiedades físicas fueron: color, Textura (pipeta americana); densidad aparente (Dap), capacidad de retención de humedad (olla de presión). Las propiedades químicas fueron: pH, materia orgánica (MO), carbonatos totales, CIC y bases intercambiables (Ca, Mg, K y Na), fósforo (P) y nitrógeno total (N). Todos los procedimientos anteriores están descritos en el "Manual para Análisis de Suelos" de Van Reeuwijk, (2002).

Resultados y Discusión

El suelo bajo bosque natural corresponde a un *Dystric Umbric Vitric Andosol Loamyc*, y en plantaciones forestales (sobre terrazas) se tiene un *Terric Dystric Escalic Vitric Andic Anthrosol Clayic* (WRB, 2015). La clasificación de hace 19 años realizada por Rodríguez-Tapia (1999), ahora cambia, puesto que las reforestaciones y el intemperismo de tepetates contribuyen a la formación de suelos en esta zona (Ávila *et al.*, 2011). Se identificaron incendios superficiales (IS) y de copa (IC): en los primeros el fuego no alcanzó más de 60 cm la corteza de los troncos y la hojarasca se encontraba parcialmente quemada; en los segundos, las cortezas de troncos y el follaje se quemaron aportando al suelo cenizas de color negro. En ambos casos, se encontraron cenizas de color más grisáceo alrededor de los troncos (muestras que se denotan como -Cz). Los resultados de los análisis físicos y químicos se muestran en el Cuadro 1. En los tres géneros, los IS e IC modifican: a) el color en seco de pardos a grisáceos, y en húmedo se homogenizan a pardos oscuros y negros. Se ha mencionado que el aporte de MO y el grado de combustión de ésta influyen en el color del suelo (Certini, 2005). b) en *Q* y *C* incrementaron el contenido de limos y arcillas, mientras que en *P* aumentaron 60 % las arenas, lo

cual puede darse por dos procesos: 1) aporte de cenizas y fragmentación de áreas, y 2) destrucción de la estructura cristalina de las arcillas y las agregación de éstas a causa de altas temperaturas (DeBano *et al.*, 2005). c) La Dap varía con el tipo de vegetación: En *Q* y *C* disminuye; mientras que en *P* incrementa, a causa de 1) la destrucción de la estructura que modifica e incrementa el espacio poroso (Hubbert *et al.*, 2006; Badía y Martí, 2003), y 2) las cenizas rellenan los poros (Certini, 2005). d) la retención de humedad (RH) incrementa principalmente en vegetación de *Q* y *C*; dado que se modifica la estructura y textura de los suelos post-incendio (Saxton y Rawls, 2006; Certini, 2005). e) El pH cambia de ligeramente ácido (*Q* y *P*) y neutros (*C*), a ligeramente alcalino en los tres géneros, puesto las cenizas se componen de carbonatos, óxidos y cationes básicos (Mataix-Solera *et al.*, 2009; Úbeda *et al.*, 2009; Arocena y Opio, 2003). Esto se confirma con el incremento significativo de carbonatos en todos los sitios afectados. f) El contenido de MO fue hetereogeneo entre tipos de vegetación: en QIS disminuyo en promedio 27 %, mientras que QPIS y QIC aumento un 129 y 103 % respectivamente. En *C* los incrementos fueron significativos, con aumentos de más de 2000 %; mientras que en *Pinus sp.* disminuyó el 72% (PIS) y 39% (PIS-Cz). En otros estudios, se ha mencionado que a mayor severidad de incendios, la MO disminuye (Heydari *et al.*, 2012; Neill *et al.*, 2007; González *et al.*, 2004); y que se relaciona con el grado de combustión, tipo de combustible y por lo tanto, la temperatura que se alcanza en el suelo (Araya *et al.*, 2017; Neary *et al.*, 1999). g) La CIC disminuyó en los tres tipos de vegetación, puesto que el incremento de la temperatura en el suelo ocasiona la transformación, deshidroxilación y colapso de minerales arcillosos (Ulery *et al.*, 2017). h) Respecto a las bases intercambiables, los incendios ocasionaron cambios variables entre tipos de vegetación: el Ca disminuyo en *Q* y *C*, mientras que en P incremenó ligeramente, lo cual depende de la composición de la ceniza de madera (Ulery *et al.*, 1996), y la temperatura que se alcanza en el suelo, ya que el Ca se pierde entre 150-300 °C, pero incrementa significativamente a 400 °C (Úbeda *et al.*, 2009). El Mg incrementó ligeramente en *Q* y *C*, pero en *P* se redujo entre 10 y 25%. Holden (2005) menciona que el Ca y Mg tienen un comportamiento similar cuando los suelos son afectados por incendios, sin embargo aquí no ocurre. Gray y Dighton (2006) reportaon que la presencia de cationes depende de la composición y grado de combustion de la hojarasca. El Na se incementó moderadamente en los suelos afectados de *Q*, *C* y *P*, excepto en QIS y QPIS. Augusto *et al.* (2008) mencionan que el Na, es un elemento que se libera de la combustion de madera y MO a temperaturas menores de 350 °C. El K resultó ser el de mayor concentración en los tres tipos de vegetación, dado que es el elemento más soluble de las cenizas de madera (Úbeda *et al.*, 2009; Merino *et al*., 2006; Nieminen *et al.*, 2005). i) A pesar del comportamiento variable de las bases intercambiables, el PSB incrementó en los suelos de los tres tipos de vegetación, excepto en CIS-T y CIC-Ct, a pesar de que muchos estudios analizan los cationes del suelo, pocos reportan el PSB; y no se han encontrado diferencias significativas entre sitios quemados y no quemados (Hatten *et al.*, 2005). j) El fosforo incrementó en los tres tipos de vegetación afectados desde un 79 y hasta poco más de 400 %. De acuerdo con otros estudios, los incendios forestales enriquecen el P disponible (Badía *et al.*, 2014; Pardini *et al.*, 2004); y puede estar relacionado con dos factores: 1) la disolución de fosforo de las cenizas y 2) por la mineralización de P orgánico y su transformación en ortofosfato (Heydar *et al.*, 2017; Badía y Marti, 2013). k) Finalmente, el N también tuvo efectos variables con respecto al tipo de vegetación, los mayores incrementos se presentaron en suelos de *C* (más del 100 %), seguido de *Q* (entre 6 y 50%), pero en *P* disminuyó entre el 60 y 70 %. Esto se deriva de los procesos post-incendio: 1) el N se volatiliza durante la combustión (Caldwell *et al.*, 2002; Florencia, 2010), y 2) el N incrementa cuando la temperatura del suelo alcanza entre 400 y 500 °C (Gray y Dighton, 2006), o bien, porque la ceniza es rica en nitrógeno mineral (Giovannini, 2012).

Cuadro 1. Resultados de los análisis físicos y químicos de suelos afectados por incendios forestales de diferente severidad, Coatlinchán, Edo. de Méx.

Sitio	Textura				Color de la muestra		p H	Retención de humedad		
	Arena	Limo	Arcilla	Clase textural	Dap	en laboratorio	H2O	%		
	%				gcm^{-3}	Seco	Húmedo	2:1	CC	PMP	RH
QNA	19.88	45.25	34.87	Franco arcillo limoso	0.96	10 YR 3/2	10YR 2/1	6.6	43	34	9
QAIS	26.68	43.62	29.71	Franco arcilloso	0.88	10 YR 4/3	10YR 2/1	6.9	36	26	10
QAIS-Cz	22.02	51.03	26.95	Franco limoso	0.79	10YR 2/1	10YR 2/1	7.4	50	28	22
QPAIS	11.58	57.37	31.05	Franco arcillo limoso	0.93	10YR 6/3	10YR 2/1	7.4	47	33	14
QAIC	10.14	62.79	27.07	Franco arcillo limoso	0.93	10 YR 3/1	10YR 2/1	7.3	51	32	19

Sitio	CO	MO	CaCO3	CIC $NH_4Oc,1N^{-7}$	PSB	Cationes intercambiables cmol(+) Kg^{-1}				P olsen	N
	%	%	%	cmol(+) Kg^{-1}	%	Ca^{++}	Mg^{++}	K^{+}	Na^{+}	ppm	
QNA	3.67	6.33	0.83	39.35	15.19	2.01	1.4	2.35	0.22	10.9	0.36
QAIS	3.25	5.6	0.73	30.49	19.40	1.35	1.53	2.84	0.2	53.61	0.38
QAIS-Cz	4.66	8.04	1.15	12.36	56.72	1.53	1.45	3.69	0.34	25.41	0.39
QPAIS	8.41	14.50	1.83	29.36	18.1	1.32	1.48	2.92	0.14	11.76	0.45
QAIC	7.45	12.85	0.94	33.99	20.74	1.4	1.44	3.22	0.39	20.77	0.54

Sitio	Textura				Color de la muestra		p H	Retención de humedad		
	Arena	Limo	Arcilla	Clase textural	Dap	en laboratorio	H2O	%		
	%				gcm-3	Seco	Húmedo	2:1	CC	PMP	RH
CNA	24.57	39.43	36.00	Franco arcilloso	0.96	10 YR 7/4	10YR 3/3	7	39	30	9
CASI	26.45	45.67	27.88	Franco arcilloso	0.79	10 YR 3/1	10YR 2/1	7.5	58	29	29
CAIS-Cz	15.39	49.18	35.43	Franco arcillo limoso	0.86	10YR 6/4	10YR 3/3	7.4	51	41	10
CAICS	23.21	49.45	27.34	Franco arcilloso	0.88	10 YR 3/1	10YR 2/1	7.2	32	21	11
CAIC-Cz	16.93	71.11	11.96	Franco limoso	0.56	10 YR 5/1	10YR 3/1	7.8	82	17	65

Sitio	CO	MO	CaCO3	CIC $NH_4Oc,1N^{-7}$	PSB	Cationes intercambiables cmol(+) Kg^{-1}				P olsen	N
	%	%	%	cmol(+) Kg^{-1}	%	Ca^{++}	Mg^{++}	K^{+}	Na^{+}	ppm	
CNA	0.15	0.26	0.42	26.78	21.48	1.69	1.35	2.48	0.24	10.54	0.11
CASI	1.99	3.43	1.35	18.95	55.14	1.46	1.58	3.49	0.43	44.64	0.38
CAIS-Cz	4.66	8.04	1.26	22.66	45.76	1.42	1.87	6.49	0.59	47.91	0.24
CAICS	1.53	2.64	3.02	17.3	34.33	1.46	1.32	2.73	0.37	21.13	0.29
CAICS-Cz	3.75	8.17	1.56	20.61	31.14	1.4	1.6	2.86	0.62	50.92	0.37

Sitio	Textura				Color de la muestra		p H	Retención de humedad		
	Arena	Limo	Arcilla	Clase textural	Dap	en laboratorio	H2O	%		
	%				gcm-3	Seco	Húmedo	2:1	CC	PMP	RH
PNA	39.35	38.27	22.38	Franco	0.81	10 YR 3/3	10YR 2/2	6.4	19	8	11
PAIS	63.20	23.58	13.23	Franco arenoso	1.35	10 YR 5/2	10YR 2/1	7.2	50	31	19

PAIS-Cz	55.08	31.44	13.78	Franco arenoso	1.19	10YR 5/4	1OYR 2/1	6.9	26	14	12

Sitio	**CO**	**MO**	**CaCO3**	**CIC $NH_4Oc,1N^{-7}$**	**PSB**	**Cationes intercambiables**				**P olsen**	**N**
						cmol(+) Kg-1					
	%	**%**	**%**	**cmol(+) Kg-1**	**%**	**Ca^{++}**	**Mg^{++}**	**K^{+}**	**Na^{+}**	**ppm**	
PNA	3.75	6.46	0.42	27.4	20.12	1.39	1.45	2.29	0.39	11.8	0.44
PAIS	1.07	1.84	1.25	10.71	82.85	1.73	1.31	5.21	0.62	49.3	0.1
PAIS-Cz	2.29	3.95	1.36	16.17	58.33	1.52	1.09	6.26	0.56	55.5	0.17

QNA: *Quercus sp.* no afectado; QIS: *Quercus sp.* afectado por incendio superficial: QIS-Cz: Cenizas bajo *Quercus sp.* afectado por incendio superficial; QPIS: Quercus-pastizal afectado por incendio de superficial; QIC: *Quercus sp.* afectado por incendio de copa.
CNA: *Cupressus sp.* no afectado; CIS: *Cupressus sp.* afectado por incendio superficial: CIS-Cz: Cenizas bajo *Cupressus sp.* afectado por incendio superficial; CIC: *Cupressus sp*. afectado por incendio de copal; CAIC-T: *Cupressus sp.* afectado por incendio de copa en tepetate; CAIC-Cz: Cenizas bajo *Cupressus sp.* afectado por incendio de copa; CIC-Ct: Costras bajo *Cupressus sp*. afectado por incendio de copa.
PNA: *Pinus sp.* no afectado; PIS: *Pinus sp.* afectado por incendio superficial: PIS-Cz: Cenizas bajo *Pinus sp.* afectado por incendio superficial

. Conclusiones

Los resultados muestran que el efecto de los incendios superficiales y de copa sobre textura, Dap, contenido de MO, Ca, Mg, y N pueden incrementar o disminuir en función del tipo de vegetación. Sin embargo la CRH, el pH, carbonatos totales, PSB, K, Na y fósforo, tienden a incrementar en los suelos afectados. La secuencia del efecto de los incendios entre tipos de vegetación fue: P >C >Q. Sin embargo, en ambos casos no se encontraron diferencias entre la severidad del fuego.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para la realización de estudios de posgrado, de la cual forma parte esta investigación. A los miembros de los laboratorios de Génesis y Clasificación de suelos y Física de suelos del COLPOS, Montecillo.

Referencias

Arocena J., y Opio C., 2003, Prescribed fire-induced changes in properties of sub-boreal forest soils, Geoderma, 113:1-16.
Augusto L., Bakker R. y Meredieu C., 2008, Wood ash applications to temperate forest ecosystems. Plant and soil, 306: 181-198.
Ávila G., Gutiérrez Ma. del C., Ortiz C., Ángeles E., y Sánchez P., 2011, Evaluación de las reforestaciones en la formación de suelo a partir de tepetates, *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(3): 303-312.
Badía D., Martí C., Aguirre J., Aznar M., González-Pérez A., De la Rosa M., León J., Ibarra P. y eEcheverría T., 2014, Wildfire effects on nutrients and organic carbón on Rendzic Phaeozem in NE, Spain: Changes at cm-scale topsoil, *Catena*, 113: 267-275.
Badia D., y Marti C., 2003, Plant ash and heat intensity effects on chemical and physical properties of two contrasting soils. *Arid Land Res Manage*, 17: 23-41.
Caldwell T., Johnson D., Miller W., Qualls R., 2002, Forest floor carbón and nitrogen losses due to prescription fire, *Soil Science Society of American Journal*, 66: 262-267.
Certini G., 2005, Effects of fire on properties of forest soils: a review, *Oecología* 143: 1-10.
Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), 2010, Incendios forestales: Guía práctica para comunidades, 3ra edición, Jalisco, México. p. 5-15.
Cuanalo C., 1990, Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
DeBano L., Neary D., Ffolliot P., 2005, Soil physical properties. In: Neary D., Ryn K., DeBano L. (eds). Wildland fire in Ecosystems: Effects of fire on soil and water. Vol. 4, USDA. Forest Service General Technical Report. RMRS-GTR-42, *Ogden*, 29-52.
fertilizers: field studies in Finish forest soils. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 20: 146-153.
Florencia María, 2010, Propiedades del suelo en bosques quemados de Austrocedrus chilensis en Paagonia, Argentina, *Bosque* 31(2): 140-19.

García E., 1981, Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. Offset Larios, S.A.
Giovannini G., 2012, Fire in Agricultural and Forestall Ecosystems: The effects on soil. Edizioni ETS, Pisa, Italy. 86p.
González J., González F., Almendros G. y Knicker H., 2004, The effect of fire on soil organic matter: a review. *Environ Int*. 30: 855-870.
Gray D. y Dighton J., 2006, Mineralization of forest litter nutrients bye heat and combustión, *Soil Biology and Biochemistry*, 38: 1469-1477.
Hatten Jeff., Zebowski D., Scherer G., Dolan E., 2005, A comparisson of soil properties after contemporany wildfire and fire suppresion, *Forest Ecology and Management*, 220: 227-241.
Heydari M., Salehi A., Mahadavi A., Adibnejad M., 2012, Effects of different fire severity levles on soil chemical and physical properties in Zagros forests of western Iran. *Folia Forestalia Polonica* 54: 241-450.
Holden J., 2005, An introduction to Physical Geography and the Envioronment. Pearson Education Limited, Essex.
Hubbert K., Preisler H., Wohlgemuth P., Graham R., Narog M., 2006, Prescribed burning effects on soil physical properties and wáter repellency in a steep chaparral watershed, Southern California, USA. Geoderma, 130: 284-298.
Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2009, Prontuario de información geográfica municipal de los Estado Unidos Mexicanos, Texcoco, México. Clave geoestadística 15099.
IUSS Working Group WRB, 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informe sobre recursos mundiales de suelos 106, FAO, Roma.
Jardel, P., Enrique J., Frausto J., Pérez D., Alvarado E., Morfín J., Landa R. y Llamas P., 2010. Prioridades de investigación en manejo del fuego en México. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, México D.F.
Ketterings Quirine, Bigham J.,y Laperche V., 2000, Change in soil Mineralogy and texture caused by slash and burn fires in Sumatra, Indonesia, *Soil Science Society of America Journal* 64: 1108-1117.
Mataix-Solera J., Guerrero C., Arcenegui V., Bárcenas G., Zornoza R., Pérez-Bejarano A., Bodi M., Mataix-Beneyto J., Gómez L., García-orenes F., Navarro J., Jordán M., Cerdá A., Doerr S., Úbeda X., Outeiro L., Pereira P., Jordán A.y Zavala L., 2009, Los incendios forestales y el suelo: un resumen de la investigación realizada por el Grupo de Edafología Ambiental de la UMH en colaboración con otros grupos. En: Cerdá A., Mataix-Solera J. (Eds.), Efectos de los incendios forestales sobre los suelos de España. El estado de la cuestión visto por los científicos españoles. *Catedra de Divulgación de la Ciencia*. Universidad de Valencia. p. 185-217.
Merino A., Otero V., Omil B., Lastra B., Piñero V. y Gallego P., 2006, Application of wood ash compared with fertigation for improving the nutrient status and fruit production of Kiwi vines. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169: 127-133.
Näthe K., Levia D., Steffens M. y Michalzik B., 2017, Solid-state 13C NMR characterization of Surface fire effects on the composition of organic matter in both soil and soil solution from a coniferous forest, *Geoderma*, 305: 394-406.
Neill C., Patterson W. y Crary D., 2007, Responses of soil carbón, nitrogen and cations to the frecuency and seasonality of prescribed burning in a Cape Cod oak-pine forest. *Forest Ecolgy Managament*, 250: 234-243.
Nieminen M., Piirainen S. y Moilanen M., 2005, Relase of mineral nutrients and heavy metals from wood and peat ash
Pardini G., Gispert M. y Dunjó G., 2004, Relative influence of wildfire on soil properties an erosion processes in different Mediterranean enviorements in NE Spain. *Science Total Environ*, 328:237-446.
Parsons A., Robichaud P., Lewis S., Napper C. y Clrk J., 2010, Field guide for mapping post-fire soil burn severity, Departament of Agriculture, *Forest Service, Rocky Mountain Research Station*.
Quian S., Weiqiang W., y Haitao Q., 2016, Effects of high temperatura termal treatment on the physical properties of clay, *Environ Earth Science* 75: 610-618.
Reynard J., Pope G., Gorring M., y Feng H., 2010, Effects of high-intensity Forest Fires on soil clay mineralogy, *Physical Geography*, 31(5): 407-422.
Rodríguez-Tapia Silvia A., 1999, Procesos de intemperismo en Tepetates y su influencia en la formación de suelos, Tesis de Maestría, Posgrado en Edafología. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
Rothermed R.C. 1991. Crown tire analysis and interprepation,. in: 11 th Conference on tire and forest Meteorology *Society of American Foresters*, pp. 253-263.
Shvidenko A. y Nilsson S., 2000, Extent, distribution, and ecological role of fire in Russian forest. En: Kasischke E. y Stocks B. *Eds. Fire, Climate Change, and Carbon Cycling in the boreal forest*, Springer-Verlag, New York. p. 132-150.
Sugihara, N.G., Van Wagtendonk, J., Fites-Kaufman, J., 2006. Fire as an ecological process, in: Fire in California's Ecosystems. University of California Press, Ltd., London, England, p. 58–74.
Úbeda X., Pereira P., Outerio L.,y Martín A., 2009, Effects of fire temperature on the physical and chemical characteristic of the ash from two plots of cork oak (Quercus suber), Land Degradation & Development, 20: 589-608.
Ulery April., Graham R., Goforth B. y Hubbert K., 2017, Fire effcets on catión Exchange Capacity of Califronia forest and Woodland soils, Geoderma, 286: 125-130.
Urrutia I., Rodriguez B., Fleitas Y., Hernandez J., Flores J., Martinez L., y Bonilla M., 2013, Efecto de quemas prescritas sobre las propiedades físico-quimicas del suelo en la Estación hidrológica Amistad, *Revista Forestal Baracoa*, Cuba, 32(1): 43-50.
Van Reeuwijk L., 2002, Procedures for Soil Analysis, International Soil Reference and Information Centre-Food and Agriculture Organization of the United Nations.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

INCENDIOS FORESTALES: EFECTO INMEDIATO SOBRE LAS PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE UN ANDOSOL EN SAN PABLO IXAYOC, EDO. DE MÉX.

Hernández-Vallecillo, G.[1*]; Barragán-Maravilla, S.[1]; Gutiérrez-Castorena, Ma. del C.[1]; Ángeles-Cervantes, E.[2]

[1]Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México. México.
[2]Facultad de Estudios Superiores-Zaragoza, UNAM. Ciudad de México, México.

*Autor responsable: gabovalle16@mail.com; Carretera México-Texcoco Km.36.5, Montecillo Texcoco, Estado de México, México. CP 56230. Tel. +52(595) 952-0244

Resumen
Los incendios forestales son un fenómeno natural y en ciertos ecosistemas esencial, los estudios relacionados con el fuego se concentran en el daño originado a la vegetación, dejando de lado los cambios ocurridos en el suelo. Los cambios pueden ser benéficos o perjudiciales para una consecuente conservación, reforestación o regeneración del ecosistema. En su mayoría las investigaciones se llevan a cabo en muestras sometidas a calor en laboratorio, en quemas prescritas o bien años después del siniestro. En abril del 2017 se presentó un incendio forestal en San Pablo Ixayoc, Estado de México. El objetivo de este estudio es determinar los efectos del fuego de diferentes intensidades sobre las propiedades físicas y químicas de un Andosol bajo dos vegetaciones diferentes, así como las peculiaridades encontradas en cada zona de muestreo. Al siguiente día del incendio se clasifico el suelo, los tipos de incendios y se colectaron muestras compuestas de los primeros 5 cm de suelo. Las muestras se procesaron en el laboratorio para el análisis de sus propiedades físicas y químicas. Los resultados muestran un cambio muy marcado en color, clase textural (% de arena, limo y arcilla), retención de humedad, MO, N y cationes intercambiables (Na, Ca y K), los cuales presentaron aumentos y disminuciones que variaban en función del tipo de combustible (material vegetal) y de la severidad del incendio, el cual repercute directamente en la variación de las temperaturas alcanzadas en la capa superficial del suelo.

Palabras clave
Fuego; Regeneración; Severidad

Introducción
Los incendios forestales son un componente esencial de la naturaleza, el cambio en el paisaje es lo más notorio después de su paso. El fuego puede llegar a desaparecer cientos de hectáreas de bosque, selva o pastizal. Cabe destacar que no solo la vegetación sufre los estragos del fuego, sino también los animales, los microorganismos y el suelo. Si bien este último es un componente primario de los ecosistemas, los cambios que sufre a causa de los incendios forestales presentan una gran controversia, los efectos para el ecosistema pueden ser benéficos o perjudiciales para una posterior regeneración, todo depende de la propiedad edáfica que se analice.

Los cambios en las propiedades físicas y químicas están en función principalmente de la clase de suelo, el tipo de vegetación (combustible), así como de la intensidad y duración del fuego (Iglesias, 1993). Cabe destacar que las alteraciones ocasionadas en el suelo por el aumento de temperaturas, ocurren cerca de primeros cinco centímetros de profundidad, después de esto las temperaturas apenas están por encima de la temperatura ambiente. (Neary *et al*., 2005). Cabe destacar que la mayoría de las investigaciones realizadas en el suelo afectado por incendio forestales, se realizan en quemas prescritas, bajo condiciones de laboratorio o bien años después del incendio, por lo cual es indispensable conocer las condiciones que presenta el suelo in situ justo después del paso del fuego.

A principios del mes de abril de 2017 se presentó uno de los incendios forestales más grandes en las últimas décadas en el municipio de Texcoco, Estado de México, específicamente en el Monte Tlaloc, el cual se estima consumo cerca de 100 hectáreas de bosques y plantaciones forestales. (www.excelsio.com.mx y www.jornada.unam.mx). El estudio se realizó en la comunidad de San Pablo Ixayoc, perteneciente el municipio de Texcoco. El objetivo del presente trabajo fue conocer los efectos inmediatos de un incendio forestal sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, esto para conocer las condiciones en las que quedo el sistema edáfico, y con ello poder entender el proceso de regeneración del bosque, o bien servir como apoyo para las estrategias de reforestaciones de la zona.

Materiales y Métodos

Zona de estudio. La zona de estudio se encuentra ubicada en el oriente del estado de México, específicamente en el Municipio de Texcoco, en la comunidad de San Pablo Ixayoc en las coordenadas 19° 26´ 42´´ latitud norte y 98° 46´ 45'' longitud oeste, a una elevación de 2970 msnm, con una temperatura media anual de 15.07º C. El material parental es de Cenizas volcánicas. La vegetación presente corresponde a bosques naturales con dominancia pino (*Pinus sp.*) y de encino (*Quercus sp.*).

Descripción y clasificación de suelo. Se describió un perfil de suelo de acuerdo con el "Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo" (Cuanalo, 1990), El suelo se clasifico de acuerdo con la WRB (2015) y SSS (2014).

Identificación de tipos de incendios. La severidad del incendio se determinó de acuerdo con el manual para los incendios forestales de CONAFOR (2010), en cada tipo de vegetación (Figura 1).

Colecta de muestras de suelos. Las muestras se colectaron de zonas afectadas y no afectadas, las muestras fueron compuestas obtenidas de los primeros cinco centímetros de profundidad, algunas de las cuales se conformaban tanto de material vegetal calcinado (cenizas) y suelo.

Análisis físicos y químicos. En el laboratorio se dejaron secar las muestras a temperatura ambiente para su posterior macerado y tamizado a 2 mm. Los análisis se realizaron siguiendo el Manual para Análisis de Suelos de Van Reeuwijk (2002).

Resultados y Discusión

El suelo sobre el que se trabajó se clasifico como Thaptic Haplustands (SSS, 2014) y District Umbric ANDOSOL Siltic para la WRB (2015). Se identificaron dos tipos de vegetación, Bosque de *Pinus sp.* y Bosque de *Quercus sp*., en ambos se registraron incendios superficiales y de copa (CONAFOR, 2010), en los incendios superficiales la marca del fuego en los troncos no sobrepaso el metro y medio de altura y en el suelo se encontraba una gran cantidad de material vegetal parcialmente incinerado.
En los incendios de copa, los árboles se quemaron hasta la copa o bien desaparecieron casi en su

totalidad dejando en ocasiones solo el fuste o la base del tronco y cenizas de diferentes coloraciones. Se analizaron 16 muestras en total compuestas de suelo y ceniza. Los resultados de los análisis físicos y químicos se muestran en los cuadros 1 y 2 respectivamente.

Cuadro 1. Resultados de los análisis físicos de suelos afectados y no afectados por diferentes tipos de incendio.

SITIO	Color		DAP	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase textural	Ret. Hum. %
	Seco	Humedo						
QNA	10 YR 4/2	10YR 2/2	0.93	44.77	45.36	9.86	Franco	28
QIS	10 YR 4/2	10YR 2/2	0.86	21.80	64.45	13.76	Franco limoso	28
QIC	10 YR 3/3	10YR 2/2	0.77	25.15	57.63	17.22	Franco limoso	27
QIC_tro_base	10 YR 3/3	7.5YR 2.5/1	0.89	20.64	70.06	9.30	Franco limoso	36
QIC_arb_medio	10 YR 4/4	10YR 2/2	0.94	22.85	65.70	11.45	Franco limoso	30
QIC_arb_un lado	10 YR 4/2	10YR 2/1	0.88	10.63	71.65	17.72	Franco limoso	32
PNA	10 YR 5/2	10YR 2/2	0.96	19.08	60.69	20.23	Franco limoso	14
PIS	10 YR 5/2	10YR 2/2	1.00	24.16	64.22	11.62	Franco limoso	21
PIC	10 YR 4/2	10YR 3/1	0.91	18.32	70.27	11.41	Franco limoso	13
PPIC	10 YR 5/4	7.5YR 2.5/2	0.96	23.95	60.01	16.04	Franco limoso	18
PIC_Hor 0-5	10 YR 5/4	7.5YR 3/4	0.88	13.20	84.72	2.08	Limoso	33
PIC_Hor 10-30	10 YR 4/4	7.5YR 3/1	1.09	30.69	61.37	7.94	Franco limoso	18
PIC_Hor 30-60	7.5YR 4/6	2.5YR 2.5/4	0.96	71.69	17.69	10.62	Franco arenoso	15
PIC_Hor > 60	10YR 4/4	7.5YR 2.5/2	1.09	49.90	36.88	13.22	Franco	19
CUIC	10 YR 2/1	10YR 2/1	0.49	9.97	77.71	12.33	Franco limoso	70
AXIC	10 YR 4/2	10YR 2/1	0.89	9.74	82.02	8.24	Limoso	20

QNA: Quercus no afectado; **QIS**: Quercus afectado incendio superficial; **QIC**: Quercus incendio de copa; **QIC_tro_base**: muestra de la base de un árbol; **QIC_arb_medio**: muestra de la mitad de un tronco incinerado; **QIC_arb_un lado**: muestra tomada a un lado de un tronco incinerado; **PNA**: Pinus no afectado; **PIS**: Pinus no afectado; **PIC**: Pinus incendio de copa; **PPIC**: Pinus pastizal incendio de copa; **PIC_Hor 0-5**: muestra de los primeros 5 cm de un hueco que dejo un pino al desaparecer completamente; **PIC_Hor10-30**: muestra de entre 10-30 cm de profundidad del horno de pino; **PIC_Hor30-60**: muestra de entre 30-60 cm de profundidad del horno de pino; **PIC_Hor>60**:muestra a partir de 60 cm de profundidad del horno de pino; **CUIC**: *Cupressus* incendio de copa; **AXIC**: *Arbutus Xalapensis* incendio de copa.

Color. En general se observó una gran variabilidad, el aclaramiento de algunas muestras post-incendio, se debe al color que presentaban las cenizas, a temperaturas entre 300-500°C las cenizas presentan coloraciones grisáceas, mientras que arriba de los 500°C las cenizas adquieren tonalidades blancas (Pereira, 2010); los hues más rojos presentes en muestras principalmente de *Pinus* se debe a las transformaciones de los óxidos de hierro (Ulery y Graham, 1993); mientras que el ennegrecimiento de muestras como CUIC y AXIC, es ocasionado principalmente por la carbonización de la materia orgánica. (Ulery y Graham, 1993).

Clase textural (% de arena, limo y arcilla). La textura paso de ser franca en QNA a franco limoso en todos los sitios afectados de Quercus, así mismo el porcentaje de arena presento una disminución significativa, lo cual se debe a la descomposición de la fracción arenosa, a causa del aumento en la temperatura (Ulery y Graham, 1993), por otra parte en Pinus se observó el cambio de textura franco limosa a limosa (PIC_Hor 0-5), con una consecuente disminución arcilla de -90%, este debido a que las temperaturas alcanzadas en el suelo, fueron suficientes para compactar las arcillas incrementando la fracción limosa, mientras que el aumento en el porcentaje de arena de 276% en PIC_Hor 30-60, se debe a un aumento de temperatura por encima de los 500 °C, con lo cual se forman agregados de tamaño arena (pseudo arenas) que alteran la distribución de partículas.

Clase textural (% de arena, limo y arcilla). La textura paso de ser franca en QNA a franco limoso en

todos los sitios afectados de Quercus, así mismo el porcentaje de arena presento una disminución significativa, lo cual se debe a la descomposición de la fracción arenosa, a causa del aumento en la temperatura (Ulery y Graham, 1993), por otra parte en Pinus se observó el cambio de textura franco limosa a limosa (PIC_Hor 0-5), con una consecuente disminución arcilla de -90%, este debido a que las temperaturas alcanzadas en el suelo, fueron suficientes para compactar las arcillas, incrementando la fracción limosa, mientras que el aumento en el porcentaje de arena de 276% en PIC_Hor 30-60, se debe a un aumento de temperatura por encima de los 500 °C, con lo cual se forman agregados de tamaño arena (pseudo arenas) que alteran la distribución de partículas.

Retención de humedad. En PIC_Hor 0-5 y CUIC se observó un aumento de la retención de humedad muy drástico de 136 y 400%respectivamente, lo cual según Balfour y Woods (2010) se atribuye al tamaño de las cenizas depositadas sobre el suelo, ya que, con tamaños mayores a 2 cm se crea un espacio poroso el cual es apto para ser ocupado por el agua, dicha situación *in situ* está sujeta a el efecto que origine la posible erosión ocasionada por las primeras lluvias sobre esta capa de ceniza.

Cuadro 2. Resultados de los análisis químicos de suelos afectados y no afectados por diferentes tipos de incendio.

SITIO	pH (2:1)	MO %	CO%	N	CIC (Cmol Kg-1)	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$CaCo_3$	PSB	P_2O_5
						Bases intercambiables Cmol Kg-1				%		ppm(Olsen)
QNA	7.0	11.53	6.69	0.36	25.54	0.47	2.22	1.55	1.34	0.00	21.9	38.00
QIS	6.9	12.85	7.45	0.53	28.02	0.41	2.35	1.54	1.05	0.63	19.1	65.45
QIC	6.1	5.40	3.13	0.40	30.49	0.30	5.97	1.89	0.94	0.10	29.9	72.63
QIC_tro_base	8.4	3.95	2.29	0.21	32.14	0.65	9.27	1.82	1.05	4.79	39.8	17.90
QIC_arb_medio	6.4	9.22	5.35	0.26	14.63	0.24	6.35	1.90	0.95	0.42	64.5	55.76
QIC_arb_un lado	6.6	11.20	6.50	0.38	29.05	0.32	7.50	1.74	1.00	0.63	36.4	36.56
PNA	6.1	5.27	3.06	0.26	15.24	0.22	1.07	1.89	0.42	0.63	23.5	61.68
PIS	6.1	6.59	3.82	0.26	17.72	0.34	2.54	1.82	0.30	0.83	18.6	72.99
PIC	6.9	7.91	4.59	0.34	27.60	0.13	1.25	1.87	0.39	0.52	19.7	18.44
PPIC	6.3	3.43	1.99	0.22	21.22	0.32	1.18	1.84	0.34	0.73	17.4	59.71
PIC_Hor 0-5	7.8	0.79	0.46	0.07	9.48	0.43	2.67	1.95	0.27	0.21	56.2	18.80
PIC_Hor 10-30	7.4	1.71	0.99	0.09	23.28	0.71	9.27	1.85	0.25	0.63	51.9	17.00
PIC_Hor 30-60	7.2	0.00	0.00	0.02	14.21	0.75	8.77	1.86	0.46	0.63	83.3	15.21
PIC_Hor > 60	7.5	1.32	0.76	0.05	12.57	0.73	8.64	1.88	0.38	0.00	92.5	14.31
CUIC	7.0	3.43	1.99	0.53	25.96	0.43	2.67	1.61	0.36	0.00	19.5	79.81
AXIC	7.0	11.53	6.69	0.42	24.51	0.43	3.87	1.56	0.97	0.63	27.9	21.13

QNA: Quercus no afectado; **QIS**: Quercus afectado incendio superficial; **QIC**: Quercus incendio de copa; **QIC_tro_base**: muestra de la base de un árbol; **QIC_arb_medio**: muestra de la mitad de un tronco incinerado; **QIC_arb_un lado**: muestra tomada a un lado de un tronco incinerado; **PNA**: Pinus no afectado; **PIS**: Pinus no afectado; **PIC**: Pinus incendio de copa; **PPIC**: Pinus pastizal incendio de copa; **PIC_Hor 0-5**: muestra de los primeros 5 cm de un hueco que dejo un pino al desaparecer completamente; **PIC_Hor10-30**: muestra de entre 10-30 cm de profundidad del horno de pino; **PIC_Hor30-60**: muestra de entre 30-60 cm de profundidad del horno de pino; **PIC_Hor>60**:muestra a partir de 60 cm de profundidad del horno de pino; **CUIC**: *Cupressus* incendio de copa; **AXIC**: *Arbutus Xalapensis* incendio de copa.

Materia orgánica. En QIS, PIC y AXIC se observó un aumento de 11, 50 y 119% de MO, lo cual se atribuye a la capa de cenizas, ya que la materia orgánica del suelo incrementa debido a la parcial incineración del material vegetal (Mataix-Solera, 1997; Guerrero, 1998). QIC_tro_base presento un decremento significativo de -66% de MO, esto se relaciona directamente con el tiempo y las temperaturas que se alcanzaron en los horizontes superficiales (Fernández *et al*., 1997; Giovannini *et al*., 1990).

Finalmente, en PIC_Hor 30-60 no se cuantifico nada de MO lo cual es comparable con loreportado

por Knoepp et al. (2005) quienes mencionan que, si el suelo es calentado a 450°C durante dos horas o a 500°C media hora, se destruye el 99% de la materia orgánica.

Nitrógeno. En QIS el nitrógeno aumento de forma significativa (49%) en QIS; lo cual se debe a los materiales incorporados sobre la capa superficial (Grogan et al.,2000; Prieto-Fernandez et al., 1993), por lo contrario, QIC_tro_base presentó un descenso de nitrógeno de -42%, asi como las muestras del horno también presentaron una disminución muy considerable, la cual oscilaba entre -67 y -82%, lo cual según Turner et al. (2007) se debe a que el nitrógeno comienza a volatilizarse a temperaturas por encima de los 200°C, si la temperatura del suelo continua aumentando el nitrógeno continua volatilizándose hasta su posible eliminación (Mataix-Solera y Guerrero, 2007)

Cationes intercambiables (Na, Ca y K). El calcio presentó cambios ligeros y en unos casos imperceptibles, el magnesio por su parte tiende a disminuir de ligera a moderadamente en las muestras afectadas por el fuego de ambos tipos de vegetación, excepto en la muestra de AXIC que presento un aumento de 131% (Cuadro 2), lo cual se atribuye a la naturaleza de su hojarasca y su madera, asi como las temperaturas alcanzadas ya que a temperaturas entre 300 y 400°C el calcio y el magnesio se libera en cantidades considerables (Pereira, 2010). Las muestras del horno mostraron los cambios más drásticos en sodio y potasio, el primero sobrepasa el doble de su valor con respecto a PNA, mientras que el potasio aumento más de siete veces su valor con respecto a la muestra control (Cuadro 2), esto se debe a que a temperaturas por encima de los 400°C los elementos que se liberan de forma más prominente son sodio y potasio (Pereira, 2010).

Conclusiones

Los cambios en las propiedades del suelo a causa del fuego se deben principalmente a dos factores; primero el tipo u origen de material vegetal, específicamente a la variedad de los componentes químicos que lo conforman, y que originan una gran variedad de combustibles diferentes en cada tipo de vegetación. El segundo factor es la severidad y duración del incendio lo cual se encuentra estrechamente relacionado con la variación de las temperaturas alcanzadas en la capa superficial del suelo, que causan la alteración de algunas propiedades físicas y químicas, influyendo directamente en una posible regeneración o en las estrategias de reforestación.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para la realización de estudios de posgrado, de la cual forma parte esta investigación. A los miembros de los laboratorios de Génesis y Clasificación de suelos y Física de suelos del COLPOS, Montecillo.

Referencias

Balfour, V. N. y Woods, S.W. 2010. Physical and Hydrological Properties of Vegetative Ash. In Annual Meeting of the Montana Chapter of the American Water Resources Association. Montana, EE UU.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), 2010, Incendios forestales: Guía práctica para comunidades, 3ra edición, Jalisco, México. p. 5-15

Cuanalo C., 1990, Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

Excelcior. 2017 Periodico de circulación nacional, México. (Consultado el 11-abril-2017) http://www.excelsior.com.mx/comunidad/2017/02/14/1146278

Fernández, I.; Cabaneiro, A. & Carballas, T. 1997. Organic matter changes inmediately after a wildfire in an Atlantic forest soil and comparison with laboratory soil heating. *Soil Biol Biochem 29: 1-11*.

Giovannini, G.; Lucchesi, S. & Giachetti, M. 1990. Effects of heating on some chemical parameters related to soil fertility and plant growth. *Soil Sci. 149: 344-350.*

Grogan, P., Bruns T.D., Chapin, F.S. 2000. Fire effects on ecosystem nitrogen cycling in a Californian bishop pine forest. *Oecologia*, 122,

p. 537–44.
Guerrero, C. 1998. Aplicación de un compost de residuos sólidos urbanos a un suelo forestal quemado: Evolución de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante.
Iglesias, M.T. 1993. Efectos de los incendios forestales sobre las propiedades del suelo en un pinar de repoblación (*Pinus pinaster*) en Arenas de San Pedro (Avila). Tesis Doctoral. Dpto. Edafología. Fac. Farmacia. Universidad Complutense de Madrid.
IUSS Working Group WRB, 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informe sobre recursos mundiales de suelos 106, FAO, Roma.
Jornada. 2017. Periodico de circulación nacional (Consultado el 11-abril-2017) http://www.jornada.unam.mx/2017/04/06/estados/028n1est
Knoepp, J.D., Elliott, K.J., Vose, J.M., Linton, B.D., 2009. Effects of prescribed fire inmixed-oak forests of the southern Appalachians: forest floor, soil, and soil solution nitrogen responses. J. Torrey Bot. Soc. 136 (3), 380–391.
Mataix-Solera, J. 1997. Modificaciones físico-químicas en suelos afectados por un incendio forestal. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante.
Mataix-Solera, J. y Guerrero, C. 2007. Efectos de los incendios forestales sobre las propiedades edáficas. En: Mataix-Solera, J. (Ed.). *Incendios forestales, suelos y erosión hídrica*. Alcoi : Caja Mediterráneo CEMACAM, p. 5-40.
Neary G., Ryan, K. y DeBano, L 2005. Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol. 4.
Pereira, P. 2010. Effects of Fire Intensity in Ash Chemical and Physical Characteristics of Mediterranean Species and Their Impact in Water Quality. Phd thesis, Universidad de Barcelona.
Prieto-Fernandez, A.; Villar, M. C.; Carballas, M. & Carballas, T. 1993. Short-term effects of a wildfire on the nitrogen status and its mineralization kinetics in an atlantic forest soil. *Soil Biol. Biochem*. 25: 1657-1664.
Soil Survey Staff. 2014. Claves para la Taxonomía de Suelos, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
Turner, M.G., Smithwick, E.A.H., Metzger, K.L, Tinker, D.B., Romme, W.H. 2007. Inorganic nitrogen availability after severe stand-replacing fire in the Greater Yellowstone ecosystem. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, p. 4782–4789.
Ulery, A. L. y Graham, R. C. 1993. Forest fire effects on soil color and texture. *Soil Science Society of American Journal*, 57: 135-140.
Van Reeuwijk, L. 2002. Procedures for Soil Analysis, International Soil Reference and Information Centre-Food and Agriculture Organization of the United Nations.

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

PERCEPCIÓN COMUNITARIA SOBRE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DEL SUELO: CASO EL JARAL, MEXQUITIC DE CARMONA, S. L. P.

López-Mendoza, Y.[1]; Alcalá-Jáuregui, J.A.[1]; Loredo-Osti, C.[1*]; Lara-Mireles J.L.[1]

[1]Facultad de Agronomía y Veterinaria; Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México

*Autor responsable**:** yadira_me1@hotmail.com; Circuito. Chipre 111, Frac. Las Fuentes, San Luis Potosí, S. L. P., México. CP 78129 Tel. 52(444) 3057115

Resumen

Los objetivos de este trabajo fueron analizar la percepción de indicadores de impacto ambiental con énfasis en conservación y restauración del suelo en los habitantes del ejido El Jaral municipio de Mexquitic de Carmona, S. L. P; el trabajo se desarrolló mediante la aplicación de dos instrumentos de consulta. El primer instrumento fue una encuesta de percepción ambiental, con los componentes tales como características generales, usos y costumbres, actitudes valores y participación comunitaria. El segundo instrumento fue una encuesta con indicadores en el tema social, economía, medio ambiente, manejo y conservación de suelos, financiamiento y participación comunitaria y finalmente la importancia de la conservación de los suelos. Para el análisis, la información se capturó utilizando el programa de Excel y fue analizada en el paquete estadístico SPSS bajo análisis de frecuencias, procedimiento descriptivo y tablas de contingencia. Para algunos atributos sociodemográficos se aplicó una prueba de chi-cuadrado con un nivel de significancia de $p \leq 0.10$ para conocer la interacción entre variables de la edad, ocupación y procedencia con respecto a las opciones de respuesta de cada pregunta.

Palabras clave
Percepción ambiental; indicadores; suelo.

Introducción

Los procesos históricos, económicos y demográficos del país han provocado un deterioro paulatino del estado de sus recursos naturales, lo que ha conducido a un decremento en la capacidad productiva de los ecosistemas (INE, 2000). Los suelos constituyen uno de los recursos naturales que se caracterizan por su heterogeneidad en el territorio, los que les posibilita cumplir con una diversidad de funciones vitales para el sostenimiento de los ecosistemas y la vida humana. El suelo es reconocido como sostén y sustento de cultivos y bosques, como el medio que posibilita el filtrado de agua y su recarga, como soporte de la biodiversidad y en general, como patrimonio nacional (Cotler *et al.*, 2007). A pesar de la importancia del recurso suelo, hoy en día nos encontramos con una alarmante situación de degradación que afecta 1’027,611.50 km^2 de superficie territorial (INEGI, 2014).

Para lograr el control satisfactorio de la erosión se requiere una visión de desarrollo sustentable el cual es un modelo que permite la utilización de los recursos naturales actuales sin comprometer la capacidad de ser utilizados por las generaciones futuras; es un modelo en el que se articulan criterios

ecológicos, económicos y sociales (Loredo *et al*., 2007). El ejido el Jaral ubicado en el municipio de Mexquitic de Carmona S. L. P., presenta problemas de degradación de suelo y pérdida de cobertura vegetal. Para ello se hace necesario diagnosticar la percepción de la problemática ambiental de esta comunidad basado en indicadores ambientales en base a la utilización de instrumentos de consulta y así identificar el grado de conocimiento, la forma que percibe la población los indicadores en materia social, económica y ambiental. Cada vez es mayor la importancia de fomentar la conciencia sobre la relación que existe entre los recursos naturales. Los estudios de percepciones son útiles en las decisiones sobre el manejo de los recursos naturales ya que proveen información respecto a cómo se relacionan los individuos y grupos sociales con sus recursos naturales, contribuyen al conocimiento de una comunidad desde la perspectiva de quienes la habitan y permite la identificación de problemas (Durand, 2008).

Materiales y Métodos

El estudio se desarrolló en el ejido localizado en las coordenadas 101º 09’ 21” LW; 22º 05’ 12” LN, con una altura de 2020 msnm, en el municipio de Mexquitic de Carmona en la zona altiplano del estado de San Luis Potosí.

Descripción de los Instrumentos de Consulta

Encuesta de percepción ambiental

Se diseñó y aplicó un cuestionario general para identificar la percepción de la problemática ambiental en los habitantes del Ejido El Jaral. Este cuestionario fue estructurado por seis secciones. Datos generales, estos se refieren a los atributos sociodemográficos del encuestado, interés general, conocimiento sobre el suelo, usos y costumbres, actitudes, valores y participación comunitaria. En la sección de datos generales, los atributos sociodemográficos considerados fueron el género, edad, ocupación y procedencia. En la sección de interés general, se preguntó ¿cuáles aspectos caracterizan al ejido El Jaral? Con 15 opciones de respuestas. En la sección de conocimiento del suelo se hicieron dos preguntas referentes a ¿cuál es significado correcto del suelo? con cuatro opciones de respuesta; ¿cuál considera que es una problemática del suelo? con doce opciones; en la sección de usos y costumbres se cuestionó ¿cuál es el mayor uso que se le da al suelo en la región? con seis opciones; en la sección de actitudes, en relación a la pérdida del suelo ¿qué actividades realiza la comunidad para su mejoramiento? Con seis opciones de respuesta. En la sección de valores se preguntó ¿qué importancia tiene el suelo para mejorar la calidad de vida en la comunidad? Con seis opciones. En la sección de participación comunitaria se cuestionó ¿cuál sector de la población tiene mayor responsabilidad en la conservación y restauración del suelo? con cuatro opciones y ¿en qué actividades le gustaría participar para la conservación y restauración del suelo? con ocho opciones. Para la aplicación de la encuesta se convocó a la participación comunitaria en una junta de asamblea.

Encuesta de indicadores ambientales

Se consideraron datos sociodemográficos (genero, edad, ocupación y procedencia) así como temas e indicadores. El número total de indicadores fue de 26, los cuales fueron ordenados en el tema social, economía, medio ambiente, manejo y conservación de suelos, financiamiento y participación comunitaria e importancia de la conservación de los suelos. Fue considerada la pregunta clave para responder el cuestionario por parte del encuestado de ¿qué tan necesario es conocer el indicador para mejorar la calidad de vida y conservación del recurso suelo? Las opciones de respuesta fueron divididas en cuatro categorías: necesario, no necesario, desconozco (para aquellos casos en que el

indicador no lograba ser comprendido por el encuestado), e indiferente. Lo anterior de acuerdo a la metodología de Alcalá *et al.*, (2008).

Toda la información fue capturada utilizando el programa de Excel y analizada en el paquete estadístico SPSS bajo el análisis de frecuencias, descriptivo y procedimiento de tablas de contingencias. Para algunos atributos sociodemográficos de los encuestados se aplicó una prueba de Pearson chi- cuadrado con un nivel de significancia de $p \leq 0.10$ para conocer la interacción entre variables de la edad, ocupación y procedencia con respecto a las opciones de respuesta de cada pregunta (Alcalá *et al.*, 2008).

Resultados

El número total de encuestas aplicadas para cada objetivo fue de 37, de las cuales 91.9% correspondió al género masculino y 8.1% femenino. Asimismo, 97.3% de los participantes nacieron dentro del municipio, 2.7% procedían de otra parte del estado. El rango de edad que predominó fue 51-60 años con 29.8% y sobre la ocupación 45.9% están empleados mientras que el 48.5% están desempleados y el 5.5% se dedican al hogar.

Cuadro1. Resumen de los resultados de la encuesta aplicada para conocer la percepción comunitaria sobre conservación y restauración del suelo, en El Jaral.

Componente de encuesta	Dato específico de encuesta	Aspecto	Porcentaje (%)
Características Generales	Aspectos que caracterizan al ejido El Jaral.	Presas (Cuerpo de agua)	73.7%
	Significado correcto de suelo.	Mezcla de minerales, materia orgánica, bacterias, agua y aire.	65.8%
	Problemática del suelo.	Erosión	65.8%
Usos y costumbres	Mayor uso que se le da al suelo en la región.	Forestal	63.2%
	Que hace la comunidad para mejorar el suelo.	Construcción de obras de conservación.	81.6%
Actitudes	Importancia que tiene el suelo para mejorar la calidad de vida en la comunidad.	Paisaje.	47.4%
Valores	Sector de la población con mayor responsabilidad en la conservación y restauración del suelo.	Gobierno federal	73.3%
Participación comunitaria	Actividades que le gustaría participar para la conservación y restauración del suelo.	Reforestación	84.2%

Cuadro 2. Resultados generales del análisis descriptivo de la encuesta de indicadores ambientales.

Componente de encuesta	Dato específico de encuesta	Sector encuestado			
		Necesario	No necesario	Desconozco	Indiferente
Social	Población total en el ejido	91.9%	2.7%	5.4%	0
	Población con acceso a agua potable	8.1%	2.7%	10.8%	5.4%
	Servicios y bienes de las viviendas	78,4%	10.8%	5.4%	5.4%
	Viviendas que disponen de energía eléctrica	67.6%	8.1%	16.2%	8.1%
	Población usuaria de servicios de salud	75.7%	2.7%	10.8%	10.8%
Economía	Superficie de uso agrícola	73.0%	18.9%	8.1%	0
	Superficie de cultivos anuales	43.2%	32.4%	21.6%	2.7%
	Porcentaje de superficie forestal	75.7%	5.4%	16.2%	2.7%
	Porcentaje de medios de transporte	40.5%	37.8%	21.6%	0
	Porcentaje de negocios y actividades	40.5%	37.8%	24.3%	13.5%
	Población participativa en actividades del ejido	56.8%	29.7%	10.8%	16.2%
Medio Ambiente	Tratamiento de aguas residuales	54.1%	10.8%	29.7%	5.4%
	Criterios para determinar una ANP	89.2%	2.7%	8.1%	0
	Superficie para actividades de reforestación	91.9%	0	8.1%	0
	Conocimiento acerca de incendios forestales	86.5%	2.7%	10.8%	0
	Manejo del material reciclado de residuos sólidos	37.8%	18.9%	35.1%	8.1%
Manejo y conservación de suelos	Actividades de Reforestación	94.6%	0	5.4%	0
	Obras y prácticas para conservar el suelo	91.9%	0	5.4%	0
Financiamiento y participación comunitaria	Costo de construcción de obras y prácticas de conservación de suelos	86.5%	0	13.5%	0
	Costo del mantenimiento de obras y prácticas de conservación de suelos	83.8%	0	16.2%	0
	Porcentaje de la comunidad participativa	81.1%	5.4%	13.5%	0
Importancia de la conservación de los suelos	Disminución de escurrimientos	75.7%	2.7%	21.6%	0
	Especies nativas de la región	70.3%	8.1%	21.6%	0
	Retención del suelo	83.8%	5.4%	10.8%	0
	Estabilización de cárcavas	81.1%	0	18.9%	0

Conclusiones

De acuerdo a los instrumentos de consulta, se percibe que existe un compromiso en el Ejido por conservar su suelo en base a las condiciones naturales, sociales y económicas para resolver problemas. Señalan el paisaje de gran importancia que tiene el suelo para mejorar su calidad de vida, esto nos muestra una apreciación que la comunidad tiene hacia su lugar de origen y por tanto se pueden llevar a cabo ciertas actividades como el ecoturiso, sendero interpretativo, observación de aves, flora y fauna silvestre. Esto permite que la comunidad se convierta en un espacio de concertación para la toma de decisiones con el propósito de lograr un desarrollo integral.

Agradecimientos

A la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Referencias

Alcalá, J. A., Rodríguez, J. C., Villar, C., Sosa, M., Heredia, G., & Bolaños, H. (2009). Criterios e indicadores ambientales como estrategia de gestión ambiental en el ordenamiento territorial: bosque modelo Chihuahua.

Cotler, H., Sotelo, E., Domínguez, J., Zorrilla, M., Cortina S. Quiñones L.. 2007. La conservación de suelos: un asunto de interés público. Gaceta ecológica, 2007, n° 83, p. 5-71.

Durand, L.2008. De las percepciones a las perspectivas ambientales. Una reflexión teórica sobre la antropología y la temática ambiental. Revista Nueva Antropología 21(68):75-87.

INE-SEMARNAP, 2000. Ordenamiento Ecológico General del Territorio, Memoria Técnica 1995-2000. Dirección General de Ordenamiento Ecológico e Impacto Ambiental. 1-540pp.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2014). Conjunto de datos de erosión de suelos, escala 1:250 000. Serie I, continuo nacional. Elaboración de mapas: 2009-2013.

Loredo O. C., S. Beltrán López, F. Moreno Sánchez, M. Casiano Domínguez. 2007. Riesgo a la Erosión Hídrica y Proyección de acciones de manejo y conservación del suelo en 32 microcuencas de San Luis Potosí. Libro técnico N°3. INIFAP- CIRNE Campo experimental San Luis. San Luis Potosí, S.L.P. México. 209 p

DIMETILTRIPTAMINA Y SU EFECTO EN EL CONTROL DE *AEDES AEGYPTIS*

Luna-Anguiano J.[1]; Trujillo-Zacarías I[2*]; Arrieta-Ruiz N[2]; Urbina-Martínez MA. [1]; Buendía García A.[1]; Goytia-Rivera JA.[2]; Martínez-Silva DM.[2.]

[1] Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL). Periférico y carretera a Santa Fe s/n. Col. Valle verde, Torreón Coahuila. CP. 27000.
[2] Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias.

*Autor responsable: issanelly.trujillo@tecsanpedro.edu.mx; Calle de la Higuera Núm. 185, Col. Las Granjas, Gómez Palacio, Durango, Mexico. CP: 35118 Tel. +52 (871) 4087945.

Introducción

En las últimas décadas, la preocupación por conservar un equilibrio en temas relacionados con la salud pública ha sido de gran importancia. Brotes infecciosos inadvertidos y no controlados repercuten en enfermedades que se pueden desencadenar en endemia, epidemia o pandemia. En los temas de importancia sobre salud publica resaltan las enfermedades víricas transmitidas al ser humano por vectores infecciosos, tales como Anopheles, Aedes, Culex, Simulium, Mansonia, Psorophora y Culiseta, mejor conocido como mosquito común (Petric *et al.*, 2010). Dichas especies de mosquitos, tienen como fuente de alimento la sangre del ser humano; transmitiendo las diversas enfermedades víricas propias de un vector del orden de los dípteros y en particular del suborden de los nematóceros (Mosquito común) (Abbott, W. S. 1925). La creciente demanda de control de dichas enfermedades, es un tema de preocupación mundial. Se ha estimado que ocurren alrededor de 390 millones de casos de dengue a nivel mundial por año y de ellos 96 millones se vuelven casos clínicos.

Gustavo, K. (2006). Aedes Aegypti es el principal vector de enfermedades que durante la última década han provocado pérdidas de millones de vidas humanas con virus tales como: dengue, malaria, zika, chingunkuya entre otras. La proliferación de dicho vector se ha tratado de controlar a base de organofosforados, sin embargo, se han obtenido resultados insatisfactorios ya que este ha generado resistencia biológica al componente antes mencionado, Bisset Lazcano y Mondelo. (2014). Según la O.M.S (Nota descriptiva, agosto 2016), el dengue es una enfermedad viral que genera daños cuantiosos en los países donde se desarrolla; el número real de casos de dengue está insuficientemente notificado y muchos casos están mal clasificados. Según una estimación reciente, se producen 390 millones de infecciones por dengue cada año, (OMS., 2018). Afectando la economía, las actividades productivas y el turismo, entre otros. El principal transmisor de esta enfermedad es el mosquito Aedes Aegypti y las campañas para erradicar este vector se han dirigido principalmente hacia la eliminación de sus larvas y adultos por medio de larvicidas y plaguicidas a base de compuestos organofosforados tales como temefos. Sin embargo, de acuerdo a la información del centro de investigaciones en plagas e insecticidas (CIPEIN-CITEFA/CONICET), en un estudio realizado en el año 2010 sobre resistencia del Aedes Aegypti al temefos encontraron, que esta variedad de mosquito, conforme transcurren los años aumenta su resistencia a dicho larvicida organofosforado.

La presencia de organismos organofosforados, a través de los años ha causado serias consecuencias a la salud de los seres humanos presentando casos de intoxicación, daños físicos e inclusive la muerte, el abate o temefos en específico tiene consecuencias medianamente graves para la salud entre las que se puede encontrar: alergias, decoloración en la piel, pérdida del apetito y por consecuente anemia. Diversos estudios

se han centrado en la búsqueda de soluciones de origen orgánico, que favorezcan una actividad simbiótica de larvicida, insecticida y biocidas, permitiendo así controlar la población de mosquitos, sin presentar riesgos al ser humano y otros animales domésticos. Entre las alternativas de productos dedicados al control de plagas se encuentran algunas a base de microorganismos, plantas, nanotecnologías, entre otras. En este sentido el objetivo de la presente investigación fue Evaluar el efecto de la dimetiltriptamina sobre la disfunción motriz del Aedes Aegypti.

La Acacia Farnesiana, es una especie de árbol del género Acacia, perteneciente a la familia Fabácea, se le ha dado diversos nombres de acuerdo a su zona de distribución como Huizache, Aromo, carambuco, acacia de las Indias, aromito, bayahonda, cambrón, carambomba, cascalote, cuji cimarrón, churqui negro, espino blanco, espinillo, flor de aroma, flor de niño, entre otros. Este arbusto o árbol es oriundo de América del Sur y puede llegar a medir hasta diez metros de altura, y es reconocida a nivel mundial por sus flores que desprenden un exquisito aroma, así como por sus propiedades tanto de uso general como medicinales. Garcia-Rejon, J., & Eisen, L. (2011); Sanchez, L., & Van der Stuyft, P. (2006); Gustavo, K. (2006). Las investigaciones de dichas propiedades puede dar lugar al desarrollo de subproductos tales como repelentes de mosquitos, larvicidas, plaguicidas, sin ninguna intervención de un agente químico que pueda provocar efectos secundarios en el medio ambiente e incluso ser causante de enfermedades que pueden llegar a ser mortales. Dimetiltriptamina tiene efectos psicodélicos en diversos organismos lo cual propicia la disfunción motriz del mosco llevándolo a la muerte.

Por otro lado el uso de esta especie como agente principal para controlar plagas de mosquito, permitirá la conservación de la especie en la región, evitando la deforestación de la misma, por producción de carbón. Ademas de la dimetriltriptamina, proveniente del fruto de Acacia Farnesiana en interacción con alcaloides y glucósidos cianogénicos; pueden potencialmente propiciar el control de plagas de Anopheles, Aedes, Culex, Simulium, Mansonia, Psorophora y Culiseta, principales vectores de las enfermedades víricas como Plasmodium, Malariae, Dengue, Tifus, Zika, Chikungunya, Mayaro.

El extracto de las vainas inmaduras es utilizado como pegamento para las porcelanas rotas. El uso de la Acacia Farnesiana va mucho más allá, ya que es una planta que tiene infinidad de propiedades medicinales y beneficiosas, así como la Acacia Constantinopla, de utilidad para la preservación de la salud del hombre, las cuales son extraídas de sus flores y tallos o cualquier otra sustancia que se pueda extraer de su tronco. S/A. (2015). A pesar de que está muy extendido el uso de productos químicos para tratar los hábitats larvarios de Aedes Aegypti, el empleo de larvicidas debe considerarse un método complementario de la gestión ambiental y, salvo en caso de emergencia, ha de limitarse a aquellos recipientes que no puedan eliminarse o tratarse de ninguna otra forma.

Formas de extracción.

Los ingredientes activos presentes en el fruto de Acacia Farnesiana y cafeína, son extraídos por diversos procesamientos físicos y son una alternativa para control del mosquito ya que su toxicidad a base de Dimetriltriptamina, alcaloides y glucósidos cianógenos; sustancias a las cuales Aedes Aegypti no ha sido sometido anteriormente, y por lo tanto no ha creado una resistencia a su componente activo, dichas alternativas existentes se muestran a continuación:

Tabla 1.- Biocidas, larvicidas e insecticidas existentes.

Bacillus Thuringiensis	Se trata de un biolarvicida de baja toxicidad. Es una bacteria que actúa exclusivamente sobre las larvas de las variedades principales de mosquito.
Bioinsecticidas:	Son una tecnología innovadora para el control de mosquitos, basada generalmente en productos orgánicos, destinados al control inteligente de las distintas especies de dípteros culícidos.
Bioinsecticida	Termina con la vida de los mosquitos adultos a través del contacto en vuelo.
Biorepelente ambiental y humano	El olor sulfuroso de algunos Bioinsecticidas enmascara el olor natural proveniente de las plantas y disuade a los mosquitos a dejar el área tratada al no percibir los aromas que le proveen sustento alimentario.
Biolarvicida	Por su naturaleza orgánica, esta película no afecta los espejos de agua ni tampoco la fauna acuática, pero bloquea el paso del oxígeno necesario para que las larvas de mosquitos puedan sobrevivir, eliminándolas por asfixia.

Los tipos de tratamientos actuales usados para el control del mosquito, se describen a continuación:

Tratamiento con efecto residual
El tratamiento peri focal, tiene efectos larvicidas e imagocidas. Se han de aplicar los insecticidas adecuados con pulverizadores manuales de compresión y hay que tener cuidado de no tratar los recipientes que se utilicen para almacenar agua potable.

Fumigación de espacios
La fumigación de espacios para el control de vectores está recomendada solo en situaciones de emergencia, para erradicar una epidemia ya en propagación o frenar una epidemia incipiente. El objetivo de fumigar espacios es la destrucción rápida y masiva de la población de vectores adultos.

Ciclo de tratamiento
OMS. (2018). El ciclo de tratamiento con larvicidas dependerá de la especie de mosquito, de la estacionalidad de la transmisión, de los patrones de las precipitaciones, de la duración de la eficacia del larvicida y de los tipos de hábitats larvarios. Actualmente según una búsqueda realizada en el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI), se encuentran algunas patentes relacionadas con insecticidas, larvicidas o biocidas. Sin embargo ninguna de ellas presenta presencia del uso de Dimetiltriptamina y/o alcaloides.

La Dimetiltriptamina (DMT) es una sustancia psicodélica de origen natural de la clase de la triptamina, que produce efectos psicodélicos únicos de gran potencia, pero efímeros cuando se administra. Dependiendo de la dosis y el método de administración, los efectos de la DMT pueden variar desde estados psicodélicos leves hasta experiencias inmersivas poderosas que se describen a menudo como el desplazamiento de la conciencia en la que los usuarios se colocan en un estado subjetivo donde pueden experimentar y explorar estados espirituales inefables o dimensiones alternativas.

La DMT está presente en más de 65 especies de plantas y ha sido identificado como un constituyente normal del metabolismo humano y un neurotransmisor endógeno en ciertos roedores. También se sabe que su presencia está muy extendida en todo el reino vegetal. Aunque se han postulado varias teorías, su función neurobiológica aún no se ha determinado, (Psicoactiva., 2016). Actualmente en los larvicidas, plaguicidas e insecticida se encuentra presente la figura de los organofosforados. Hasta el momento no se reporta

existencia de ningún tipo de componente orgánico y/o químico que manejen una composición de la interacción entre alcaloides y dimetiltriptamina para el control del mosco Aedes Aegypti.

Evaluaciones en condiciones de laboratorio
Se evaluarán 3 concentraciones porcentuales peso/peso del fruto de Acacia Farnesiana con presencia de nitrógeno en forma de dimetiltriptamina y alcaloides, extraídos de la cafeína tradicional, en comparación con un agente organofosforado comercial Temephos en agentes biológicos de fácil manipulación en laboratorio, (larvas de Aedes Aegypti de cuarto estadio). Dichas pruebas se analizarán mediante un modelo estadístico de bloques completamente al azar. Teniendo como variables analíticas la disfunción motriz e índice de mortandad en larvas.

Materiales y Métodos

El trabajo investigativo será realizado en condiciones de laboratorio en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, ubicado en el municipio de San Pedro, localizado al sur oeste del estado de Coahuila en las coordenadas 102º 58’ 58’’ longitud oeste y 25º 45’ 32’’ latitud norte, a una altura de 1, 090 metros sobre el nivel del mar, (INAFED 2013).

Material vegetal (Recolección de materia prima).
Durante el periodo de marzo a mayo del 2018 se ha realizado la recolección de frutos de Acacia Farneciana en los sectores rurales de Flores Magón, Patrocinio, San Francisco de Ursa, municipios de San Pedro Coahuila. Se realizaron extractos acuosos a 15, 25 y 35%. Posteriormente se dejaron 24 horas en reposo, para la mejor extracción de sus compuestos hidrosolubles y al término de este tiempo se procedió a la separación del material solido del líquido, este último fue el medio soluble usado para efectuar las concentraciones porcentuales entre alcaloides y dimetiltriptamina.

Cría del mosquito Aedes Aegypti.
La crianza de mosquito se realiza de forma constante durante todo el ciclo Marzo – Julio 2018. Para la crianza se han recolectado huevos, larvas y pupas del mosquito Aedes Aegypti en estanques con agua sucia, charcas y cacharros del municipio de San Pedro. Posteriormente se colocaron en bandejas de plástico con agua, para su desarrollo en laboratorio de control biológico del instituto. Las pupas formadas se colectan diariamente y se depositan en una bandeja de plástico, con agua. La bandeja con pupas se introduce en una jaula entomológica y a los adultos emergidos dentro de esta se les alimento de dos maneras; con agua azucarada, para los machos y adicionalmente para las hembras se colocó un pollo inmovilizado en una jaula, como recurso hematofágico.

Los Huevos depositados en la superficie del agua, se colectaron diariamente y se colocaron en bandejas de plástico con agua para su eclosión. En estas bandejas se desarrollan las larvas, a las cuales se les proporciona alimento para peces tilapia (Aptilapia nivel 1), previamente molido. Al terminar el desarrollo de la larva y la formación de las pupas, se trasladaron a jaulas para adultos, así mismo para continuar cotidianamente con las actividades de cría de Aedes Aegypti con la finalidad de disponer constantemente del recurso biológico.

Concentraciones porcentuales usadas en bioensayos.
El medio acuoso obtenido de las concentraciones 15, 25 y 35% de Acacia Farnesiana es mezclado en porcentajes P/V%, con alcaloides presentes en cafeína tradicional. Dicha mezcla se dejará reposar durante 24 horas para proceder posteriormente a la extracción por filtración al vacío, del residuo líquido, el cual fue usado posteriormente en los bioensayos.

Tabla 3.- Concentraciones porcentuales que serán usados en bioensayos.

Concentraciones	% P (alcaloides) / %V(extracto de acacia)
T1	35% / 65%
T2	45% / 55%
T3	55 % / 45%

Bioensayos.

Las poblaciones de larvas de cuarto estadio temprano se concentraron en una bandeja con agua limpia, se seleccionarán grupos de 20 larvas para colocarlas en vasos de precipitados Pyrex de 150 ml de capacidad, a los que previamente se le añadirán 50 ml de agua. Posteriormente se aplicará 1mL de las concentraciones de Acacia Farnesiana y alcaloides. Un agente químico (Temephos) con las mismas concentraciones y la presencia de un testigo al cual no se le administrara ningún tratamiento. Para las dosis a evaluar se utilizaran tres repeticiones, dichos bioensayos, fueron evaluados mediante un modelo estadístico de bloques completos al azar.



Figura 2.- Crianza de Aedes Aegypti.



Figura 3.- Recolección de larvas/pupas de mosquito.

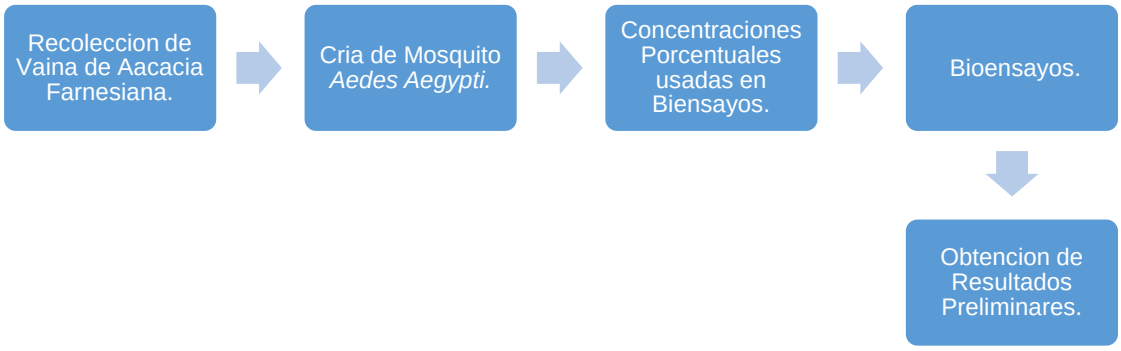


Figura 4.- Diagrama de flujo general del proceso de pre-experimentación

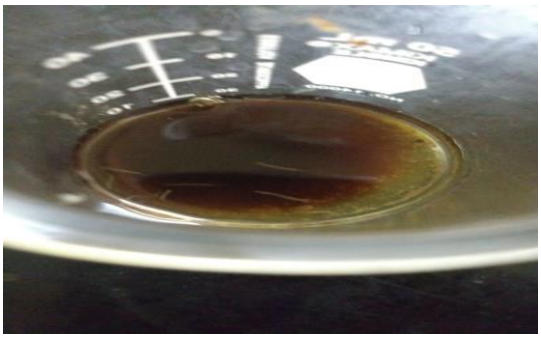


Figura 5.- Larvas en contacto con el concentrado porcentual de dimetiltriptamina y alcaloides. Se observa una disminución inmediata de su latigar.

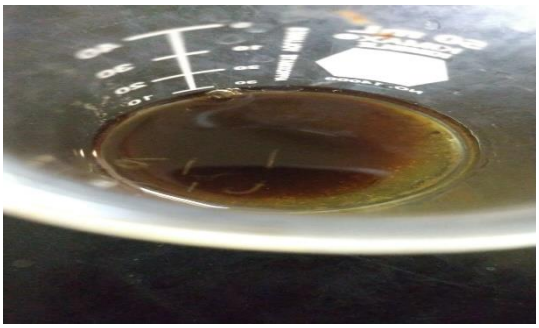


Figura 5.- Las larvas cambian la dirección de su latigar y tratan de alejarse de la presencia del concentrado porcentual, sin embargo algunas mueren después de 10 min.

Resultados y Discusión

Por análisis de observación, se puede verificar que las concentraciones porcentuales propuestas, tienen efecto directo en el latigar, y funcionamiento físico de las larvas de Aedes Aegypti. Cabe señalar que, para verificar la efectividad de las concentraciones, se aplicó la muestra propuesta a larvas de Aedes Aegypti, ya que, era el material biológico disponible. Donde se observó, que las larvas trataban de alejarse de la muestra, sin embargo, esta provocaba en un lapso no mayor a 10 minutos su mortandad. Estas concentraciones serán evaluadas como se mencionó anteriormente en larvas y moscos de Aedes Aegypti, y validadas por un diseño de bloques completos al azar, con la finalidad de designar cuál de las concentraciones propuestas presenta mayor eficiencia en las muestras biológicas.

Conclusiones

- ✓ Todas las concentraciones tienen efecto directo en el latigar, y funcionamiento físico de las larvas.
- ✓ El tiempo en que la sustancia hace efecto en las larvas es adecuado.
- ✓ Es necesario la evaluación mediante un desarrollo tecnológico para validación de los resultados in situ y ex situ.

Referencias

Petric, D., Boase, C., Lane, J., Zgomba, M., Dahl, C., & Kaiser A. (2010). Mosquitoes and their control (Vol.2, pp.25-40). Heidelberg: Springer.

Abbott, W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol., 18: 265-267.

Garcia-Rejon, J., Loroño-Pino, M., Najera-Vazquez, M. & Eisen, L.(2011). Mosquitos infestation and dengue virus ifection in Aedes aegypti females in schools in Merida, Mexico. Am. J. Trop. Med. Hyg. (pp. 489-496)

Sanchez, L., Vanlerberghe, V., Alfonzo, L., Marquetti M. D. C., Guzman, M. G., Bisset, J & Van der Stuyft, P. (2006). Aedes aegypti larval indices and risk for dengue epidemics. Emerging Infect. Dis. 2(5), 800-806

Gustavo, K. (2006). El dengue, un problema creciente de salud en las Américas. Rev. Panam. Salud Publ., 19(3), 143-145.

Bhatt, S., Gething, P. W., Brady, O. J., Mesina, J. P., Farlow, A.W., y Moyes, C.L., Drake, J.M., Brownstein, J.S., Hoen, A.G., Sankoh, O., Myres M.F., George, D.B., Jaenisch, T., Wint, G.R., Simmons, C.P., Scott, T.W., Farrar, J.J. & Hay, S.I. (2013). The global distribution and burden of dengue. Nature, 496(7446), 504-507-

COLVARD J. 1978. El comportamiento alimentario de los mosquitos. Investigación y Ciencia. Edición en español Scientific American, Núm. (23): 86-93.

Ariosto Ardila, Jesús Escovar, Felio Bello. (2005). Características de nuevos cultivos celulares derivados detejidos embrionarios de Aedes aegypti (Diptera: Culicidae). 2010, de Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal Sitio web: http://www.redalyc.org/html/843/84325108/

ENTOLUX. (2006). CONTROL BILOGICO DE MOSQUITOS. 2018, de ENTOLUX Sitio web: http://www.entolux.com/page.php?id=69

OMS. (2018). LUCHA CONTRA EL DENGUE. 2018, de OMS Sitio web: http://www.who.int/denguecontrol/control_strategies/chemical_control/es/

PSICOACTIVA. (2016). DMT UNA SUSANCIA PSICODELICA NATURAL. 2018, de PSICOACTIVA Sitio web: https://www.psicoactiva.com/blog/dmt-o-dimetiltriptamina/

Dreo, J.. (2014). El Ciclo del Nitrogeno. 2018, de KHANA ACADEMY Sitio web: https://es.khanacademy.org/science/biology/ecology/biogeochemical-cycles/a/the-nitrogen-cycleLos

S/A. (2015). LA ACACIA FARNESIANA. 2018, de buythesisskins Sitio web: http://hablemosdeflores.com/la-acacia-farnesiana/#Uso_de_la_Acacia_farnesiana

Dr. Juan Andrés Bisset Lazcano, Dr. Rolando Esteban Mondelo. (2014). Evaluación de la resistencia a insecticidas en Aedes aegypti. 2018, de Scielo Sitio web: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0375-07602014000300005

XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 1 a 5 de octubre de 2018

FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y ABSORCIÓN DE FÓSFORO EN TRIGO, EN UN SISTEMA DE LABRANZA MÍNIMA.

Cortés-Jiménez, J.M.[1*]; Ortiz-Ávalos, A.A.[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Norman E. Borlaug.

*Autor responsable: cortes.juanmanuel@inifap.gob.mx; Calle Norman E. Borlaug km 12, Valle del Yaqui, Ciudad Obregón, Sonora. México. CP 85000 Tel. +52 (55)-387-18700 Ext. 81210

Resumen

En el Campo Experimental Norman E. Borlaug, durante el ciclo 2017-18, se evaluó el efecto de 0.9 t ha^{-1} de Nutripellet aplicado en banda como fertilizante orgánico, en un sistema de labranza mínima en trigo y dos niveles de disponibilidad de fósforo en el suelo. El producto tiene una concentración de fósforo de 0.973%. Se fertilizó con 600 kg ha^{-1} de urea aplicada en banda. Se sembró con 100 kg ha^{-1} de semilla de la variedad BAROYECA ORO C2013. Se encontraron diferencias significativas en el rendimiento de grano y paja, espigas y granos por metro cuadrado, y en la absorción de fósforo entre los dos niveles de disponibilidad de este elemento en el suelo. Los tratamientos de Nutripellet mostraron diferencias significativas en el número de granos por metro cuadrado y en la absorción de fósforo.

Palabras clave

Nutripellet; gallinaza; labranza mínima

Introducción

En el sur de Sonora, la agricultura orgánica avanza al ritmo del sector orgánico de México, el cual se sitúa en el tercer lugar a nivel mundial por el número de productores dedicados a esta actividad y en el lugar treceavo por la superficie establecida (Lernoud y Willer, 2017). En el presente año, dentro de los temas para investigación e innovación planteados en la Agenda Mexicana Agroalimentaria (AMEXAGRO) del Sistema Nacional de Investigación y Transferencia Tecnológica para el Desarrollo Rural Sustentable (SNITT, 2018), destaca la generación y/o actualización, validación y transferencia de un paquete tecnológico para la producción convencional y orgánica de trigo blando (arreglos topológicos, nutrición, control de malezas, riego, labranza de conservación y manejo integrado de plagas y enfermedades). Al respecto, el INIFAP en colaboración con el PIEAES, A.C., a partir del ciclo 2000-2001, iniciaron acciones para la evaluar la factibilidad de implementar la agricultura orgánica en la región, y en junio de 2017, la empresa Agricert otorgó la certificación orgánica de trigo, cártamo, garbanzo y soya en 2.0 ha ubicadas dentro de las instalaciones del Campo Experimental Norman E. Borlaug. Al inicio, se estudió el efecto de todos los estiércoles disponibles en la región, actualmente, se realizan estudios con compostas y productos con registro OMRI, los cuales por lo general son aceptados en agricultura orgánica. Estudios realizados con el producto Nutripellet durante el ciclo 2016-2017, en un suelo con una disponibilidad de fósforo de 38 ppm, se

obtuvo un incremento de 1.003 ton ha^{-1} al aplicar 1.357 t ha^{-1} de Nutripellet, mientras que, en un suelo con 13.6 ppm, el incremento en producción fue de 1.075 t ha^{-1} (Cortés *et al*., 2017). La aplicación localizada de una cantidad relativamente pequeña de fertilizante orgánico, promovió incrementos en rendimiento de trigo superiores a los obtenidos con la aplicación al voleo de 10 ton ha^{-1} de gallinaza. Este hecho, además del sistema de labranza en surcos, donde se reutiliza la misma cama de siembra del cultivo anterior, permite acumular en pocos ciclos, las cantidades necesarias de nutrimentos que maximizan el rendimiento y la rentabilidad del trigo, al mismo tiempo que se incrementa el contenido de materia orgánica y la calidad del suelo. Otros autores también reportaron efecto significativo del Nutripellet sobre la altura de planta y la biomasa aérea de calabaza (*Cucúrbita pepo L.*), al aplicar 0.5 t ha^{-1} del producto (Arellano *et al*., 2016). En Girasol, una dosis de 1.5 t ha^{-1} de Nutripellet aplicado al voleo, optimizó el rendimiento de grano (Ortiz *et al.,* 2016). El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de Nutripellet aplicado en banda, en un sistema de labranza mínima con reutilización del surco, en un sistema de monocultivo de trigo.

Materiales y Métodos

La evaluación se realizó durante el ciclo otoño-invierno 2017-2018, en las instalaciones del Campo Experimental Norman E. Borlaug del INIFAP, el cual se encuentra ubicado en el Block 910 del Valle del Yaqui, Sonora. Se estudió el efecto de 0.90 t ha^{-1} de Nutripellet, fertilizante orgánico peletizado elaborado a base de gallinaza que cuenta con registro OMRI nad 5875 y Cofepris. El análisis del producto realizado en el laboratorio de suelos del CENEB-INIFAP, reportó 3.04% de nitrógeno, 0.973 de fósforo, 2.23% de potasio, 2.84% de calcio, 1.1% de magnesio, 0.42% de sodio, 74.5 ppm de cobre, 4285 ppm de fierro, 594 ppm de manganeso y 478 ppm de zinc. El producto se evaluó en dos niveles de disponibilidad de fósforo, 12.2 y 22.5 ppm, sobre unidades experimentales que se aplicaron con Nutripellet el ciclo anterior, las cuales se dividieron en dos, una parte se aplicó con 0.9 t ha^{-1} y la otra no, ambos tratamientos se compararon con un testigo sin Nutripellet durante los dos ciclos.

La siembra se realizó en surcos a 80 cm de separación y dos hileras de plantas separadas a 30 cm. Se utilizó la variedad BAROYECA ORO C2013 con 100 kg ha^{-1} de semilla. La fecha de siembra fue el 7 de diciembre de 2017. Se aplicó un riego de presiembra y cuatro riegos de auxilio. Después del primer riego de auxilio, se realizó una aplicación para el control de pulgón y maleza. Se utilizó un diseño en franjas de 8 surcos de 110 metros de longitud. Para determinar la absorción de fósforo, se tomaron tres muestras de 0.8 m^2 por tratamiento de la biomasa aérea del cultivo en los dos niveles de disponibilidad de fósforo. Se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, donde la parcela mayor correspondió a la disponibilidad de fósforo en el suelo y la menor a los tratamientos con Nutripellet. Se determinó el peso de grano y paja por unidad de superficie y su concentración de fósforo, así como los componentes de rendimiento. La digestión de las muestras de paja y grano se realizó en una mezcla de ácido nítrico, perclórico y sulfúrico en relación 10:1:0.25. El grano se cosechó con 11% de humedad y se secó a 65 °C hasta peso constante, para el análisis de su contenido de fósforo.

El Nutripellet se aplicó con sembradora triguera en tres bandas sobre la cama de siembra en un sistema de labranza mínima, donde se reutiliza el surco del cultivo anterior, sin el uso de labranza primaria. Se utilizaron tres pasos de maquinaria para reacondicionar los surcos, en los dos últimos se aplicó el

fertilizante orgánico y en dos pasos adicionales se fertilizó con 600 kg ha^{-1} de urea aplicada en banda. En la figura 1, se observa la maquinaria utilizada para la siembra del ensayo, el cual se estableció en un terreno donde se ha reutilizado el surco durante los últimos 18 años, sin uso de rastra, arado o cincel. En un primer paso, se controla la maleza y se vuelve a marcar el surco. En los pasos siguientes se incorpora parte de los residuos de la cosecha anterior. El cultivo se establece con sembradora convencional con una cantidad considerable de paja en la superficie del suelo.



Figura 1. Triple barra para eliminar maleza y reformar los surcos y siembra sobre el surco del ciclo anterior.

Resultados y Discusión

Se encontraron diferencias significativas en el rendimiento de grano y paja, espigas y granos por metro cuadrado, y en la absorción de fósforo entre los dos niveles de disponibilidad de este elemento en el suelo (Cuadros 1-5). Los tratamientos de Nutripellet mostraron diferencias significativas en el número de granos por metro cuadrado y en la absorción de fósforo.

Cuadro 1. Efecto del Nutripellet sobre el rendimiento de grano en un sistema de labranza mínima.

Aplicación de Nutripellet	Rendimiento de grano t ha^{-1}		
	12.2 ppm de P	22.5 ppm de P	Media
1 ciclo	4.950	6.667	5.808 a
2 ciclos	5.558	6.808	6.183 a
Testigo	4.475	6.475	5.475 a
	4.994 a	6.650 b	

Cuadro 2. Efecto de Nutripellet sobre el rendimiento de paja en un sistema de labranza mínima.

Aplicación de Nutripellet	Rendimiento de paja t ha^{-1}		
	12.2 ppm de P	22.5 ppm de P	Media
1 ciclo	6.300	8.516	7.408 a
2 ciclos	7.225	8.766	7.996 a
Testigo	5.891	8.133	7.012 a
	6.472 a	8.472 b	

Cuadro 3. Efecto de Nutripellet sobre el número de espigas/m^2 en un sistema de labranza mínima.

Aplicación de Nutripellet	Espigas por metro cuadrado		
	12.2 ppm de P	22.5 ppm de P	Media
1 ciclo	242	335	289 a
2 ciclos	270	311	290 a
Testigo	208	316	262 a
	230 a	320 b	

Cuadro 4. Efecto de Nutripellet sobre el número de granos/m^2 en un sistema de labranza mínima.

Aplicación de Nutripellet	Granos por metro cuadrado		
	12.2 ppm de P	22.5 ppm de P	Media
1 ciclo	10091	12646	11368 ab
2 ciclos	11255	13400	12327 a
Testigo	8522	12868	10695 b
	9956 a	12971 b	

Cuadro 5. Efecto de Nutripellet sobre la absorción de fósforo en un sistema de labranza mínima.

Aplicación de Nutripellet	Absorción de fósforo kg ha^{-1}		
	12.2 ppm de P	22.5 ppm de P	Media
1 ciclo	11.01	19.28	15.14 ab
2 ciclos	12.70	19.39	16.04 a
Testigo	8.74	17.36	13.05 b
	10.81 a	18.68 b	

En promedio, el testigo presentó los valores menores en todas las variables evaluadas. Los valores mayores se observaron con la aplicación de Nutripellet durante dos ciclos. Lo anterior fue más evidente en el suelo con menor disponibilidad de fósforo. En comparación con el testigo, el mayor rendimiento de grano y absorción de fósforo en el tratamiento donde se aplicó el fertilizante orgánico el ciclo anterior, es un indicador del efecto residual del fertilizante, el cual se espera que se sume al efecto de la aplicación durante la presente evaluación y se podrá cuantificar el ciclo siguiente. Este efecto de acumulación de nutrimentos que se observa al reutilizar los mismos surcos del cultivo anterior y fertilizar en banda, permite reducir los costos al utilizar abonos orgánicos certificados. En este sistema, se promueve la producción orgánica de trigo en el sur Sonora, ya que se puede controlar mecánicamente la maleza sin el uso de labranza convencional y se reducen los costos de producción.

Conclusiones

La aplicación de Nutripellet en dos ciclos consecutivos, incrementó la absorción de fósforo con relación al testigo. También incrementó el rendimiento de grano y paja, aunque no de manera significativa.

Agradecimientos

A la empresa Novedades Agrícolas DASA, por facilitar el producto y recursos para el establecimiento de los ensayos de labranza mínima en las instalaciones del INIFAP-PIEAES, A.C.

Referencias

Arellano, G.M., O. Peñuelas, C. Mungarro, J.L. Martínez, y M.A. Gutiérrez. 2015. Efectividad biológica de composta pelletizada, sobre el desarrollo de plántulas de calabaza (*Cucurbita pepo L.*) bajo condiciones de invernadero. En: J.A. Villanueva y R. Jarquín (Coord.). Agricultura sostenible. Armonía entre el hombre y la naturaleza. Universidad Autónoma de Aguascalientes. p 473-578.

Cortés, J.J.M. y A.A. Ortiz. 2017. Agricultura orgánica: una nueva revolución verde para el valle del Yaqui, Sonora. En: Jarquín, G.R. y A. Huerta (Coord.). Agricultura sostenible como base para los agronegocios. Memorias del Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible A.C. Cd. Obregón, Sonora, México. p. 252-261.

Cortés, J.J.M., A.A. Ortiz, y G. Zazueta. 2017. Fertilización orgánica certificada en el cultivo de trigo. Valle del Yaqui, Sonora. En: Jarquín, G.R. y A. Huerta (Coord.). Agricultura sostenible como base para los agronegocios. Memorias del Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible A.C. Cd. Obregón, Sonora, México. p. 891-897.

Lernoud, J. and Willer, H. 2017. Current statistics on Organic Agriculture Worlwide: Area, Operators, and Market. The World of organic agriculture statistics and emerging trends 2017. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL) Frick, and IFOAM – Organics International, Bonn. p 23, 25, 30.

Ortiz, A.A.A., Cortés, J.J.M., Zazueta, E.G. y Rivera, G.M. 2016. Evaluación de dos genotipos de girasol y un fertilizante orgánico certificado en el Valle del Yaqui, Sonora. Memoria de la XXVIII Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED. Gómez Palacio, Durango. p. 201-206.

SNITT. 2018. Agenda Mexicana Agroalimentaria. https://www.amexagro.mx/laravel/public/subsector/agricola/sistema_producto/35#tii recuperado el 13-09-2018.