

Suelos Sanos y Resilientes para el Desarrollo Sostenible



inifap


¡Ah Chihuahua!

VÍVELO PARA AMARLO



SECRETARÍA
DE TURISMO

SECRETARÍA
DE DESARROLLO RURAL

ISBN
978-607-26878-0-6

EDITORES
Fabián Fernández Luqueño
Gabriela Medina Pérez
Dámaris L. Ojeda Barrios
Dulce Y. Flores Rentería

Agradecimientos:

Todas las aportaciones aquí vertidas fueron revisadas y aprobadas mediante revisión por pares realizadas por investigadores y académicos de múltiples instituciones que fungieron como árbitros. Las contribuciones in extenso participaron durante el 48 Congreso Mexicano de la Ciencia del Suelo. Nuestro agradecimiento y reconocimiento a todos aquellos que hicieron posible la publicación de este libro.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Nombres: Fabián Fernández-Luqueño, editor | Gabriela Medina Pérez, editora | Dámaris L. Ojeda Barrios, editora | Dulce Y. Flores Rentería, editora

Título: Suelos Sanos y Resilientes para el Desarrollo Sostenible.

Descripción: Primera Edición Digital. | Saltillo, Coahuila de Zaragoza | Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. (SMCS), 2024.

Identificadores: ISBN Digital 978-607-26878-0-6

Temas: Los Suelos en el Espacio y Tiempo; Propiedades y Procesos del Suelo; Uso y Manejo del Suelo; El Papel del Suelo en la Sostenibilidad del Medio Ambiente y la Sociedad; Ciencias de Frontera y Multidisciplinarias del Suelo; Ecología y Ciencias de la Tierra.

Los manuscritos incluidos en este libro fueron arbitrados por pares académicos a solicitud del Comité Científico y Editorial del Comité Organizador del 48 Congreso Mexicano de la Ciencia del Suelo. El contenido o información vertida son responsabilidad exclusiva de cada autor.

Primera Edición. ISBN: 978-607-26878-0-6

D. R. ©1st Edition

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. (SMCS), 2024

Publisher

Km. 38.5, Carretera México-Texcoco.

Universidad Autónoma Chapingo, Edificio del Departamento de Suelos,

C.P. 56230, Apartado Postal 45.

Chapingo, Estado de México. México.

Esta edición y sus características son propiedad de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

La versión electrónica de este libro es gratuita. Disponible en la página de la SMCS (<https://www.smcsmx.org/>)

Diseño y formación: Editores

Hecho en México

Foto de portada: Tequezquite: el suelo también se cosecha. Autor: Gabriel Alejandro Hernández Vallecillo. Ganador del segundo lugar del concurso de fotografía en el marco del 48CMCS.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Mesa Directiva de la SMCS, A.C. (2023-2025)

Dr. Fabián Fernández Luqueño
Presidente

Dra. Dámaris Leopoldina Ojeda Barrios
Vicepresidente

Dr. Hermes Pérez Hernández
Secretaría General

Dra. Dulce Yaahid Flores Rentería
Tesorera

Dr. Edgar Vázquez Núñez
Secretaría Técnica

Dr. Oscar Cruz Álvarez
Secretaría de Eventos Nacionales e Internacionales

Dra. Miriam Galán Reséndiz
Secretaría de Relaciones Públicas

M.C. Iris del Carmen Morales Espinoza
Subsecretaría de Fomento a la Integración, Promoción y Mercado

M.C. Gabriel Alejandro Hernández Vallecillo
Secretaría de Acción Juvenil

M.C. Ricardo González Zavaleta
Secretaría de Promoción de Membresías

Dra. Rosalia del Carmen Castelán Vega
Secretaría de Educación y Enseñanza

M.C. Ramón Saúl Lujan Aguirre
Secretaría de Difusión y Comunicación Social

M.C. Sandra Monserrat Barragán Maravilla
Subsecretaría de Creación de Contenido Digital

Dra. Susana González Morales
Secretaría de Gestión de Redes de Innovación

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Comité

Presidente	Dra. Dámaris Leopoldina Ojeda Barrios Universidad Autónoma de Chihuahua
Coordinación General	M.C. Ramón Saúl Luján Aguirre Universidad Autónoma de Chihuahua
Coordinadora de Simposios	Dra. Ofelia Adriana Hernández Rodríguez Universidad Autónoma de Chihuahua
Coordinación de Conferencias Magistrales	Dr. Ricardo Aarón González Aldana Universidad Autónoma de Chihuahua
Coordinación de Cursos-Talleres	Dr. Oscar Fernández Fernández Universidad Autónoma Chapingo
Coordinación Científica y Programa General	Dr. Fabián Fernández Luqueño Cinvestav Saltillo Dra. Dámaris Leopoldina Ojeda Barrios Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, UACH
Coordinadores de División	
División 1 Suelos en el Espacio y Tiempo	Dr. Bruno Manuel Chávez Vergara Instituto de Geología, UNAM
División 2 Propiedades del Suelo y Procesos	Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
División 3 Uso y Manejo del Suelo	Dr. Pablo Preciado Rangel Tecnológico de Torreón
División 4 El papel del Suelo en el Sostenimiento de la Sociedad y el Medioambiente	Dr. Adalberto Benavides Mendoza Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro"

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

División 5 Ciencias de Frontera y Multidisciplinarias del Suelo	Dr. Esteban Sánchez Chávez Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo
División 6 Ecología y Ciencias de la Tierra	Dr. Edgar Vázquez Nuñez Universidad de Guanajuato
Coordinación de División de Educación y Asistencia Técnica	Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Coordinación del Premio Nacional de Suelos “Dr. Ramón Fernández González”	Dr. Fabián Fernández Luqueño Cinvestav Saltillo
Coordinación de concurso de tesis de licenciatura y posgrado	Dr. Oscar Cruz Álvarez Universidad Autónoma de Chihuahua
Coordinación de recorridos de campo	Dr. Juan Luis Jacobo Cuéllar Universidad Autónoma de Chihuahua
Coordinación de redes sociales	Sandra Monserrat Barragán Maravilla Colegio de Postgraduados
Coordinación de concurso de fotografía científica	Dra. Dulce Yaahid Flores Rentería Conahcyt-Cinvestav Saltillo
Coordinación de concurso de dibujo y pintura	Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Coordinación de conferencias simultaneas	Dra. Susana González Morales Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Administradores de redes sociales	M.C. Sandra Monserrat Barragán Maravilla Colegio de Postgraduados
Coordinación de contenido de página web	Ing. Gabriel Torres Montaña Universidad Autónoma de Chihuahua
Coordinación de los correos	M.A. Gustavo Rogelio López Ochoa Universidad Autónoma de Chihuahua

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Constancias	M.C. Sandra Monserrat Barragán Maravilla Colegio de Postgraduados
Coordinación de presentación de libros	Dr. Julián Delgadillo Martínez Colegio de Postgraduados
Coordinación de Patrocinadores	Dra. Dámaris Leopoldina Ojeda Barrios Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, UACH
Coordinación de recorridos turísticos y actividades culturales	M.C. Juan Manuel Cordero González Universidad Autónoma de Chihuahua
Coordinación de infraestructura y asignación de espacios	Dra. Linda Citlalli Noperi Mosqueda Dra. Martha Irma Balandrán Valladares Universidad Autónoma de Chihuahua
Coordinación de sesión de posters	Dr. César Roberto Sarabía Castillo CINVESTAV Dr. Alejandro Palacio Márquez Universidad Autónoma de Chihuahua
Coordinación de comunicación y transporte	Dra. Anabel Ortega Rodríguez Universidad Autónoma de Chihuahua
Concurso de Clasificación de Suelos	Dr. Hermes Pérez Hernández Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Coordinación Cata de Vino	Dr. Rodrigo Alonso Villegas Universidad Autónoma de Chihuahua
Coordinación Administrativa UACH	Dr. Miguel Ángel Piñon Miramontes Universidad Autónoma de Chihuahua
Coordinación 2da Conferencia Internacional de Sustentabilidad e Innovación del suelo	Dr. Fabián Fernández Luqueño Cinvestav Saltillo Dra. Dulce Yaahid Flores Rentería Conahcyt-Cinvestav Saltillo

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Patrocinadores



SECRETARÍA
DE DESARROLLO RURAL



SECRETARÍA
DE TURISMO


¡Ah Chihuahua!
VÍVELO PARA AMARLO



KENWOOD



**Voces del Suelo,
Agricultura y Medioambiente**
Revista de Divulgación de la
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.

TERRA
Latinoamericana
Revista de Difusión Científica de la
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.

Índice

División 1

Los Suelos en el Espacio y Tiempo

INFLUENCIA ANTRÓPICA EN LA CLASIFICACIÓN CIENTÍFICA DE LOS SUELOS DEL EX LAGO DE TEXCOCO

Sandra Monserrat Barragán Maravilla; Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena; Gabriel Alejandro Hernández Vallecillo; Carlos Alberto Ortiz Solorio; Claudia Isabel Hidalgo Moreno ... 2

IMPACTO DE LA LABRANZA DE CONSERVACION EN LA SALUD DEL SUELO VERSUS CONVENCIONAL EN SISTEMAS PRODUCTIVOS AGRÍCOLAS

María Fernanda Godínez-Montemayor; Edgar Vladimir Gutiérrez-Castorena; Martin Espinosa Ramírez; Vicente Vidal Encinia-Uribe; Natalia Carrillo Vizcaino; Ma. Del Carmen Gutiérrez-Castorena ... 6

ELABORACIÓN DE MONOLITOS DE SUELO PARA DOCENCIA

Mayra Madai Romero Aguilar; Guillermo Ramírez Rosales; Juan Carlos Sandoval Aparicio; Alma Bella López López; Gerardo Cruz Flores ... 11

PREDICCIÓN DE TIPOS DE SUELO CON APRENDIZAJE AUTOMÁTICO: UN ENFOQUE DE MAPEO ESPACIAL

Sergio Morales Salazar; Demetrio Salvador Fernández Reynoso; Adolfo López Pérez; Adolfo Antenor Exebio García; Teresa Margarita González Martínez ... 17

CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUELOS AGRÍCOLAS PARA PRODUCCIÓN DE NUEZ EN GÓMEZ PALACIO, DURANGO

Natalia Carrillo Vizcaino; Edgar Vladimir Gutiérrez Castorena; Rafael Zúñiga Valenzuela; Elizabeth Zúñiga Valenzuela; Vicente Vidal Encinia Uribe; María Fernanda Godínez Montemayor; Emilio Villalobos Hernandez ... 22

ANÁLISIS MULTIESCALAR DE PROCESOS PEDOGENÉTICOS EN EL YACIMIENTO PALEONTOLÓGICO DE TOCUILA, TEXCOCO, MÉXICO

Ygor Manuel Ortega-Mikolaev; Ma. de Carmen Gutiérrez-Castorena; Carlos Alberto Ortiz-Solorio; Edgar Vladimir Gutiérrez-Castorena; Iris Grisel Galván-Escobedo; Joaquín Arroyo-Cabrales; Luis Morett-Alatorre ... 27

COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LA CONCENTRACIÓN DE CATIONES INTERCAMBIABLES EN UN SUELO TROPICAL EN SAN JOSÉ PUYACATENGO, TEAPA, MÉXICO

Roman Roberto Vasquez Rendon; Victorino Gomez Valenzuela ... 33

División 2

Propiedades y Procesos del Suelo

COMPORTAMIENTO DE VARIEDADES DE FRIJOL (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) ASOCIADAS CON MAÍZ (<i>Zea mays</i> L.) Y CALABAZA (<i>Cucúrbita pepo</i> L.) Miguel Ángel Valdez-García; Luis Fernando Sánchez-Estrada; Pablo Lozano-Ruíz; Alfredo Lara-Herrera; Rodolfo de la Rosa-Rodríguez	... 38
RELACIONES GEOMORFO-EDÁFOLOGICAS DE LA LADERA NORTE DEL VOLCÁN TLÁLOC, SIERRA CHICHINAUTZIN Lourdes Rodríguez-Gamiño; Jorge López-Blanco; Gilberto Vela-Correa; Marina Ferreira-Ocaña	... 44
CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS SALINOS DE LA COMUNIDAD SAN MATEO HUITZINCO DEL MUNICIPIO DE CHALCO ESTADO DE MÉXICO Rodolfo Joel López Rios; Daniel Torres Nava; Gerardo Cruz Flores	... 49
CARBONO ORGÁNICO EN SUELO DE DIFERENTES AGROECOSISTEMAS DE MAÍZ EN CALPAN, PUEBLA Rosalia Castelán Vega; J. Víctor Tamaríz-Flores; Paulina Mariaca García; Marco A. Marín Castro	... 55
DINÁMICA DE NITRÓGENO EN SUELOS EN RELACIÓN CON LA FLORACIÓN DE OLIVARES EN TULYEHUALCO, CDMX Lisette Sofía Marzano Martínez; Ofelia Beltrán Paz; Gerardo Martínez Jardines; Bruno Chávez Vergara	... 61
ACIDEZ DE SUELO: CLASIFICACIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE ALTO PARANÁ Micaela María Villanueva Ocampos; Patricia Rojas Nerhot; Crispín Paredes; Lucia Simeona Ríos Valiente	... 66
EFFECTO DE LOS ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS SOBRE LA GERMINACIÓN DE GIRASOL ENANO (<i>Helianthus annuus</i>) Diana Sharenit Guzman Lara; Argelia López Bonilla; Daniel Tapia Maruri; Edith Montes Hernández	... 71
ALMACÉN Y ESTABILIDAD DEL CARBONO EN UNA COMUNIDAD DE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA Y EN UN PASTIZAL DE QUERÉTARO Nadia Melissa Olmos González; Elizabeth Fuentes Romero; Norma Eugenia García Calderón; Noé Velázquez Rosas	... 77
FLUJO DE CO ₂ DEL SUELO EN UN BOSQUE MANEJADO PARA PRODUCCIÓN MADERABLE EN EL CENTRO DE MÉXICO Ana Karen Cerdillo Aviles; Bruno Manuel Chávez Vergara; Armando Gómez Guerrero; Gregorio Ángeles Pérez	... 84

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

EVALUACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PEPINO (<i>Cucumis sativus</i> L.) EN CASA SOMBRA EN SUELO DEFICIENTE DE B Y Zn Pedro Alberto Rojas Rojas; Martha L. Gutiérrez Pérez; Luis Alberto Lightbourn Rojas ...	90
PROPIEDADES DEL SUELO EN ÁREAS SILVESTRE Y CULTIVADA DE ORÉGANO (<i>Lippia graveolens</i>) EN SAUCILLO, CHIHUAHUA Daniel Triana Anzures; Nora Aideé Salas Salazar; Celia Chávez Mendoza; Mayra Cristina Soto Caballero; María Janeth Rodríguez Roque; María Antonia Flores Córdoba ...	94
PROMOCIÓN DE CRECIMIENTO DE MAÍZ POR EFECTO DE FUENTES DE CARBONO EN COMUNIDADES DE PGPR Guadalupe Medina de la Rosa; Abraham Saavedra Bermúdez; Lucía López Reyes; Moisés Graciano Carcaño Montiel; Refugio Armando Tapia Hernández ...	100
PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUELOS EN PARQUES DE CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA Juan Pedro Flores Margez; Francisco Javier Núñez Sanchez; Pedro Osuna Avila ...	107
CRECIMIENTO EN AVENA (<i>Avena sativa</i> L.) DE TEMPORAL INOCULADA CON MICROORGANISMOS Pablo Lozano-Ruíz; Miguel Ángel Valdez-García; Luis Fernando Sánchez-Estrada; Alfredo Lara-Herrera; Rodolfo de la Rosa-Rodríguez; Luis Octavio Solís-Sánchez ...	113
CAMBIO A CORTO PLAZO EN LA CONCENTRACIÓN, CONTENIDO Y DISTRIBUCIÓN DE LA MOS ANTE EL CAMBIO DE FERTILIZACIÓN Bruno Manuel Chavez Vergara; Yazmin Rivera Uria; Elizabeth Solleiro-Rebolledo; Ofelia Ivette Beltrán Paz; Luis Gerardo Martínez Jardines; Nadia Edith Nava Arsola; Gabriela Vázquez Zacamitzin; Jaime Diaz Ortega; René Alcalá Martínez ...	118
POTENCIAL DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES: MILPA Y ACAHUAL PARA EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO COMO SERVICIO AMBIENTAL EN MÉXICO Tania Guadalupe Osorio Montor; Rolando Rojo Rubio; Octavio Alonso Castelán Ortega; Francisca Avilés Nova ...	124
ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA DEL SUELO AGRÍCOLA DEL VALLE DEL YAQUI, SONORA Claudia J. Olivas-Castillo; Itzamar Castro Gil; Bruno M. Chávez Vergara; Ofelia I. Beltrán Paz; Masuly G. Vega-Puga; Miguel A. Rivera-Díaz; Martha L. Vargas-Terminel; Zulia Sánchez Mejía; Jaime Garatuza Payan; Enrico A. Yépez ...	131
IMPACTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES SOBRE LA INFILTRACIÓN DE AGUA EN UN CAMBISOL EN EL SALTO, DURANGO David Orlando Álvarez Favela; Erik Orlando Luna Robles; Isaac Rodríguez Reta; Silvia Janeth Bejar Pulido; Manuel de Jesús Devora López ...	137
CAÍDA DE LA HOJARASCA Y DEPÓSITO DE MACRONUTRIENTES EN BOSQUE DE PINO, ENCINO Y PINO-ENCINO César Gerardo Ramos Hernández; Juan Manuel López Hernández; Humberto González Rodríguez; Israel Cantú Silva; Marco Vinicio Gómez Meza; María Inés Yáñez Díaz ...	142

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

HIDROMORFISMO Y PROPIEDADES EN ANDOSOLS DE PASTIZALES ALPINOS DEL MONTE TLÁLOC: DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA Y MICROMORFOLÓGICA Eunice Lucero Galván-Díaz; Ma. del Carmen Gutiérrez-Castorena	... 148
PROPIEDADES DEL SUELO BAJO DIFERENTES MANEJOS DE MILPA César Asgard Filobello Sevada; Lilit Pogosyan; Eliezer Cocoltzi Vásquez; Simoneta Negrete Yankelevich	... 153
COS Y FLUJOS DE CO ₂ DEL SUELO EN BOSQUES TEMPLADOS BAJO MANEJO FORESTAL EN DURANGO, MEXICO Erik Orlando Luna Robles; Francisco Javier Hernández; Israel Cantú Silva; Silvia Janeth Bejar Pulido; Alondra Nayeli Gallegos López	... 158
DISTRIBUCIÓN DE BIOMASA EN PORTAINJERTOS DE MANZANA SOMETIDOS A DEFICIT HÍDRICO Mariela Rascón Castillo; Carlos Alberto Lozano Martínez; Rafael Ángel Parra Quezada; María Noemí Frías Moreno; Juan Luis Jacobo Cuellar; Oscar Cruz Álvarez; Damaris Leopoldina Ojeda Barrios; Ofelia Adriana Hernández Rodríguez	... 163
CONDICIONES EDÁFICAS DE NAICA Y TIERRA AZUL EN LA CALIDAD DEL FRUTO DEL GRANJENO (<i>Celtis pallida Torr.</i>) Telma Gricelda Torres López; María Antonia Flores Córdova; Laura Gabriela Espinosa Alonso; Nora Aideé Salas Salazar; Mayra Cristina Soto Caballero; María Janeth Rodríguez Roque	... 169
ELABORACIÓN DE MONOLITOS DE SUELO PARA DOCENCIA Mayra Madai Romero Aguilar; Guillermo Ramírez Rosales; Juan Carlos Sandoval Aparicio; Alma Bella López López; Gerardo Cruz Flores	... 175
ESTUDIO DE LA AGRESIVIDAD DEL SUELO EN LA RIBERA DEL RÍO NEXAPA Jorge Azael Ramírez Avalos; María del Carmen López Pérez; María Ana Pérez Cruz; Rosalía Torralba Sánchez; Indira Loyda Cordero Dámazo; Martha Patricia González Aráoz; Gabriela Vidal García	... 181
EFFECTO DEL PASTOREO SOBRE LA VEGETACIÓN Y EL SUELO EN ECOSISTEMAS ÁRIDOS DEL MONTE PATAGÓNICO, ARGENTINA Oliferuk Sonia; Carrera Analía Lorena; Saraví Cisneros Hebe; Bertiller Mónica Beatriz	... 186

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

División 3

Uso y Gestión del Suelo

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL TALLO Y RENDIMIENTO DE JITOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) TIPO SALADETTE EN INVERNADERO Juan Manuel Barrios-Díaz; Andrea García-Monroy; Wendy Cruz-Romero; Benjamín Barrios-Díaz; Jesús Mao Estanislao Aguilar-Luna; Ángel Jair Juárez Córdova	... 191
ANÁLISIS ESPACIAL DE ÁREAS VERDES URBANAS DE UNA LOCALIDAD EL NOROESTE DE MÉXICO, CIUDAD OBREGÓN Masuly G. Vega Puga; Jaime Garatuzza Payán; Martha L. Vargas Terminel; Francisco Alejandro Elías González Castro; Enrico A. Yépez	... 192
ANÁLISIS ESPACIAL DE ÁREAS VERDES URBANAS DE UNA LOCALIDAD EL NOROESTE DE MÉXICO, CIUDAD OBREGÓN Masuly G. Vega Puga; Jaime Garatuzza Payán; Martha L. Vargas Terminel; Francisco Alejandro Elías González Castro; Enrico A. Yépez	... 198
APLICACIÓN AL SUELO DE CARBONATO DE CALCIO Y MICROORGANISMOS PARA EVALUAR PRODUCCIÓN EN NOGAL PECANERO Francisco Javier Piña Ramírez; Juan Manuel Soto Parra; Silvia Amanda García Muñoz; Arwell Natan Leyva Chávez; Anabel Ortega Rodríguez; Ofelia Adriana Hernández Rodríguez	... 203
APLICACIÓN DE NANOPARTÍCULAS VERSUS SULFATO Y QUELATO DE ZINC SOBRE PARÁMETROS FISIOLÓGICOS EN FRIJOL BÓRDALES Alan Alvarez Monge; Esteban Sánchez Chávez; Alejandro Palacio Marquez; María Laura Diaz Baca; Ricardo Valdez Morales	... 208
APTITUD DEL TERRITORIO PARA UN NUEVO RELLENO SANITARIO DE LA ZONA METROPOLITANA DE CHIHUAHUA, MEDIANTE EVALUACIÓN MULTICRITERIO Karen Merz-Molina; Alfredo Pinedo-Alvarez; María Cecilia Valles-Aragon; Federico Villarreal-Guerrero; Jesús Alejandro Prieto-Amparán	... 213
ASIMILACIÓN DE NITRÓGENO, BIOMASA Y RENDIMIENTO EN RESPUESTA A LA APLICACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE HIERRO EN ESPINACA Cristina Larissa Franco-Lagos; Esteban Sánchez-Chávez*; Ezequiel Muñoz- Márquez; Celia Mendoza-Chávez; Alexandro Guevara-Aguilar	... 219
BIOESTIMULACIÓN CON NANOPARTÍCULAS DE QUITOSANO EN EL CULTIVO DE MELÓN Edgar Rafael Marín-Gómez, Leticia Alfaro-Hernández, Pablo Preciado-Rangel, Elizabeth Macías-Cortés	... 224
BIOMASA MICROBIANA: MEDIADORES DE FÓSFORO LÁBIL EN EL SUELO Daniel Tinoco Varela; Oneyda Hernández Lara; Jeannette Sofía Bayuelo Jiménez	... 229
CHEMICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF NITROGEN LOSS IN A WATERSHED UNDER NO-TILLAGE WITHOUT TERRACING Edson Lucas Camilo; Renata Alessandra Martins Borecki; Vinicius Zanlorenzi; Leonardo Catapan; Miguel David Fuentes Guevara; Cristiano Andre Pott; Nerilde Favaretto; Marcelo Marques Lopes Muller	... 234

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

CHITOSAN EFFECT ON THE GROWTH STIMULATION OF AN IN-VITRO CULTURE OF VANILLA PLANIFOLIA ANDREWS Gabriela Lucero Cuatra-Xicalhua; Daniel Tapia-Maruri; Norma Gabriela Rojas-Avelizapa; Argelia López Bonilla; Luz Irene Rojas-Avelizapa	... 239
CIANOBACTERIAS DIAZOTRÓFICAS DEL AGUA TERMAL DE JULIMES, CHIHUAHUA Y SU POTENCIAL EN AGRICULTURA Marco Antonio Piñón-Balderrama; Ofelia Adriana Hernández-Rodriguez; Andrés Francisco Martínez-Rosales; Damaris Leopoldina Ojeda-Barrios; Graciela Dolores Ávila-Quezada	... 244
COMPARACIÓN DE Ca, Mg Y K EXTRAIBLES CON MEHLICH-3 Y ACETATO DE AMONIO EN SUELOS DE MÉXICO Lorena del C. Hernández Nataren; Edith Hernández-Nataren; Aarón Jarquín Sánchez	... 249
COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD EDÁFICA EN FUNCIÓN DEL SUBSOLADO E IMPACTO SOBRE LA SOYA EN CONDICIONES DE TEMPORAL Moisés Alonso Báez; Manuel Grajales Solís; Guillermo López Guillén; Alba Leonorilda Solís Pérez	... 254
CONDICIONES EDAFOCLIMÁTICAS EN DOS REGIONES DEL ESTADO DE CHIHUAHUA EN LOS VIÑEDOS DE UVA SYRAH Yara Nohely Moncayo Nájera; María Antonia Flores Córdova; Esteban Sánchez Chávez; Damián Aarón Porras Flores; Rodrigo Alonso Villegas	... 259
CONTROL DE LA ACIDEZ EN SUELOS DE ORIGEN VOLCÁNICO Magdalena Francisco-Catarina; Demetrio Salvador Fernández-Reynoso; Rogelio Carrillo-González; Héctor Manuel Ortega Escobar; José Luis García Rodríguez; Axel Eduardo Rico-Sánchez	... 264
CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD EN CUATRO USOS DE SUELOS: EVALUACIÓN DE LA FÓRMULA DE PALACIOS (1963) María Inés Yáñez Díaz; Israel Cantú Silva	... 272
DISPONIBILIDAD DEL FÓSFORO DEL SUELO POR EL EFECTO NUEVE SISTEMAS EN MONOCULTIVO EN REGOSOLES DEL VALLE DE SERDÁN, PUEBLA Juan Contreras-Ramos; Ramón Díaz-Ruíz; Efraín Pérez-Ramírez	... 278
EFFECTIVIDAD DE LA APLICACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE YODO SOBRE LA BIOMASA, RENDIMIENTO Y ASIMILACIÓN DE NITRÓGENO EN LECHUGA Juan José Patiño Cruz; Esteban Sánchez Chávez; Celia Chávez Mendoza; Ezequiel Muñoz Márquez; Alexandro Guevara Aguilar	... 283
EFFECTO DE LOS MICROPLÁSTICOS PROVENIENTES DE CUBREBOCAS EN LAS ACTIVIDADES ENZIMÁTICAS DEL SUELO Honorio Patiño Galván; María de la Luz Xóchilt Negrete Rodríguez; Alejandra Herrera Pérez; Dioselina Álvarez Bernal; Luis Ángel Alcalán López; Marcos Alfonso Lastiri Hernández; Héctor Iván Bedolla Rivera; Eloy Conde Barajas	... 288

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

EFFECTO DEL MANEJO ORGÁNICO Y CONVENCIONAL EN LA RESPIRACIÓN DEL SUELO EN CULTIVOS DE <i>Persea americana</i> Mill Silvia Janeth Bejar Pulido; Israel Cantú Silva; Francisco Javier Hernandez; Erik Orlando Luna Robles; Keidy Jimena González Hernández ...	294
EFFECTO DEL NACL EN LA CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES ESENCIALES EN HUAUZONTLE CULTIVADO EN CONDICIONES CONTROLADAS DE INVERNADERO Eréndira Esmeralda Hernández Andrade; Libia Iris Trejo Téllez; Víctor Manuel Ordaz Chaparro ...	299
ENMIENDAS MINERALES Y <i>Pseudomona</i> SPP. MEJORAN LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS EN FRUTOS DE TOMATE Laura Alejandra Peña Revuelta; Reyna Roxana Guillen Enriquez; Manuel Fortis Hernández; Pablo Preciado Rangel ...	304
ESTABILIDAD DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO DE PASTIZALES GANADEROS BAJO DIFERENTES MANEJOS Karla Liliana López García; Bruno Chávez Vergara; Dulce Flores-Rentería ...	309
ESTÁNDARES NUTRIMENTALES DEL RAMBUTÁN (<i>Nephelium lappaceum</i> L.) EN CHIAPAS Alonso Báez; Guillermo López Guillén Alba Leonorilda Solís Pérez ...	314
ESTUDIO BIOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE SUELOS AGRÍCOLAS Leonardo Daniel García Torres; Ángeles Martínez Toledo; Germán Santacruz De León; César Arturo Ilizaliturri; Donaji Josefina González Mille; José Alfredo Ramos Leal; Janete Morán Ramírez ...	320
EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE FERTILIZACIÓN Y SISTEMAS DE CULTIVO DE LECHUGA (<i>Lactuca sativa</i> L.) Juan Manuel Barrios-Díaz; Alejandro Fidel Alemán; Wendy Cruz-Romero; Benjamín Barrios-Díaz; Jesús Mao Estanislao Aguilar-Luna; Ángel Jair Juárez Córdova ...	327
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS EN SUELOS DEGRADADOS DEL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO Vanessa Maricela Uresti-Rodríguez; María Inés Yáñez Díaz; José Manuel Mata Balderas; Regina Pérez Domínguez; Tania Isela Sarmiento Muñoz ...	332
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E HÍDRICAS EN DOS CONDICIONES DE USO DE SUELO Sarha Carolina Bravo González; María Inés Yáñez Díaz; Fortunato Garza Ocañas; Israel Cantú Silva ...	337
EVALUACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS EN OBRAS DE CONSERVACIÓN EN GALEANA, NUEVO LEÓN Ana Marissa de la Fuente-Solís; María Inés Yáñez-Díaz; Eduardo Alanís-Rodríguez; Israel Cantú-Silva; Wibke Himmelsbach; Miguel Ángel Martín del Campo-Delgado ...	342

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

EVALUACIÓN DE TRES MANEJOS AGRÍCOLAS PARA EL CULTIVO DE AGUACATE HASS, EN SOLA DE VEGA, OAXACA Lidia Velasco-Velasco; Marco Polo Carballo-Sánchez; Eréndira Esmeralda Hernández-Andrade; Langen Corlay-Chee	... 347
EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LOS SUELOS Y PROPUESTA DE MANEJO: ESTUDIO DE CASO, TEMASCALCINGO, ESTADO DE MÉXICO Patricio Sánchez-Guzmán; Sergio Gerardo Benedicto-Valdés	... 352
FERTILIZACIÓN NITROGENADA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE NITRATOS DEL SUELO EN LA ETAPA V ₆ DEL MAÍZ. LOCALIDAD CEDEL, CHIHUAHUA Uribe-Montes Hugo Raul; Nava-Ruiz Paulina; Chávez-Sanchez Noe; Ramos-Castro Wendy Paulina	... 357
FERTILIZACIÓN SINTÉTICA, ORGÁNICA Y MICROBIOLÓGICA EN EL CULTIVO DE TOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) EN INVERNADERO Leonel García-Álvarez; Rodolfo de la Rosa-Rodríguez; Martha Patricia España-Luna; Ma. Del Rosario Martínez-Blanco; Alfredo Lara-Herrera	... 368
ÍNDICES PARA CALCULAR EL USO EFICIENTE DEL NITRÓGENO EN FRIJOL, FERTILIZADO CON NANOMOLIBDENO FOLIAR Ezequiel Muñoz-Márquez; Esteban Sánchez-Chávez; Juan Manuel Soto-Parra; Ramona Pérez-Leal; Rosa María Yañez-Muñoz; Linda Citlalli Noperi-Mosqueda	... 373
LA IMPORTANCIA DE LOS RESIDUOS VEGETALES EN EL CICLAJE DE FÓSFORO EN SUELOS CON USO AGRÍCOLA Daniel Tinoco Varela; Oneyda Hernández Lara; Jeannette Sofía Bayuelo Jiménez	... 379
METABOLITOS ASOCIADOS A BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO AISLADAS DE RIZOSFERA Y SU POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO Carmen Abril Ojeda Aldana; Juan Carlos Camacho Chab; Manuel Jesús Chan Bacab; Rodrigo Enrique Tun Che; Katia Irasema Cob Rivera; Gustavo Enrique Mendoza Arroyo; Benjamín Otto Ortega Morales	... 384
NANOPARTICULAS DE HIDROXIAPATITA COMO BIOESTIMULANTE EN PIMIENTO MORRÓN Jessica Janeth Rocha Santillano; Sergio Arturo Ortiz Diaz. Juan Manuel Nava Santos, Pablo Preciado Rangel	... 389
NANOPRIMING CON MOLIBDENO-ZINC SOBRE LA GERMINACIÓN, EMERGENCIA E ÍNDICE DE VIGOR EN TRES PORTAINJERTOS DE NOGAL PECANERO Julio César Anchondo-Paez; Esteban Sánchez-Chávez; Damaris Leopoldina Ojeda-Barrios; Ezequiel Muñoz-Márquez; Celia Chávez-Mendoza; Sandra Pérez-Álvarez	... 394
NANOPRIMING CON ZINC-MOLIBDENO SOBRE GERMINACIÓN E ÍNDICES DE VIGOR EN CHILE JALAPEÑO Erick Humberto Ochoa-Chaparro; Esteban Sánchez-Chávez; Sandra Pérez-Álvarez; Luis Ubaldo Castruita-Esparza; Ezequiel Muñoz-Márquez; Celia Chávez-Mendoza	... 400

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

POTENCIAL PRODUCTIVO DE TRES HÍBRIDOS DE MAÍZ PARA FORRAJE OBTENIDO CON ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS EN TEMPORAL DE JALISCO Hugo Ernesto Flores-López; Irma Julieta González-Acuña; Jorge Humberto Villarreal Rodas ...	405
PRÁCTICAS AGRONÓMICAS PARA SECUESTRO DE CARBONO EN EL SUELO CON MAÍZ FORRAJE DE TEMPORAL Hugo Ernesto Flores-López; Irma Julieta González-Acuña; Jorge Humberto Villarreal Rodas; Juan Francisco Pérez Dominguez ...	411
REMEDIACIÓN DE UN SUELO AGRÍCOLA CONTAMINADO CON HIDROCARBUROS EMPLEANDO TECNOLOGÍAS BIOLÓGICAS Gisel Guadalupe Alba-Mijares; Omar Sánchez-Mata; Verónica Ávila-Vázquez; Miguel Mauricio Aguilera-Flores ...	417
RESPUESTA DE FERTILIZACIÓN EN CAÑA DE AZÚCAR, CON ÉNFASIS EN DOSIS DE NUTRIENTES Y FUENTES DE FÓSFORO. César Venegas; Oscar Pérez; Ross Bender ...	422
SALUD AGROECOLÓGICA DE PARCELAS DE NOPAL EN SAN MARTÍN DE LAS PIRÁMIDES, ESTADO DE MÉXICO Esmeralda Concepción Mendoza-Solis; Judith Castellanos-Moguel; Gilberto Vela-Correa ...	427
SEGUIMIENTO DE LA TRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS MEDIANTE LA CROMATOGRFÍA CIRCULAR DE PFEIFFER Lucia Socorro Gutiérrez-González; Ofelia Adriana Hernández-Rodríguez; Jorge Alfonso Jiménez-Castro; Dámaris Leopoldina Ojeda-Barrios; Rocío Sánchez-Rosales ...	432
SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO BASE CÁSCARAS DE NARANJA Y GRANADA, PARA ADSORCIÓN DE ARSÉNICO Graciela Alonso Machado; Jorge Arnaldo Orozco Vidal; Pablo Yescas Coronado ¹ ; José Alfredo Montemayor Trejo; René Israel Rodríguez Beltrán; Vicente de Paul Álvarez Reyna ...	437
SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA EVALUACIÓN AGRÍCOLA DE TIERRAS DE MICHOACÁN, MÉXICO Francisco Bautista; Ángeles Gallegos; Uriel Gómez ...	442
<i>Trichoderma spp.</i> EN LA GESTIÓN DE MICRONUTRIENTES Y FÓSFORO DEL SUELO Milton Carlos Soto Barajas; Samantha Herrera Mendoza; Blanca Lucia Prado Pano; Lucy Mora Palomino; Rocío Jetzabel Alcántara Hernández ...	447
USO AGRICOLA POTENCIAL DE AGUA RESIDUAL TRATADA EN HUMEDAL ARTIFICIAL Langen Corlay-Chee; Lidia Velasco Velasco; Erica Hernández Morales; Santos Vázquez Cervantes; Alejandro Hernández-Tapia ...	453
USO DE BIOCARBÓN Y BPCV EN EL CONTROL DE HONGOS ASOCIADOS A <i>Triticum aestivum</i> L. Leticia Gómez Velázquez; Moisés Graciano Carcaño Montiel; Guadalupe Medina de la Rosa; Armando Tapia Hernández; Lucia López Reyes ...	457

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

USO EFICIENTE Y RECUPERACIÓN DE NITRÓGENO A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DE MELATONINA EN PLANTAS DE FRIJOL

Carlos Abel Ramírez Estrada; Esteban Sánchez Chávez; María Antonia Flores Córdova; Celia Chávez Mendoza; Sandra Pérez Álvarez

463

VARIACIÓN DEL CARBONO FACILMENTE OXIDABLE DEL SUELO EN RESPUESTA A DISTINTAS FUENTES DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA

Víctor Manuel Montoya-Jasso; Víctor Manuel Ordaz-Chaparro; Gerardo Sergio Benedicto-Valdés; Enrique Ojeda-Trejo; Edgar Vladimir Gutiérrez-Castorena; Violeta Abigail Zacarías-Gutiérrez; Jesús Manuel Arreola-Tostado

467



Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

División 4

El Papel de los Suelos en el Sostenimiento de la Sociedad y el Medioambiente ... 472

ACTIVIDAD ENZIMÁTICA DE QUITINASAS Y GLUCANASAS EN *Solanum lycopersicum* INOCULADAS CON *Bacillus subtilis* ... 473
Alecsis de Melchor Padrón Chan; Arturo Reyes Ramírez

AISLAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE BACTERIÓFAGOS A PATIR DE SUELO DE CHIHUAHUA Y ZACATECAS ... 478
Alejandro Caldera-Saenz; Evangelina Esmeralda Quiñones-Aguilar; Alejandro Sólis-Sánchez; Gabriel Rincón-Enríquez

ANÁLISIS COMPARATIVO DE EMISIONES DE CO₂ ASOCIADAS AL TIPO DE FERTILIZACIÓN EN *Agave tequilana* W. ... 484
Víctor Manuel Montoya-Jasso; Jesús Manuel Arreola-Tostado; Violeta Abigail Zacarías-Gutiérrez; Jesús Manuel Arreola-Nava; Ana María González-Serrano

ANÁLISIS DE RIESGO APLICANDO EL MODELO IEUBK PARA LOS JALES MINEROS DE NAICA, CHIHUAHUA ... 489
Alfredo Contreras Guardiola; Mario Alberto Olmos Márquez; María Cecilia Valles Aragón; Leonor Cortés Palacios; Eduardo Santellano Estrada

ANÁLISIS DISCRIMINANTE MACRO-NUTRIMENTAL BASADO EN COORDENADAS ORTO-NORMALES EN *Malus domestica* BORKH VARIEDAD 'STARKRIMSON' ... 494
Fidel Blanco-Macías; Ricardo David Valdez-Cepeda; Miguel Márquez-Madrid; Alfredo Lara-Herrera

ANÁLISIS DISCRIMINANTE MACRO-NUTRIMENTAL BASADO EN COORDENADAS ORTO-NORMALES EN *Opuntia ficus-indica* L. ... 499
Ricardo David Valdez-Cepeda; Fidel Blanco-Macías; Miguel Márquez-Madrid; Alfredo Lara-Herrera

APLICACIÓN DE BIOREGULADORES EN NOGAL PECANERO CV. WESTERN SCHLEY Y SU RESPUESTA FISIOLÓGICA ... 504
Álvaro Orduñez Murillo; María Laura Díaz Baca; Alejandro Palacio Márquez; Damaris Leopoldina Ojeda Barrios

BIOSÓLIDOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, PARA PRODUCCIÓN DE MAÍZ (*Zea mays* L.) UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE ... 509
Pedro Alberto Rojas Rojas; Heidi M. Medina Montenegro; Martha L. Gutiérrez Pérez; Cristóbal Chaidez Quiroz

CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA EN LA PRODUCCIÓN AGROECOLÓGICA DE DURAZNO CRIOLLO EN URUACHI, CHIHUAHUA ... 513
Juan Manuel Herrera-Lazo; Teresita de Jesús Ruíz-Anchondo; Rafael Ángel Parra Quezada; Armando Quintero Ramos; Ana María de Guadalupe Arras Vota; Ricardo Beltrán Chacón

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

ESTIMACIÓN DE LA RESPIRACIÓN DEL SUELO CON LA TECNOLOGÍA NIR Y LA QUIMIOMETRÍA Andrea Mejía-Martínez ; Armando Guerrero-Peña	... 519
CLASES DE AGREGADOS DE SUELOS EN EL BOSQUE DE CHAPULTEPEC, CIUDAD DE MÉXICO Barrientos Ojeda Berenice; Vela Correa Gilberto; Vázquez Morillas Alethia; Diaz Ortega Jaime	... 525
COMPUESTOS BIOACTIVOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN FLORES COMESTIBLES DE ALGUNOS CULTIVARES DE DURAZNO Y POLINIZADORES DE MANZANO Marisela Calderón-Jurado; Oscar Cruz-Álvarez ¹ ; Porfirio Juárez-López; Ofelia Adriana Hernandez-Rodriguez; Ángel Rafael Parra-Quezada; Irán Alia Tejacal; Dámaris Leopoldina Ojeda-Barrios	... 530
CONCENTRACIÓN MINERAL EN FLORES COMESTIBLES DE DALIA NANOFORTIFICADAS CON ZINC Orlanda Tanahiri Garcia-Gonzalez; Oscar Cruz-Álvarez; María Teresa Martinez-Damian; Ofelia Adriana Hernández-Rodríguez; Rafael Ángel Parra-Quezada; Damaris Leopoldina Ojeda-Barrios	... 535
CONSORCIOS DE RIZOBACTERIAS PARA LA PROMOCIÓN DE CRECIMIENTO EN PLANTAS DE CHILE (<i>Capsicum annuum</i> L.) Y LECHUGA (<i>Lactuca sativa</i> L.) Franco Ignacio Bugueño Guerrero; Marco Polo Carballo Sánchez	... 540
DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA DE LAS CUENCAS SAN FERNANDO-SOTO LA MARINA A TRAVÉS DE UN SIG Mariela Estefanía Nava Vélez; René Ventura Houle; Glenda Nelly Requena Lara	... 545
DIVULGACIÓN DE COLECCIONES DE SUELOS MEDIANTE CÓDIGOS QR Gabriel Alejandro Hernández Vallecillo; Sandra Monserrat Barragán Maravilla; Patricio Sánchez Guzmán	... 550
EL SUELO, FACTOR CLAVE PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA EN ZEGACHE, OAXACA Patricio Sánchez-Guzmán; Verónica Mariles-Flores; Miguel Ángel Cano García	... 554
EVALUACIÓN DE BIOESTIMULANTES EN EL CULTIVO DE JITOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i>) VARIEDAD SARGENTO BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN EL SUR DE JALISCO De la Torre Sedano Andrea Liliana; Liliana Carolina Córdova Albores; Geremias Rodríguez Bautista; Antonio Hilario Lara Rivera; Nicasio David Sánchez Cruz	... 559
EVALUACIÓN DE FUENTES DE FÓSFORO EN EL CULTIVO DE PLANTAS DE JITOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i>) INOCULADAS CON RIZOBACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL Sara Monzerrat Ramírez-Olvera; Guadalupe López-Olvera; Juan José Almaraz-Suárez; Marco Polo Carballo-Sánchez	... 563

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

EVALUACIÓN DEL MANEJO DE LABRANZA Y FERTILIZACIÓN EN LA DINÁMICA DEL CARBONO DEL SUELO EN SISTEMA MILPA, QUERETARO Alejandra Hernández Jiménez	... 568
LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA DE SUELOS URBANOS Y SU REPERCUSIÓN EN LOS ECOSISTEMAS URBANOS Sarahi Moya-Cadena; Diana Baños-Pelaez; Fabián Fernández-Luqueño	... 573
LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS DEL SUELO EN EL SIGLO XXI, USANDO LAS REDES SOCIALES E INTERNET Francisco Bautista; Ángeles Gallegos; David Palma-López; Joel Zavala; Héctor Estrada-Medina; Yameli Aguilar; Neftaly Gijón; Avto Goguitchaichvili1; Rufo Sánchez; Patricia Quintana; Antonio López	... 578
LOS SUELOS PRODUCTIVOS PARA LA AGRICULTURA SEPULTADOS BAJO CONCRETO CONDENARÁN A LA HUMANIDAD EN LA INSUFICIENCIA ALIMENTARIA Y AL ESTRÉS HÍDRICO Cuitlahuac Alfonso Rovirosa Madrazo; Pablo Zaldívar Martínez; Sergio Ramírez García	... 584
MAPA DE SUELOS PARA LA GESTIÓN DE DECISIONES EN EL CAMPUS CENTRAL DE LA UNAM Silke Cram Heydrich; Blanca Prado Pano; María del Pilar Ortega Larrocea; Lucy Mora Palomino; María del Pilar Fernández Lomelin; Mario Cayetano Salazar; Marie Noëlle Guilbaud; Isaac Quijada; Elizabeth Chávez-García	... 587
METALES PESADOS EN EL SUELO DE CULTIVO DE NARANJA EN HIDALGO, TAMAULIPAS, MÉXICO Maria del Pilar Herrera-Mendoza; Laura Sanchez-Castillo; Edmar Meléndez Jaramillo	... 592
MICROHONGOS CULTIVABLES EN PARCELAS CON MILPA EN OAXACA, CHIAPAS Y CIUDAD DE MÉXICO Judith Castellanos-Moguel; Esmeralda Mendoza-Solís; Dennia Fernanda Vidal-Orozco; Gabriel Cavazos Uriarte; Cecilia García Ibarra; Gilberto Vela-Correa; Arnoldo Wong-Villareal ; Sandra L Cabrera-Hilerio; Mariana Miranda-Arámbula; Alan Carrasco-Carballo; Jesús Sandoval-Ramírez	... 597
RESPUESTA DE APLICACIÓN DE BIOREGULADORES EN NOGAL PECANERO VARIEDAD WICHITA EN RENDIMIENTO Y CONTENIDO MINERAL DE LA HOJA Daniel Alan Román Terrazas; María Laura Díaz Baca; Alejandro Palacio Márquez; Damaris Leopoldina Ojeda Barrios; Marisela Calderón Jurado	... 603
RESPUESTA METABÓLICA CAUSADO POR ESTRÉS ABIÓTICO DEL OCOTILLO; SITUADO EN EL FRESNO, CHIH., REGIÓN DE SEQUÍA EXCEPCIONAL Elizabeth Martínez -Pérez; Gustavo Rogelio López-Ochoa; Juan Luis Jacobo- Cuéllar; Rafael Ángel Parra-Quezada; Miguel Ángel Piñón-Miramontes; Teresita de Jesús Ruíz-Anchondo	... 608

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

RESPUESTA MORFOLÓGICA DEL CULTIVO DE GIRASOL CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE EDTA CON POTENCIAL PARA FITO-EXTRACCIÓN Luis Fernando Montiel Silva; Karla Janeth Martínez Macias; Sellenne Yuridia Márquez Guerrero; Vicente de Paul Álvarez Reyna; Cristo Omar Puente Valenzuela; José Antonio Cueto Wong	... 614
SUELO URBANO: CARACTERIZACIÓN DE SUELO Y MONITOREO DE PLOMO David Clemente López Pérez; Teresa de Jesús Montalvo Herrera; Astrid Iriana Sánchez Vázquez	... 619
USO DE MODELOS DE PREDICCIÓN ESPACIAL PARA LA MEJORA DEL USO EFICIENTE DEL AGUA EN SISTEMAS AGROPECUARIOS René Juárez Altamirano; Dulce Flores-Rentería	... 624

División 5

Ciencias de Frontera y Multidisciplinarias del Suelo ... 630

ANÁLISIS CUALITATIVO Y CUANTITATIVO DE DETRITOS DE HORMIGA Y ABONO TIPO BOCASHI COMO ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE
Leidy Melina Guillen-Moreno; María del Socorro Morales-De Casas; María de los Ángeles Sariñana-Navarrete; Miguel Ángel Soto-Cárdenas ... 631

IDENTIFICACIÓN DEL MICROBIOMA EN SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS DE LA EX FUNDIDORA DE ÁVALOS, CHIHUAHUA
Gustavo Montes-Montes; Zilia Y. Muñoz-Ramírez; Leonor Cortes-Palacios; Javier Carrillo-Campos; Ismael Ortiz-Aguirre; Román González-Escobedo ... 637

NANOPARTÍCULAS DE SiO_2 COMO INDUCTORAS DE TOLERANCIA AL ESTRÉS ABIÓTICO
Ileana Vera-Reyes; Luis A. Garcia-Cerda; Luis A. Valdes-Aguilar ... 643

MICROENCAPSULACIÓN DE UN CONSORCIO DE BACTERIAS *Streptomyces* PROMOTORAS DE CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE PAPAYA Y CHILE HABANERO
Élida Gastélum Martínez; Rosa Alejandra Cruz Córdoba; Frida García Sarmiento; Dania Pulido Bautista; Alberto Uc Vázquez; Zahaed Evangelista Martínez ... 648

IMPACTO DEL MICROBIOMA RIZOSFÉRICO EN LA SALUD DE VIDES SANAS Y CON CÁNCER FÚNGICO EN CHIHUAHUA
Debanih I. Chávez-Santillán; Zilia Y. Muñoz-Ramírez; Erika Salas-Muñoz; Laila N. Muñoz-Castellanos ... 653

EVALUACIÓN TOXICOLÓGICA DEL RÍO ESPAÑITA DE SAN LUIS POTOSÍ
Leonardo Daniel García Torres; Ángeles Martínez Toledo; Germán Santacruz De León; César Arturo Ilizaliturri Hernández; Guillermo Espinosa Reyes; José Alfredo Ramos Leal; Janete Morán Ramírez ... 656

MANZANA: ANÁLISIS DE INDICADORES PARA APOYO DE LOS PRODUCTORES DEL MUNICIPIO DE NAMIQUIPA, CHIHUAHUA, MÉXICO
Arwell Nathan Leyva Chávez; Silvia Amanda García Muñoz; Ramón Saúl Lujan Aguirre; Francisco Javier Piña Ramírez; Addy Anchondo Aguilar; Anabel Ortega Rodríguez ... 662

EFFECTO DE BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO VEGETAL SOBRE EL DESARROLLO DE LA INSULINA (*Salvia amarissima* Ortega)
Fanny Amayrany Galvez Trejo; Hortencia Gabriela Mena Violante; María Dolores Rodríguez Torres; Jeanette Guadalupe Cárdenas Valdovinos ... 668

NOGALERAS MICORRIZADAS DE FORMA NATURAL
Hilda Karina Sáenz-Hidalgo; Juan Luis Jacobo-Cuellar; Víctor Olalde-Portugal; Esteban Sánchez-Chávez; Damaris Ojeda-Barríos; Graciela Avila-Quezada ... 673

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

POTENCIAL IN VITRO DE AISLADOS RIZOSFÉRICOS DE <i>G. bicuspidata</i> COMO PROMOTORES DEL CRECIMIENTO VEGETAL Jeanette Guadalupe Cárdenas-Valdovinos; Silvia Luna-Suárez; María Valentina Angoa-Pérez; Hortencia Gabriela Mena-Violante ...	678
EFFECTO BIOESTIMULANTE DE QUITINA Y QUITOSANO EN GERMINACIÓN Y DESARROLLO DE <i>vitis tiliifolia</i> HUMB. & BONPL. EX SCHULT Verenice Borbonio-Fernández; Humberto Mata-Alejandro; Daniel Tapia-Maruri; Paul Edgardo Regalado Infante; Luz Irene Rojas-Avelizapa ...	683
NANOPARTÍCULAS DE SELENIO MEJORAN LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS Y LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA EN LA LECHUGA Jazmín M. Gaucin-Delgado; Alejandra Gaucin-Delgado; Pablo Preciado-Rangel ...	689
LAS NANOPARTÍCULAS DE HIDROXIAPATITA INCREMENTAN LA CALIDAD FORRAJERA EN ALFALFA Nahle-Martínez Armando; Ramírez-Gottfried Ricardo Israel; Rodríguez-García Belén Guadalupe; Mario Garcia-Carrillo; Espinosa-Palomeque Bernardo ...	693
DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES CARBONOSOS DERIVADOS DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS PARA APLICACIONES AMBIENTALES Edgar Vázquez-Núñez ...	698
NANOMATERIALES DE FE Y ZN EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL MAÍZ Y ARROZ Hermes Pérez Hernández; Antonio Juárez Maldonado ...	704
NANOTUBOS DE CARBONO Y SU EFECTO EN LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL MELÓN (<i>Cucumis melo</i> L.) CULTIVADO EN XEROSOL Jessica E. Martínez-Vázquez; Fabián Fernández-Luqueño; Ana Margarita Rodríguez-Hernández ...	709
EFFECTO DE NANOTUBOS DE CARBONO DE PARED MÚLTIPLE SOBRE INDICADORES DE LA CALIDAD DEL SUELO Nayelli Azucena Sigala-Aguilar; Mercedes G. López; Pablo David Ovalle-Murillo; Sirenia González Pozos; Fabián Fernández-Luqueño ...	715
NANOMATERIALES PARA LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS Y LA REMEDIACIÓN AMBIENTAL Fabián Fernández-Luqueño; Jessica E. Martínez-Vázquez; Nayelli A. Sigala-Aguilar; Sarahi Moya-Cadena; Sirenia González Pozos ...	721
NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC PARA INCREMENTAR CALIDAD NUTRIMENTAL EN MAÍZ GRANO Manuel Fortis-Hernández; Eunice Anazareth Vizcarra-Gallegos; Alma Patricia Galindo-Guzmán; Pablo Preciado-Rangel; Francisco Javier Ruiz-Ortega; Radames Trejo-Valencia ...	728

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

CORRELACIÓN NITRÓGENO-CLOROFILA E ÍNDICES ESPECTRALES EN EL CULTIVO DE HIGO (<i>Ficus carica</i> L.) Sellenne Yuridia Márquez-Guerrero; Karla Janeth Martínez-Macias; Aldo Rafael Martínez-Sifuentes; Pablo Preciado-Rangel; José Antonio Cueto-Wong; Edgar Rueda-Puente; Elizabeth Macías-Cortés	... 733
GEOSMINA: UN BIOMARCADOR DE LA CALIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO Oscar Fernández Fernández; José Juan Ordaz Ortiz	... 737
COMPORTAMIENTO DE LA MOVILIDAD Y DISOLUCIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE CUO EN FUNCIÓN DE LA TEXTURA DEL SUELO Cesar David Condori Chambi; David Alejandro Estrada Acosta; Joan Sebastián Salas Leiva; Socorro Héctor Tarango Rivero; María Antonia Luna Velasco	... 742
DETERMINACIÓN DE NUTRIENTES EN SOCA POSTERIOR A LA INOCULACIÓN DEL HONGO <i>Pleurotus ostreatus</i> Rommel Gutiérrez Grajeda; Leonel Ernesto Amabilis-Sosa	... 748

División 6

Ecología del Suelo y Ciencias de la Tierra ... 752

SALUD Y PRODUCTIVIDAD DE *Sorghum bicolor* L. MOENCH CON BACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL ... 753
María Magdalena Reyes-Chapero; Leticia Gómez-Velázquez; Moisés Graciano Carcaño-Montiel; Guadalupe Medina-de la Rosa; Lucía López-Reyes

CRITERIOS E INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD PARA EL CULTIVO DE LA HIGUERA (*Ficus carica* L.) EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ORGÁNICA Y CONVENCIONAL ... 759
Carla Patricia Villarreal Batista; Francisco Higinio Ruiz Espinoza; Enrique Troyo Diéguez

MANEJO DE LA MANCHA BACTERIANA DE CHILE EN INVERNADERO BAJO CONDICIONES DE BAJA FERTILIDAD Y ALTAS TEMPERATURAS ... 765
María del Sol Cuellar-Espejel; Evangelina Esmeralda Quiñones-Aguilar; Rodolfo Hernández-Gutiérrez; Juan Carlos Mateos-Díaz; Sergio David Valerio-Landa; Gabriel Rincón-Enríquez

HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES Y NUTRIENTES ASOCIADOS A DOS ESPECIES DE CACTÁCEAS EN MÉDANOS DE SAMALAYUCA, CHIHUAHUA ... 772
Ana Isabel Ortega Gurrola; Miroslava Quiñonez Martínez; José Valero Galván; Laura Alejandra De la Rosa Carrillo; Pedro Osuna Ávila; Silvia Margarita Carrillo Saucedo

BACTERIAS ASOCIADAS A *Distichlis spicata* L. INCREMENTAN LA CONCENTRACIÓN DE HIERRO (FE) Y BORO (B) EN TOMATE ... 778
Ángel Mena-García*; Alejandro Alarcón; Libia Iris Trejo-Téllez; Fernando Carlos Gómez-Merino; María Guadalupe Peralta-Sánchez.

Streptomyces sp. COMO PROMOTOR DEL DESARROLLO VEGETATIVO AÉREO EN PLÁNTULAS DE CHILTEPÍN SILVESTRE ... 783
Evelyn Berenice Sanchez-Chávez; Loreto Robles-Hernández; Ana Cecilia González-Franco; Brenda I. Guerrero

ESTABILIZACIÓN DE AGREGADOS POR HONGOS EN DOS COMUNIDADES DE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA EN JALPAN DE SERRA, QUERÉTARO ... 789
Yesenia Villegas Zuppa; Elizabeth Fuentes Romero; Norma Eugenia García Calderón; Tania González Vargas

RESPUESTA DEL SISTEMA RADICULAR DE CHILTEPÍN SILVESTRE A *Streptomyces sp.* PRIO41 ... 794
Miguel A. Levario-Orona; Brenda I. Guerrero; Loreto Robles-Hernández; Ana C. Gonzalez-Franco

NÍQUEL Y SU INTERACCIÓN CON BACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO EN PLANTAS DE LECHUGA ... 799
Sara Monzerrat Ramírez-Olvera; Marco Polo Carballo-Sánchez

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

BACTERIAS ASOCIADAS AL MUCIGEL DE RAÍCES ADVENTICIAS AÉREAS DEL MAÍZ OLOTÓN AMARILLO DE LA SIERRA MIXE DE OAXACA Orlando Catalán-Barrera; Alejandro Alarcón; Ronald Ferrera-Cerrato; César San Martín-Hernández; Laura Verónica Hernández-Cuevas	... 804
CERIO (Ce) Y HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN INDICADORES DE EFICIENCIA DEL FOTOSISTEMA II EN TOMATE BAJO ESTRÉS SALINO Ángel Mena-García; Alejandro Alarcón; Libia Iris Trejo-Téllez; Fernando Carlos Gómez-Merino; María Guadalupe Peralta-Sánchez	... 809
COBERTURA VEGETAL COMO ALTERNATIVA A LA DISPERSIÓN AMBIENTAL DE JALES Margarita Beltrán Villavicencio; Isabel Zubieta Martínez; Israel Labastida Núñez; María Aurora Armienta Hernández	... 814
CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE ESPORAS DE <i>Trichoderma afroharzianum</i> CON HIDROLATOS DE <i>Foeniculum vulgare</i> Diego Raúl Colmena-Chino; Miguel Angel Serrato-Cruz; Miguel Angel Ruíz-González; Roney Solano-Vidal	... 820
EFFECTO DE LA ZEOLITA EN EL CULTIVO DE CHILE JALAPEÑO (<i>Capsicum annuum</i>), PRODUCIDO EN SUSTRATO Víctor Manuel Ordaz Chaparro; Sara Monzerrat Ramírez Olvera; Miriam Alejandra Flores Buendía	... 825
EVALUACIÓN DE DIFERENTES ESPECIES HOSPEDANTES DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN EL COMPORTAMIENTO DE LA CEPA INCAM-11 Yonaisy Mujica Pérez; Yordanka González Silva; Sandra Pérez Alvarez; Luisa Patricia Uranga Valencia; Joel Rascón Solano	... 830
DESCOMPOSICIÓN DEL MANTILLO EN UN BOSQUE TROPICAL SECO: ¿CÓMO VARÍA EN UNA CRONOSECUENCIA DURANTE LA ESTACIÓN SECA? Cinthia Lizbeth Báez Gaxiola; Jesús Adrián Bojórquez Valdez; Juan Carlos Álvarez Yépiz; Zulia Mayari Sánchez Mejía	... 835
MOVIMIENTO DEL SUELO EN UN MOSAICO DE BOSQUE TROPICAL SECO: ¿EROSIÓN O SEDIMENTACIÓN? Yesica María Robles Lagarda; Zulia Mayari Sánchez Mejía; Jesús Adrián Bojórquez Valdez; Juan Carlos Álvarez Yépiz; Luis Arturo Méndez Barroso	... 841
FITORREMEDIACIÓN CON ESPECIES ARBÓREAS EN JALES DE ZIMAPÁN, HIDALGO Isabel Zubieta Martínez; Margarita Beltrán Villavicencio; Israel Labastida Núñez; María Aurora Armienta Hernández	... 847
EVAPORACIÓN EN PRESAS AGRÍCOLAS COMO SISTEMAS SENSIBLES DE ALMACENAMIENTO BAJO LAS CIRCUNSTANCIAS ACTUALES DE SEQUÍA Lenin Ejecatl Medina Orozco	... 853

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

ARBUSTOS PERENNES DEL MATORRAL DE MÉDANOS DE SAMALAYUCA Y SU INTERACCIÓN CON EL SUELO Y HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES Paola Margarita Estupiñan Villarreal; Miroslava Quiñónez Martínez; Pedro Osuna Avila; Emilio Álvarez Parrilla; Silvia Margarita Carrillo Saucedo	... 858
META-ANALYSIS REVEALS THE INFLUENCE OF MYCORRHIZAL FUNGI ON DECOMPOSITION Eduardo Misael Choreño-Parra; Kathleen Treseder	... 864
TOLERANCIA A METALES PESADOS EN <i>Paenibacillus sp.</i> , AISLADO DE SUELOS DE LA EX FUNDIDORA DE ÁVALOS, CHIHUAHUA Andrea Zepeda-Mestre; Javier Carrillo-Campos; Ismael Ortiz-Aguirre; Lorenzo Buenabad-Carrasco; Román González-Escobedo	... 869
DETECCIÓN DE BACTERIAS ENDOFÍTICAS EN ZANAHORIAS COMERCIALES EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA Pedro Osuna Avila; Claudia Hernández Peña; Juan Pedro Flores Margez	... 874
BIODIVERSIDAD DE RIZOBACTERIAS EN UN JAL MINERO EN ÁVALOS, CHIHUAHUA Frida Mariana Caraveo-De La Rosa; Leonor Cortes-Palacios; Amanda Castro Ochoa; Javier Carrillo-Campos; Román González-Escobedo	... 878
CONTROLES BIOFÍSICOS DE LA RESPIRACIÓN DEL SUELO EN UN CULTIVO DE INVIERNO DEL NOROESTE DE MÉXICO Martha L. Vargas-Terminel; Claudia J. Olivas-Castillo; Jaime Garatuza-Payán; Masuly G. Vega-Puga; Miguel A. Rivera-Díaz; Tulio Arredondo-Moreno; Julio C. Rodríguez; Enrico A. Yépez	... 883
NÍQUEL Y LA RIZOBACTERIA (<i>Arthrobacter pokkali jlb4</i>), EN EL CRECIMIENTO DE PLANTAS DE TOMATE Sara Monzerrat Ramírez-Olvera; Marco Polo Carballo-Sánchez	... 889
ACTIVIDAD MICROBIANA EN SUELOS TRATADOS CON FERTILIZANTE QUÍMICO Paola A. Herrera Aceves; Juan Pedro Flores Margez; Gabriela Mendoza Carreón; Pedro Osuna Avila	... 894
ANÁLISIS DE LAS PRECIPITACIONES Y TEMPERATURAS EN LA LOCALIDAD DE CUAPIAXTLA, TLAXCALA Edgar Barrales Brito; Claudia Isabel Hidalgo Moreno; José Sergio Barrales Domínguez; Jorge Etchevers Barra	... 900

División 1

Los Suelos en el Espacio y Tiempo



Imagen creada con IA (<https://deepai.org>), empleando los términos “soil in the space and time, real picture, 3d imagen”.



Coordinador de División
Dr. Bruno Chávez Vergara

INFLUENCIA ANTRÓPICA EN LA CLASIFICACIÓN CIENTÍFICA DE LOS SUELOS DEL EX LAGO DE TEXCOCO

Sandra Monserrat Barragán Maravilla¹; Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena¹; Gabriel Alejandro Hernández Vallecillo¹; Carlos Alberto Ortiz Solorio¹; Claudia Isabel Hidalgo Moreno¹

¹ Colegio de Postgraduados, km 36.5 Carr. México-Texcoco, Col. Montecillo, Texcoco, Estado de México. C.P. 56264. México.

RESUMEN

El lago de Texcoco fue un cuerpo de agua salobre en el que se depositaron sedimentos volcánicos-lacustres. Desde hace 100 años ha sido afectado por diversas actividades humanas, principalmente de drenaje e introducción de vegetación halófila, dando lugar a la formación de suelos. El objetivo de este trabajo es reconocer si el impacto antrópico que ha sufrido el ex lago de Texcoco se manifiesta en la clasificación científica de sus suelos. Se utilizaron los datos generados a partir del levantamiento de suelos 1:20 000 realizado por CONACYT-COLPOS (2021) para clasificar los suelos con la WRB (IUSS Working Group, 2022). Los resultados muestran que la actividad antrópica en el ex lago de Texcoco ha influido en la formación de ocho GRS, lo cual se expresa principalmente en los Athrosols y Technosols, pero ha favorecido el movimiento de arcillas (Solonetz), la concentración de sales a diferentes profundidades (Solonchaks y Regosols). En sitios menos perturbados se tienen Clacisols, Fluvisols y Phaeozems.

PALABRAS CLAVE

Calificadores; Salinidad; Series de Suelos; Suelos dragados.

INTRODUCCIÓN

Los suelos formados a partir de sedimentos lacustres se han estudiado para conocer propiedades químicas y físicas (Ozaytekin *et al.*, 2012), la morfología del perfil de suelo (Gozuraka *et al.*, 2021), y micromorfología del suelo (Badía *et al.*, 2022). Sin embargo, pocos estudios se han centrado en el impacto antrópico sobre su formación (Reséndiz-Paz *et al.*, 2013) y aun menos en su clasificación, puesto que no son reconocidos como un taxa dentro de los sistemas de clasificación internacionales.

El lago de Texcoco fue un cuerpo de agua salobre, en el que se depositaron sedimentos volcánicos-lacustres (Díaz-Rodríguez, 2006); y tras 100 años de actividades humanas ha sido modificado y desecado (Soto-Coloballes, 2019), dando lugar a la formación de suelos. A escala 1:50 000, los suelos se clasifican como Solonchaks (INEGI, 2023). A escala 1:20 000 con Soil Taxonomy se han descrito como Entisols e Inceptisols (Velázquez y Velázquez *et al.*, 1981), y Mollisols con horizontes flúvicos, cálcicos y petrocálcicos (Gutiérrez y Ortiz, 1992, 1999). No obstante, estos estudios se han realizado sólo en catenas, en pequeñas áreas o en la periferia del ex lago, por lo que el objetivo de este trabajo es reconocer si el impacto antrópico se evidencia en la clasificación científica de sus suelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio. El ex lago de Texcoco se localiza en la Cuenca del Valle de México, cuyo origen es volcánico y lacustre (Carranza-Edwards, 2018). Sus coordenadas extremas son 19° 44' y 19°47" latitud norte 99° 04' y 98°91' longitud oeste, con una altitud promedio de 2236 m. El clima es semiárido BS KW (w) (i) (García, 2004). La precipitación media anual es de 600 mm (Fernández-Buces *et al.*, 2006).

Actividades antrópicas. Antes de la construcción del Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (NAICM) se han construido lagos artificiales como el Nabor Carrillo (Cruickshank, 1998). Desde hace más de 60 años especies exóticas arbóreas, pastos halófilos y reforestaciones sobre camellones de *Tamarix juniperina*, *Khochia scoparia* y *Distichlis spicata* (González-Ornelas, 2014). En sitios sin vegetación se presentan costras salinas compuestas de NaCl y Na₂CO₃, denominadas localmente como Tequesquite las cuales se "cosechan" para su venta (Flores y Martínez, 2016). Se tienen tarquinas, drenes, antiguas pistas del NAICM, el Tanque de Evaporación Solar (conocido como Caracol) y el Parque Ecológico Lago de Texcoco (CONANP-SEMARNAT, 2024). El cuerpo de agua natural que se conserva es la Ciénega de San Juan.

Base de datos. Se utilizó la información de descripción de perfiles de suelo y los análisis químicos y físicos de 44 Series de Suelos (SS) del proyecto "Levantamiento de suelos y sedimentos. Contribución al proyecto prioritario rescate del lago de Texcoco" (CONACYT-COLPOS, 2021), para clasificar las SS de acuerdo con los criterios de la World Reference Base for Soil Resources WRB (IUSS Working Group, 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De manera general, los suelos han perdido más del 200% de humedad en la superficie, lo cual favoreció la concentración de sales, principalmente sodio (Diamant *et al.*, 2015); por lo que en la mayoría de son Solonchaks (SC, 34%) y Solonetz (SN, 48%). Los SC se desarrollan en áreas que tienen influencia del manto freático a ≤ 100 cm de profundidad del suelo, con condiciones de óxido-reducción (Merino, 2006). Los SN se distribuyen en sitios que fueron drenados para la construcción del lago Nabor Carrillo, las pistas del NAICM y drenes de desecación de aguas residuales. Estos suelos suelen desarrollarse en condiciones áridas y semiáridas (Manukyan, 2018); sin embargo, en el ex lago son resultado de las condiciones salinas naturales del material lacustre, acelerado por el secamiento artificial.

Los camellones construidos para reforestaciones no siempre conservaron una altura > 50 cm, por lo que solo en un área pequeña el suelo se clasificó como un Terric Anthrosols (AT, 2%). Los AT son resultado de actividades agrícolas intensivas, sin embargo, en el ex lago, la formación del horizonte Térrico es resultado de obras de recuperación de suelos salinos, como ha ocurrido en otros sitios similares que fueron dragados o modificados por aplicación de riego (Reséndiz-Paz *et al.*, 2013).

La construcción de tarquinas o la mezcla de tezontle con sedimentos ha favorecido la formación de Spolic Technosols (TC, 5%). En sitios donde ocurre el arrastre de materiales de texturas más gruesas (arenas u oolitos) por erosión eólica y condiciones de gléyicas a $>$ de 40 cm de profundidad se forman Calcaric Gleyic Regosol (RG, 5%).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cerca de la Ciénega de San Juan donde la perturbación ha sido mínima, se conservan algunos tulares, la concentración de sales es baja y se acumulan CaCO_3 , se tienen Fluvic Calcaric Gleyic Phaeozems (**PH**, 2%) y Cambic Calcisols (**CL**, 2%). La precipitación de carbonatos es resultado de la actividad biológica (Gutiérrez *et al.*, 1998). En esta misma zona, los lugareños utilizan el suelo y el agua de la Ciénega para la “producción y cosecha” de tequezquite, lo que mantiene la estratificación del suelo/sedimento, que da lugar a un Calcaric Fluvisol (**FL**, 2%).

Los calificadores primarios y suplementarios que se utilizan en la mayoría de los GRS son: Gleyic, Fluvic, Sodic, Salic, Humic/Ochric, Loamic/Clayic, Calcaric, Hypernatric, Evapocrustic, Raptic, Alcalic, así como Vitric y Limnic. Por ejemplo, la serie 7 se clasifica como Sodic Gleyic Solonchaks (Loamic, Alcalic, Calcaric, Chloridic, Evapocrustic, Hypersalic, Magnestic, Ochric, Raptic; Limnic).

CONCLUSIONES

La actividad antrópica en el ex lago de Texcoco ha influido en la formación de ocho Grupos de Suelo de Referencia, lo cual se expresa principalmente en los Athrosols y Technosols, pero ha favorecido el movimiento de arcillas (Solonetz), la concentración de sales a diferentes profundidades (Solonchaks y Regosols); en tanto que, los sitios menos perturbados se tienen Calcisols, Fluvisols y Phaeozems. Los GRS pueden llegar a tener hasta 11 calificadores, que describen la complejidad de los suelos y dan una idea del origen y evolución de estos suelos; sin embargo, el origen y la influencia antrópica de los suelos no siempre se denota en su clasificación científica.

BIBLIOGRAFÍA

- Carranza-Edwards, A. (2018). Correlación litológica del subsuelo del lago de Texcoco. *Hidrobiologica*, 28(1): 93-101. DOI: 10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2018v28n1/Carranza
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Secretaria de Medioambiente y Recursos Naturales. (2024). Programa de Manejo: Área de Protección de Recursos Naturales Lago de Texcoco. Disponible en: <https://www.conanp.gob.mx/programademanejo/PMLagoDeTexcoco.pdf>
- Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías CONAHCYT y Colegio de Postgraduados COLPOS. (2021). Levantamiento de suelos y sedimentos: contribución al proyecto prioritario rescate del lago de Texcoco. Disponible en: [https://socioecologia.conacyt.mx/texcoco/diagnostico.\(14/06/2024\)](https://socioecologia.conacyt.mx/texcoco/diagnostico.(14/06/2024)).
- Cruickshank, G. G. (1998). Proyecto Lago de Texcoco, rescate hidro-ecológico. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). México D. F.
- Diamant, A.J., Siebe, C., Estrada, C., Aguillón, J., Rojas, A., Chávez, E., Sheinbaum, C. (2015). Retos y oportunidades para el aprovechamiento y manejo ambiental del ex lago de Texcoco, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 67(2): 145-166. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/bsgm/v67n2/v67n2a3.pdf>.
- Díaz-Rodríguez, J.A. 2006. Los suelos lacustres de la Ciudad de México. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 6(2): 111-130.
- Fernández-Buces, N., Siebe, C., Cram, S. y Palacio, J.L. (2006). Mapping soil salinity using a combined spectral response index for bare soil and vegetation: A case

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- study in the former lake Texcoco, Mexico, *Journal of Arid Environments*, 65:644-667. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.08.005>.
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. 90p. Disponible en: <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1>.
- González-Ornelas, I. (2014). Almacenes de carbono orgánico en tres sitios con diferente cobertura vegetal de la Zona Federal del ex lago de Texcoco. Tesis de Licenciatura, Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Gutiérrez, MC. y Ortiz, C.A. (1992). Caracterización de los suelos antropogénicos con problemas de labranza en el ex lago de Texcoco. *Agrociencia*, 3(2): 30-47.
- Gutiérrez, MC. y Ortiz, C.A. (1999). Origen y Evolución de los suelos del Ex Lago de Texcoco, México. *Agrociencia*, 33(2):199-208.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI. (2023). Sitio web <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/>, consulta 11/04/2023.
- IUSS Working Group WRB. (2022). World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Viena, Austria.
- Manukyan, R.R. (2018). Development direction of the soil-forming processes for reclaimed soda solonetz-solonchak soils of the Ararat valley during their. *Annals of Agrarian Science*, 16:69-74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2017.08.007>.
- Ozaytekin, H.H., Mutlu H.H. y Dedeoglu, M. (2012). Soil formation on a calcic chronosequence of Ancient Lake Konya in Central Anatolia, Turkey. *Journal of African Earth Sciences*, 46: 66-74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2012.09.002>.
- Reséndiz-Paz, M.L., Gutiérrez, M.C., Gutiérrez, E.V., Ortiz, C.A., Cajuste, L. y Sánchez, P. (2013). Local soil knowledge and management of Anthrosols: A case study in Teloyucan, Mexico. *Geoderma*, 193-194: 41-51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.09.004>.
- Soto-Coloballes, N. (2019). Proyectos y obras para el uso de los terrenos desecados del antiguo lago de Texcoco, 1912-1998. *Estudios de Historia Moderna y Contemporánea de México*, 58: 259-288. DOI: <https://doi.org/10.22201/iih.24485004e.2019.58.70695>.
- Velázquez, M. y Velázquez, A. 1986. Lavado de suelos en el ex Lago de Texcoco. Comisión del Lago de Texcoco, SARH. Ingeniería Hidráulica en México. 20p. Disponible en: <https://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/524>.

IMPACTO DE LA LABRANZA DE CONSERVACION EN LA SALUD DEL SUELO VERSUS CONVENCIONAL EN SISTEMAS PRODUCTIVOS AGRÍCOLAS

Maria Fernanda Godinez-Montemayor¹; Edgar Vladimir Gutierrez-Castorena^{1*}; Martin Espinosa Ramírez², Vicente Vidal Encinia-Uribe¹; Natalia Carillo Vizcaino¹; Ma. Del Carmen Gutiérrez-Castorena³

¹Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, General Escobedo, C.P. 66050, Nuevo León, México.

²Instituto Nacional de Investigadores Forestales, Agrícolas y Pecuarios Rio Bravo, Km.61 Carretera Matamoros, Primero de Mayo, 88900 Cdad. Río Bravo, Tamps.

³Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km. 36.5. 56230 Montecillo, Estado de México, México. *Email: edgar.gutierrezcs@uanl.edu.mx

RESUMEN

Los sistemas de labranza generan cambios en las propiedades físicas, químicas, biológicas y micromorfológicas de los suelos agrícolas. Los estudios sobre los cambios en los sistemas productivos por el tipo de labranza son comunes, enfocados a la degradación del recurso suelo por la actividad agrícola, haciéndolos susceptibles a la erosión, debido al impacto directo en la estructura, infiltración, capacidad de retención de agua, disponibilidad de nutrientes y contenido de materia orgánica. El objetivo fue evaluar dos sistemas de labranza (conservación (LC) y mecanizada (LM)) en sistemas agrícolas establecidos durante una década. La investigación se desarrolló en el campo experimental de INIFAP, en Río Bravo, Tamaulipas, donde se establecieron parcelas experimentales en 2014. En un sistema de labranza de conservación (sembradoras), y otra convencional (subsuelo, arado, rastra y sembradora). Se realizaron perfiles pedológicos, colectando muestras alteradas e inalteradas por horizonte, para elaborar secciones delgadas y el análisis físico y químico respectivo. Los resultados micromorfológicos indican el desarrollo intenso de la actividad biológica (a escala micro, macro y mega) en el sistema de LC por encima del sistema de LM, además de clasificar a los suelos como *Typic Haplustepts*, debido al cambio de régimen de humedad al pasar de Aridic a Ústico por la intensidad de los riegos. La salud y sostenibilidad de los suelos agrícolas como sistema productivo en el sistema de labranza de conservación es una alternativa pertinente en Distritos de Riego de zonas áridas, al permitir el incremento de la actividad biológica en suelos agrícolas del noreste de México.

PALABRAS CLAVE

Mega fauna; Labranza intensiva; Actividad biológica.

INTRODUCCIÓN

La implementación del manejo agronómico inadecuado por sistemas de labranza en terrenos de zonas áridas y semi áridas han provocado la degradación y el deterioro

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

de la fertilidad del suelo (Sarmiento et al., 2022). La labranza de conservación surgió como alternativa en la reducción de gases de efecto invernadero, incremento del carbono orgánico del suelo, almacenamiento del agua y por ende la reducción de la erosión del suelo (Singh et al., 2014), sin embargo, pocas evaluaciones han sido encaminadas a determinar el desarrollo de la mesofauna en sistemas productivos de distritos de riego del noreste de México.

Los organismos presentes son indicadores de la calidad del suelo, los cuales juegan un papel esencial en la función y propiedades físicas y químicas (Hallam et al., 2020), al regular el flujo de agua y nutrientes. Los microorganismos contribuyen indirectamente en la dinámica de la materia orgánica, en la agregación, la porosidad, la infiltración, y composición de la solución del suelo (Farías et al., 2019), siendo más común en la labranza de conservación, motivando la disminución de degradación del suelo como resultante del laboreo intensivo, el cual ocasiona un decremento en la materia orgánica, actividad de microorganismos, por ende, cambios en el contenido de nutrientes a través del tiempo (Fawen., 2021).

La agricultura intensiva ha ocasionado reducir la actividad biológica de los suelos, como consecuencia de la actividad propia del sistema productivo, llegando a autorregularse y siendo más vulnerables y susceptibles a la erosión (Vallejo et al., 2020) con decremento en la salud y sostenibilidad del recurso.

El objetivo de este estudio fue determinar el impacto de dos sistemas de labranza a una década de haberse establecido, evaluando las propiedades físicas, químicas biológicas y micromorfológicas en epipedones y endopedones de los perfiles de suelo de los sistemas productivos en el Distrito de Riego 026 en Rio Bravo Tamaulipas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se realizó en parcelas experimentales dedicadas a la producción de cultivos rotativos maíz (*Zea Mays*) / sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), maíz (*Zea Mays*) / frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), ubicado en Rio Bravo (25°57'54"N 98°00'58"W); a una elevación de 34 msnm; con una precipitación promedio anual reportada de 453 mm, con un régimen de humedad del suelo considerado como *Typic Haplustepts* y régimen de temperatura *Hipertérmico*, con base al régimen climático del suelo según el cálculo de Modelo de Simulación Newhall (NSM).

Los sitios seleccionados de las parcelas experimentales llevan a cabo actividades agrícolas por el tipo de labranza, siendo: a) labranza conservación, que consistió en dejar el residuo de cosecha, empleando únicamente la sembradora para el establecimiento del siguiente ciclo; mientras tanto, b) el sistema de labranza mecanizada consistió en realizar labranza profunda con subsuelos cada cuatro años, pasos de arados de vertederas cada ciclo y rastras cruzadas como preparación de la cama de siembra; se realizaron perfiles pedológicos con la descripción de sitios, horizontes genéticos, y la elaboración de microfotomosaicos de secciones delgadas.

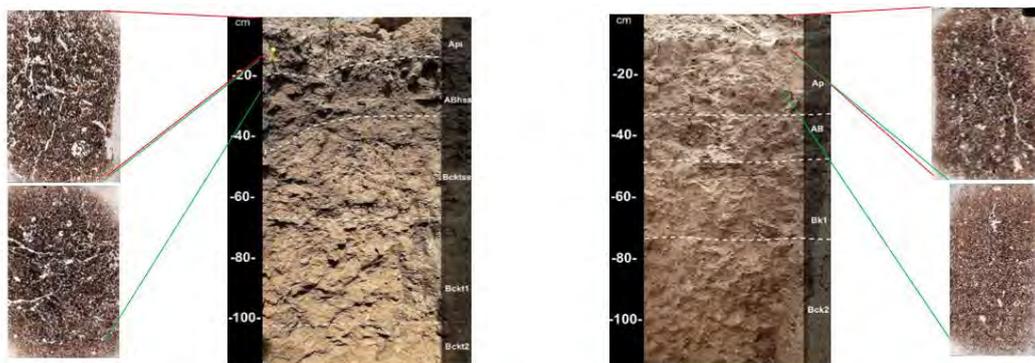
La descripción de los perfiles de suelo se realizó conforme al manual de descripción de perfiles de suelo (Cuanalo, 1990); recolectando muestras alteradas e inalteradas de epipedones y endopedones, con el fin de realizar análisis físicos y químicos con las técnicas del manual de procedimientos de Van del Reeuwijk (2002), y realización de secciones delgadas de los núcleos inalterados (Bullock, 1985).

El material parental de los suelos de estudio es sedimentario de naturaleza calcárea (INE, 2007). La parcela experimental de LC fue fertilizada con abonos orgánicos (gallinaza y lixiviados orgánicos) en cantidades de 300L/ha, así como sometida a 3 riegos al año.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la descripción de horizontes genéticos en los perfiles de suelo de cada sistema de labranza empleado se reportan en el Cuadro 1 y Figura 1, se observa que en sistemas de LC existe la presencia de actividad biológica a escala de megafauna, mayor presencia de raíces hasta una profundidad de 100 cm a partir de la superficie del suelo, presencia de nódulos de carbonatos de calcio, iluviación de arcillas y movimiento descendente de materia orgánica en comparación con el sistema de LM que reporto menor actividad biológica y presencia de raíces.

El perfil de suelo de labranza de conservación reportó estructura de bloques subangulares, con un tamaño medio/grueso, moderadamente desarrollada, la consistencia en seco se reportó dura; y en húmedo muy friable, porosidad del 30-50% a lo largo del perfil, del tipo tubular dendrítico <2mm, y poros cámara dentro de los agregados los cuales tienen un tamaño <4mm. Los poros cámara se encontraron



a) Labranza de conservación b) Labranza mecanizada.
Figura 1. Perfiles de suelo con sus horizontes genéticos en Rio Bravo, Tamaulipas.

rellenos de excrementos provenientes de la megafauna (>2mm) (Fig 2c y 2d), además de poros rellenos con arcillas provenientes de horizontes suprayacentes. La mayor actividad registrada de la megafauna fue en los horizontes 2, 3 y 4, encontrándonos lombriz roja californiana (*Eisenia fétida*), restos de caracoles (<15mm) y grillo negro (*Gryllus fulvipennis*) (Fig 2a y 2b).

El perfil de suelo de labranza mecanizada reportó estructura de bloques subangulares con tamaño gruesos/muy gruesos fuertemente desarrollados, consistencia en seco muy duro; en húmedo friable, porosidad del 5-10% a lo largo del

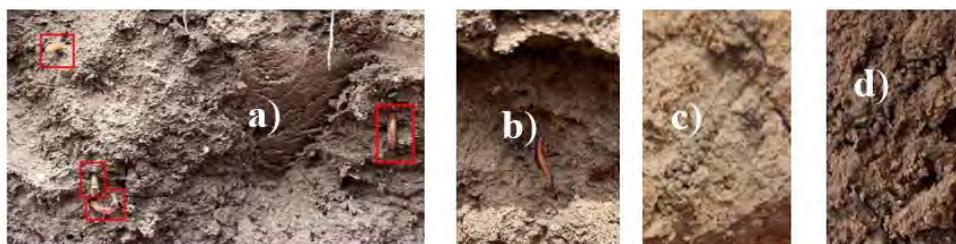


Figura 2. Actividad de la megafauna en labranza de conservación, Rio Bravo, México.
a) Lombrices de tierra b) Actividad de megafauna c) Poro relleno de excremento d) Poro relleno de excremento.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

perfil de tipo tubular dendrítico (<2mm). En cuanto a la actividad de la megafauna, se encontraron restos de caracoles <10 mm, hasta una profundidad de 70 cm.

Cuadro 1. Análisis físicos y químicos de las parcelas experimentales de labranza de conservación y convencional

Perfil	Horizonte	Espesor (cm)	% arena	% limo	% arcilla	Textura	MO (%)	Color Seco	Color húmedo	CE (dSm)	NO ₃ (ppm)	K ⁺ (meq/L)	P (ppm)	Tamaño/poro	Cantidad/poro	Tipo/poro
LC	Api	0-16/20	29.78	36.40	33.82	Franco arcilloso	1.94	10 YR 5/2	7.5 YR 4/2	0.50	7.14	0.41	37.61	<2mm	30%	Tubular dendrítico
	ABhs	16/20-38/45	37.60	32.40	30.00	Franco arcilloso	2.44	10 YR 5/2	7.5 YR 4/2	0.65	6.08	0.69	83.16	<2mm,<4mm	50%	Tubular dendrítico/cámara
	Bckt1	38/45-68	35.78	32.40	31.82	Franco arcilloso	2.11	10 YR 6/2	10 YR 4/2	0.50	5.55	0.51	39.48	<1mm,<4mm	50%	Tubular dendrítico/cámara
	Bckt2	68-105	33.24	34.40	32.36	Franco arcilloso	2.36	10 YR 6/3	7.5 YR 5/3	0.37	2.12	0.42	49.05	<1mm,<4mm	40%	Tubular dendrítico/cámara
LM	Ap	0-34	37.78	40.40	21.82	Arcilla	1.60	10 YR 5/2	10 YR 3.5/2	0.55	7.80	0.11	32.59	<2mm	5%	tubular detritico
	AB	34-47	33.78	36.40	29.82	Franco arcilloso	1.64	10 YR 5.5/2	10 YR 4/2	0.72	10.17	0.59	26.16	<1mm	10%	tubular detritico
	Bk1	47-75	37.78	36.40	25.82	Franco arcilloso	1.64	10 YR 6/2	10 YR 4.5/2	0.48	8.98	0.23	26.51	<1mm	10%	tubular detritico
	Bck2	75-x	31.60	40.40	28.00	Arcilla	1.39	10 YR 6/3	10 YR 4.5/3	0.46	2.92	0.02	21.14	<1mm	10%	tubular

El contenido de MO en LM y LC no presento diferencia, interpretándose como un nivel medio en todos sus horizontes de acuerdo con la NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, sin embargo, en LC, el contenido de MO aumentó en el horizonte 2, disminuyó en el horizonte 3, y volvió a incrementar en el horizonte 4 (Cuadro 1), lo que significa movilidad del material a través de los horizontes, debido a la actividad de la megafauna por medio poros (Fig. 1a), la iluviación de arcilla es provocada por la formación de lenguetas en horizontes subyacentes y poros tubulares rellenos de arcilla.

Los elementos nutrimentales nitrógeno (N) y fósforo (P) no reportaron decrementos o incrementos entre sistemas, sin embargo, el potasio (K) en LC registro un incremento respecto al LM, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, consideradas como muy bajos de N-NO₃ en LC y LM, en cambio, niveles altos para P en LC y LM. Por otro lado, el K en LC reporta niveles medio/alto y en LM muy bajo/bajo.

Los suelos fueron clasificados como Petronodic Haplocalcids, sin embargo, debido al cambio de régimen de humedad se clasificaron como Typic Haplustepts (cuando se aplican tres riegos o más). Esto significa que el cambio en el régimen de humedad modificó la clasificación taxonómica, de manera que, un suelo clasificado como Aridosol (suelo sin riego) pasa a ser clasificado como Inceptisol, al tener disponibilidad de agua por más de seis meses consecutivos.

La implementación de sistemas sostenibles tiene como efecto la acumulación visible de MO, por el contrario, su pérdida se asocia con la reducción de fertilidad y aumento de erosión hídrica y eólica (McCauley et al. 2017).

CONCLUSIÓN

La parcela experimental de LC mostró actividad biológica de megafauna a diferentes profundidades del perfil, siendo notorio después de una década del sistema productivo sin alteración mecánica al suelo, evitando las alteraciones del hábitat de la megafauna.

Las aportaciones orgánicas sirvieron como energía para el desarrollo de la micro, macro y megafauna, mientras que los riegos otorgaron condiciones favorables de

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

ambientes húmedos. El manejo agronómico y el tiempo son cruciales para garantizar el incremento de los procesos pedogenéticos por actividad biológica (excremento de lombrices), al grado que solo en los primeros años (cuatro años) era posible verse en secciones delgadas.

El sistema de labranza de conservación otorga sostenibilidad al sistema productivo aun cuando el régimen de humedad del suelo es considerado arídico, el cual dio paso a ústico por las aportaciones de riego, contrario a lo sucedido en LM, donde se muestra menor actividad biológica por la destrucción del hábitat a escala megascópico.

BIBLIOGRAFÍA

- Cuanalo, H. (1990). Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 40 p.
- Bullock, Fedoroff PN, Jongerijs A. Stoops G. Tursina T. Babel U. 1985. Handbook for Soil Thin Section Description. Wolverhampton, England: Waine Research Publications.
- Farías, R.; Olivas, P.; Flore, P.; Martínez, R.; Álvarez, E. Efecto de la salinidad y nitrógeno inorgánico del suelo en los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de *Lycium berlandieri*. En: Terra Latinoamericana, 2019. Vol. 37 no. 1, p. 81-90.
- Fawen, L.; Manjing, Z.; Yaoze, L. Quantitative research on drought loss sensitivity of summer maize based on AquaCrop model. In: International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards, 2022. Vol 112, no 2. p. 1065-1084.
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Quinta Edición. México. 97 p.
- Hallam, J., Berdeni, D., Grayson, R., Guest, J., Holden, J., Lappage, G., ... & Hodson, E. (2020). Effect of earthworms on soil physico-hydraulic and chemical properties, herbage production, and wheat growth on arable land converted to ley. *Science of the Total Environment*, 713, 136491.
- Sarmiento, G., Peña-Dávila, J., & Medina-Dávila, H. (2022). Impacto de tres sistemas de labranza en la fertilidad de un suelo entisol en zonas aridas. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences: Ex Agro-Ciencia*, 38(1), 104-113.
- Singh, R. C., Lenka, S., & Singh, C. D. (2014). Conservation tillage and manure effect on soil aggregation, yield and energy requirement for wheat (*Triticum aestivum*) in vertisols. *Indian J. Agric. Sci*, 84(2), 267-271.
- Vallejo, C.; Franco, A.; Salazar, V.; Giraldo, R.; Victorino, L. Universidad Nacional de Colombia, 2020, p. 62-86.
- Van Reeuwijk L. (2002). Procedures for Soil Analysis, International Soil Reference and Information Centre-Food and Agriculture Organization of the United Nations. 119p.

ELABORACIÓN DE MONOLITOS DE SUELO PARA DOCENCIA

Mayra Madai Romero Aguilar¹; Guillermo Ramírez Rosales¹; Juan Carlos Sandoval Aparicio²; Alma Bella López López¹; Gerardo Cruz Flores¹

¹ Facultad de Estudios Superiores Zaragoza UNAM Campus II, 09230 Ciudad de México, CDMX
1595abl@gmail.com (autor para correspondencia).

² Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, 56230 Montecillo, Méx. sandoval.juan@colpos.mx
(autor para correspondencia).

RESUMEN

Un monolito de suelo es una herramienta didáctica que ofrece a quien lo observa características propias del suelo en su condición natural; como lo son estructura, color, actividad biológica y raíces, tipo, espesor y distribución de horizontes (Martínez *et al*; 2011). En este trabajo se presentan cuatro monolitos de suelo, desde su colecta, elaboración y preservación, con el propósito de iniciar una colección de suelos de un paisaje volcánico del centro de México. En cada sitio se excavó una calicata de 1.5 m de ancho x 2 m de largo, y 1.5 m de profundidad, cuidando que la cara del perfil de suelo quedara expuesta a la luz del sol a su término. Se utilizaron cajas de madera forradas con una bolsa de plástico. Se alisó la cara de la calicata y se moldeó la columna de suelo conforme las dimensiones de la caja. Posteriormente se realizó la extracción de la caja con la muestra del suelo y se secaron a temperatura ambiente. Las caras expuestas de las cajas con las muestras de suelo fueron sometidas a un tratamiento de laca y thinner en diferentes proporciones (20:80, 40:60, 60:40), hasta la última adhesión de resina al 100%. Después se pegó una placa de madera con Resistol 800 como soporte, se retiraron las cajas y se moldearon los monolitos para su exhibición. A la par se diseñaron infografías en Inkscape para detallar las características de los perfiles. Se obtuvieron varios monolitos de suelo; uno de origen volcánico, donde se detalla y se observa el material parental (pómez ocre de 5600 años) (Arana *et al*; 2010), horizonte Ah, bioturbación, color y estructura del suelo. Otro suelo es de origen volcánico-glacial, con características de crioturbación, paludización, procesos óxido-reducción y diferentes materiales de depósito, además de un Vertisols sobre un tepetate. Estos monolitos representan un potencial para la enseñanza de la génesis del suelo y su relación con procesos ecológicos y ambientales.

PALABRAS CLAVE

Perfil de suelo; Génesis de suelo; Paisaje volcánico.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un sistema natural vivo, dinámico y complejo, resultado de interacciones físicas, químicas y biológicas, los cuales conducen a la diferenciación de distintas capas u horizontes (Porta *et al*; 2019).

La formación de un suelo es compleja, su estudio y su clasificación es indispensable para el entendimiento de su funcionamiento y su correcto manejo. El uso de los monolitos de suelo facilita y mejora su estudio ex-situ. Por lo que el propósito de este

trabajo fue elaborar monolitos de suelo para uso didáctico. Además de mostrar los diferentes tipos de suelo que pueden ocurrir dentro de un paisaje volcánico, según la intensidad de los factores y procesos de formación de suelo.

Los suelos del Eje Neovolcánico Transversal Mexicano cinturón derivan de material volcánico, la diversidad de los suelos es producto de la intensidad del intemperismo. Por lo que pueden desarrollarse suelos muy jóvenes o más desarrollados, con distintas características pedogénicas (Krasilnikov *et al*; 2013). Los sitios de estudio ubicados en el Eje Neovolcánico Transversal se ven afectados por distintos gradientes de clima, vegetación y relieve, lo que da lugar a diversas edafogénesis.

MATERIALES Y MÉTODOS

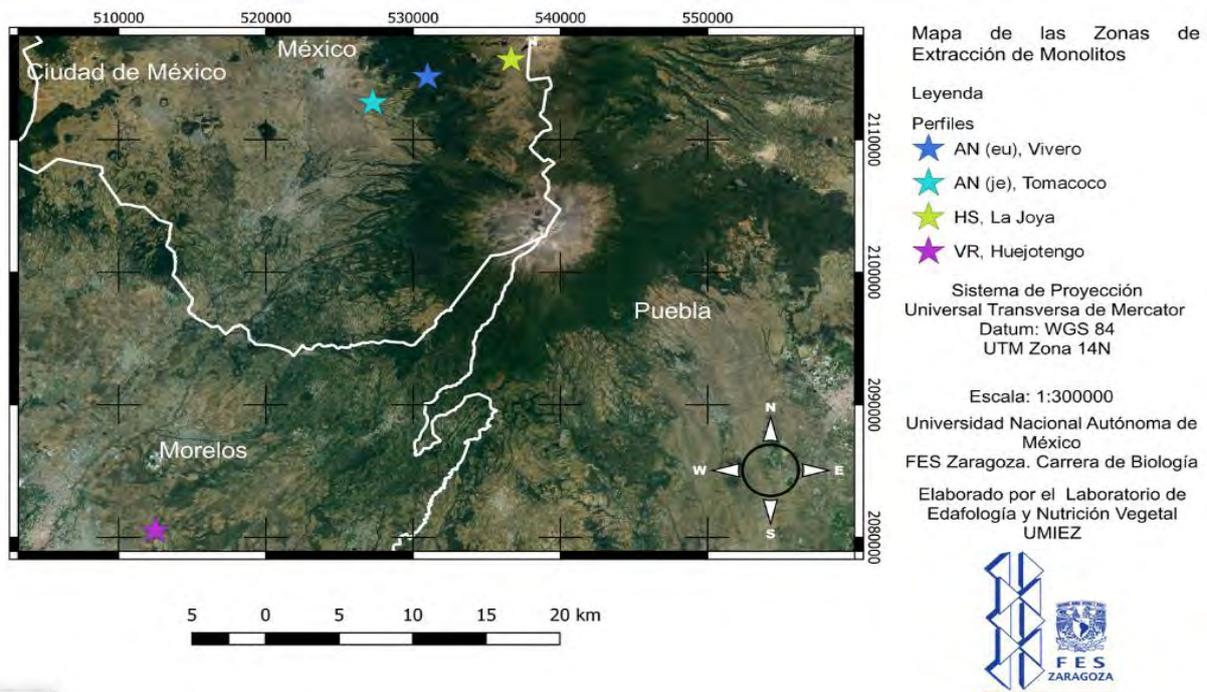


Figura 1. Mapa de las zonas de extracción de los monolitos

Se investigaron las áreas seleccionadas y se excavaron calicatas de 1.5 m de ancho, 2 m de largo y 1.5 m de profundidad, asegurando que el perfil del suelo quedara expuesto a la luz solar. Las columnas de suelo se moldearon en cajuelas de madera forradas con bolsas de polietileno, de 90 cm de largo, 20 cm de ancho y 10 cm de fondo, extrayéndose los monolitos utilizando una barreta para facilitar la separación.

En el campo, se alisó la cara de la calicata con una pala recta y se moldeó la columna de suelo de acuerdo con las dimensiones de la caja. El monolito se extrajo ensamblando la caja e insertando una barreta a la mitad para facilitar la separación, eliminando los excedentes de suelo y sellando la bolsa de plástico para su traslado.

En el laboratorio, los suelos se secaron al aire para permitir la penetración de la laca y evitar el blanqueo por humedad. Luego, se aplicó un adhesivo perforando la cara expuesta del perfil en hileras intercaladas, con perforaciones a 4 cm de distancia y 2 cm de profundidad, asegurando la impregnación del agente preservante. Las

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

concentraciones de la laca de nitrocelulosa diluida en thinner fueron 20:80, 40:60, 60:40, aumentando progresivamente hasta llegar a una aplicación final de resina al 100%.

Después del secado de una semana entre cada aplicación, los monolitos se montaron sobre una tela de yute del tamaño de la caja, pegada a una placa de madera contrachapada de 1 cm de grosor con resistol blanco "800". Se prensaron y dejaron secar durante una semana antes de desmontarlos. Luego, se rebajó el suelo con una brocha hasta alcanzar un grosor de 5-6 cm, aplicando laca en aerosol para protegerlo sin deshacerlo por la presión del aire. Finalmente, los monolitos se montaron junto con infografías creadas en Inkscape en una base de madera para su exposición.

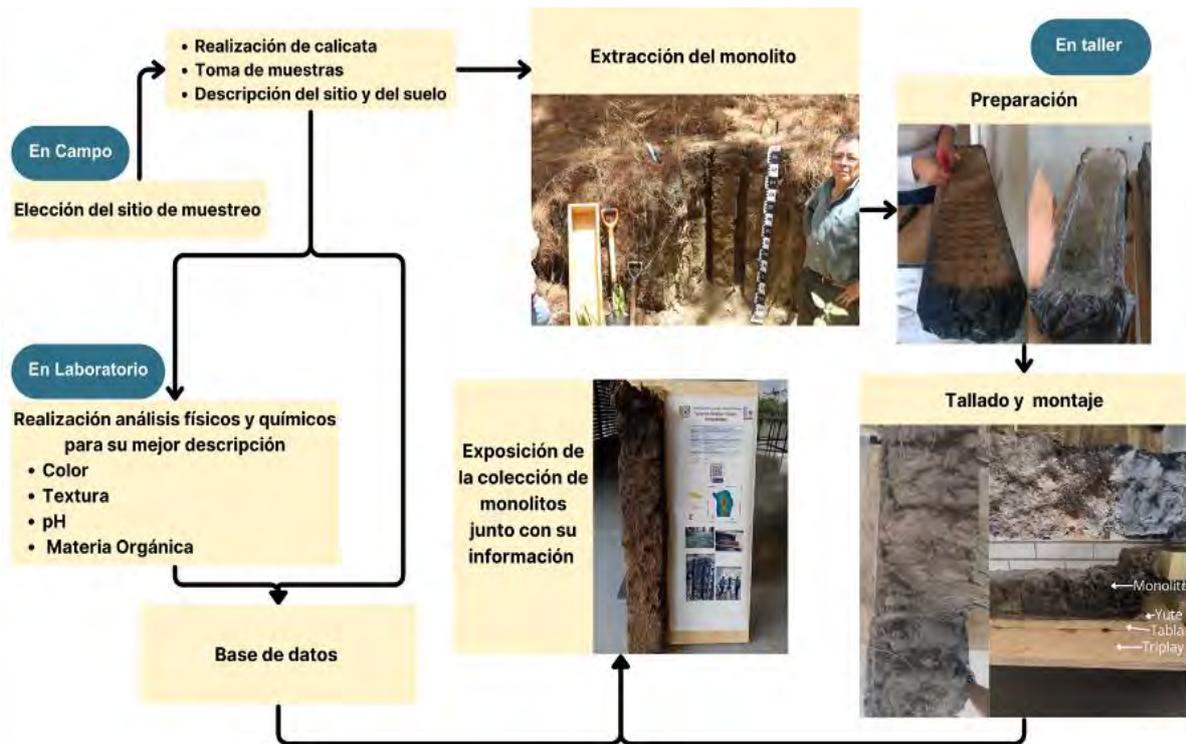


Figura 2. Diagrama de flujo que muestra los pasos a seguir para la fabricación de un monolito desde su extracción, preservación y montaje.

RESULTADOS

Se obtuvieron 4 monolitos los cuales fueron exhibidos en distintos lugares para su difusión, uno de ellos fue en el 47 Congreso Mexicano de la Ciencia del Suelo con el tema de "Los monolitos de suelo en la Sierra Nevada, México". También se exhibieron afuera de la biblioteca del campus II de la Facultad de Estudio Zaragoza durante el Día Mundial de Suelo, 5 de diciembre del 2023. Se pretende que sea de uso didáctico para las clases de edafología y de laboratorio de 6to semestre de la carrera de Biología.

Los monolitos de suelos corresponden a 1) al fondo de valle de un paisaje vulcanoglacial, donde domina el zacatonal montano y vegetación hidrófila, 2) uso de suelo forestal a 3000 msnm, y 3) dos perfiles de menor altitud de uso agrícola. Los climas varían de mayor a menor altitud: semifrío subhúmedo, templado y semicálido subhúmedo. Todos con diferentes procesos y factores formadores de suelo, teniendo en común el material parental de origen volcánico (Cuadro 1).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cuadro 1. Información de los monolitos.

Sitio	Altitud	Paisaje y vegetación
Valle de Alcalica, adyacente al paraje denominado la Joya dentro del área de conservación del PN-IP.	3883 m	Se ubica en un fondo de valle, en una zona plana en donde se extiende un amplio abanico aluvial; la vegetación está dominada por pastos ralos y herbáceas resistentes a inundaciones.
Valle de Alcalica, adyacente al paraje denominado la Joya dentro del área de conservación del PN-IP.	3021 m	Ubicado en lomo de ladera en una pendiente moderada escarpada, predominan <i>Abies religiosa</i> , <i>Pinus</i> , <i>Quercus sp.</i> , junto a vegetación secundaria.
Ex hacienda de Tomacoco. Amecameca, Estado de México	2541m	Se ubica en la parte alta del piedemonte, la vegetación original ha sido reemplazada por el uso agrícola.
Yecapixtla Morelos, Ejido Zaraguanatlan, Localidad Huejotengo	1466 m	Ubicado en piedemonte medio, la vegetación original ha sido reemplazada por el uso agrícola.

DISCUSIÓN

Al realizar los monolitos de suelo se enfrentaron varias dificultades. El uso de resina concentrada provocó la disminución de color en algunos horizontes. Torres *et al* (2003) sugieren una adaptación a la metodología tradicional de Baren y Bomer (1982), reemplazando la laca de nitrocelulosa y el solvente orgánico por una solución de resistol de carpintería y agua destilada. Esta alternativa ofrece ventajas como la preservación del color, la eficacia en distintos tipos de suelo, incluyendo suelos orgánicos, y la reducción de costos y tiempo de fabricación, además de ser menos nociva para la salud. Por ello, se optó por utilizar la laca de nitrocelulosa solo como soporte, preservando los colores con la solución de resistol y agua.

Durante la colecta surgieron otras complicaciones: los andosoles, por ser friables y deleznable además de la presencia de raíces gruesas y galerías de fauna complican su extracción. En el caso del vertisol, su dureza dificultó la excavación del perfil y el moldeado del monolito. Además, al impregnarse de laca, las esmectitas se expanden y complican su manejo.

El costo total de los materiales utilizados para la fabricación del monolito (solo consumibles) fue de \$1433 pesos mexicanos, sin tomar en cuenta las herramientas que fueron empleadas; y el tiempo invertido aproximado para la realización de cada monolito fue de un mes, contando desde la extracción en campo hasta su montaje.

Los monolitos extraídos de distintas áreas, como altas montañas, suelos ribereños y zonas de piedemonte revelaron la diversidad de tipos de suelo influenciados por factores como el relieve (valles glaciales, fluviales), material parental (cenizas volcánicas, depósitos glaciales, sedimentos fluviales), clima (microclimas) y vegetación (pastizal, bosque de oyamel, cultivos) (Sandoval-Aparicio, 2016). Los perfiles del suelo se desarrollaron en distintas condiciones de relieve, clima, vegetación y material parental de origen volcánico. Se observa que estas variables modifican la génesis del suelo y sus características, proporcionando información valiosa sobre la ecología del lugar y su uso potencial (Fig. 3). Otro suelo es de origen volcánico-glacial,

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

con características de crioturbación, paludización, procesos oxido-reducción y diferentes materiales de depósito, además de un Vertisols sobre un tepetate con liformación de rasgos pedogeneticos, como grietas, caras de fricción; presión (slickensides) y acumulaciones de CaCO_3 .



Figura 2. Toposecuencia y vegetación de suelo

CONCLUSIONES

La preservación del suelo tiene como finalidad brindar información a partir del conocimiento previo del tipo de suelo. Las características particulares del perfil, nos permitirá distinguir rasgos pedogenéticos y los principales procesos de formación del suelo y junto con la caracterización ecológica de un sitio podemos comprender y determinar el uso y manejo potencial del suelo. La información generada a través de este tipo de colecciones muestra al estudiante, agricultor y a cualquier persona la complejidad, riqueza y diversidad del suelo.

Al elegir los perfiles en distintas condiciones de relieve, clima, vegetación, manteniendo en constancia el material parental dentro de un paisaje volcánico, se puede observar la variabilidad en los suelos y como estas condiciones afectan su génesis y sus propiedades físicas y químicas. Conocer estas propiedades nos brinda información útil acerca de la ecología del lugar, es útil para decidir el uso y aprovechamiento de este recurso.

La fabricación de estos monolitos y el registro de sus características, nos brindan un material didáctico e informativo, que nos ayudan a explicar fácilmente procesos de génesis, clasificación, procesos específicos de formación y características.

BIBLIOGRAFÍA

- Arana-Salinas, L., Siebe, C., Macías J.L. (2010). *Dynamics of the ca. 4965 yr 14C BP "Ochre Pumice" Plinian eruption of Popocatepetl volcano, México*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 192, 212-231.
- Krasilnikov, P., Gutiérrez-Castorena, M. del C., Ahrens, R. J., Cruz-Gaistardo, C. O., Sedov, S., & Solleiro-Rebolledo, E. (Eds.). (2013). *The soils of Mexico*. Springer.
- Martínez R., Fernández I., Villegas, R & Bautista F. (2011). *Monolitos de suelo para colecciones científicas*. ResearchGate, 259-274.
<https://www.researchgate.net/publication/>
- Porta Casanellas., Lopez-Acevedo Reguerin, M., & Poch Claret R.M. (2019). *Edafología: uso y protección de suelos*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Sandoval, J, C. (2016). *Caracterización y Clasificación de Suelos de Sistema Ribereños del Parque Nacional Izta-Popo* [Tesis para obtener el título de Biólogo]. Colegio de Postgraduados.
- Torres S, P, Martínez, M, & Perdomo R, C. (2003). *Propuesta metodológica y experiencias en la preparación e impregnación de monolitos de suelo usando goma de carpintero*. Bioagro, 15(1), 31-40.
https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612003000100004
- Van Baren J. H. V. y Bommer W. (1982). *Procedimientos para la Colección y Preservación de Perfiles de Suelo*. Publicación Técnica No. 1. isric, Wageningen. The Netherlands.

PREDICCIÓN DE TIPOS DE SUELO CON APRENDIZAJE AUTOMÁTICO: UN ENFOQUE DE MAPEO ESPACIAL

Sergio Morales Salazar^{1‡}; Demetrio Salvador Fernández Reynoso¹; Adolfo López Pérez¹; Adolfo Antenor Exebio García¹; Teresa Margarita González Martínez¹

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56264. Texcoco, Estado de México. México.
[‡]Autor para correspondencia: morales.sergio@colpos.mx.

RESUMEN

El mapeo digital de suelos a gran escala mediante inteligencia artificial permite una clasificación supervisada precisa. En este estudio, se aplicó el modelo de árboles aleatorios para catalogar tipos de suelo y fases físicas geológicas en cuencas del oriente del Valle de México. Se utilizaron 60 sitios de muestreo donde cada sitio tuvo una zona de amortiguamiento de 50 metros, con 10 puntos al azar, resultando en 660 puntos de muestreo para el modelo. Se evaluaron 19 variables morfométricas y ambientales, logrando una precisión de 0.960, una sensibilidad de 0.962, especificidad de 1.0 y una tasa de error de 0.037, además se aplicó una validación cruzada para evaluar el rendimiento del modelo. Los suelos identificados fueron Phaeozem, Luvisol, Regosol, Vertisol, Fluvisol, Cambisol y Leptosol, con fases físicas Dúrica, Lítica, Dúrica Profunda y Lítica Profunda.

PALABRAS CLAVE

Árboles aleatorios; Cuencas hidrográficas; Mapeo digital de suelos.

INTRODUCCIÓN

La cartografía tradicional de tipos de suelo requiere la elaboración de perfiles y el uso de datos de especialistas, lo que implica investigaciones exhaustivas y altos costos, limitando la escala de la cartografía y dificultando el análisis de procesos hidrológicos en cuencas. Los Sistemas de Información Geográfica permiten obtener variables topográficas e índices geomorfométricos que influyen en la formación de suelos. Además, técnicas de aprendizaje automático, como árboles aleatorios, facilitan la correlación de múltiples variables ambientales y la identificación de patrones en datos geoespaciales para un mapeo más preciso de suelos. El objetivo de este estudio fue crear un mapa de suelos utilizando técnicas de árboles aleatorios con información climática y topográfica, seguido de una validación y análisis estadístico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El mapa de tipos de suelo se elaboró en el oriente de la cuenca del Valle de México, abarcando latitudes N 19° 34' 12" a N 19° 22' 12" y longitudes O 98° 53' 24" a O 98° 42' 18", utilizando el datum WGS 1984. La elevación varía de 2,243 a 4,124 m, y las cuencas presentes son Xalapango, Coxacoaco, Texcoco, Chapingo, San Bernardino y Santa Mónica, que en conjunto cubren una superficie total de 23,884 ha.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Se caracterizó el tipo de suelo y la fase física en cada sitio de muestreo utilizando como base la información de perfiles de suelo de INEGI (2013). Estos perfiles sirvieron como guía para asignar las clases de suelo a cada punto de muestreo. Durante un primer recorrido, realizado el 6 de diciembre de 2023, se definieron 26 puntos de muestreo. En un segundo recorrido, se verificaron los primeros puntos clasificados y se adicionaron 34 puntos de muestreo, sumando un total de 60 puntos distribuidos alrededor de las seis cuencas hidrográficas.

Se estableció una zona de amortiguamiento de 50 metros alrededor de cada punto de muestreo, dentro de la cual se seleccionaron aleatoriamente diez puntos cercanos, sumando un total de 660 puntos de muestreo (Figura 1). A estos puntos adicionales se les asignó el tipo de suelo y la fase física observada de los sitios de muestreo, considerando la homogeneidad de las áreas vecinas. En algunos sitios, la clasificación y la fase física no coincidían con las reportadas por INEGI, por lo que su clasificación fue modificada. Estos puntos adicionales se utilizaron para extraer las variables necesarias para alimentar el modelo de árboles aleatorios, complementando así la base de datos.

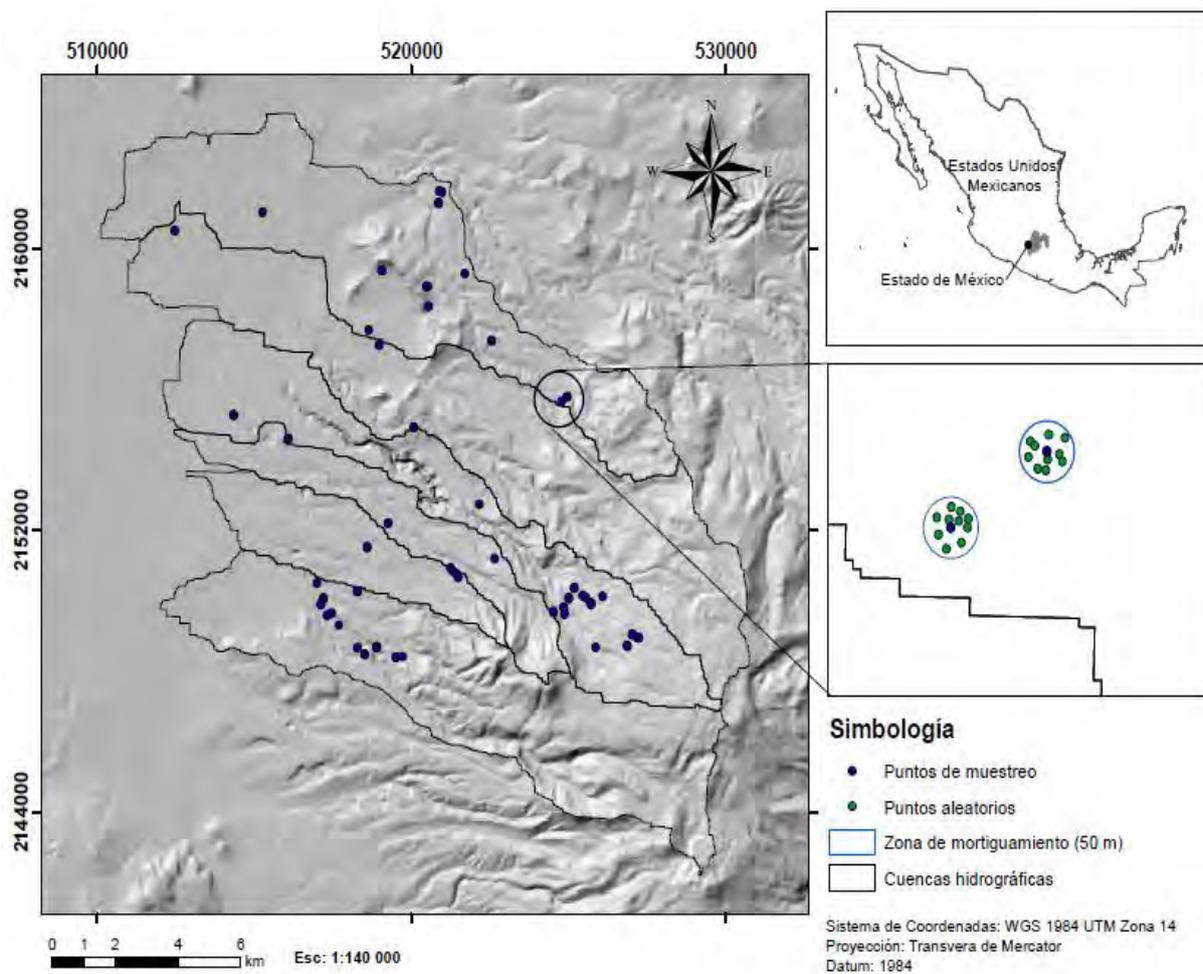


Figura 1. Localización del área de estudio: Cuencas de oriente del Valle de México y puntos de muestreo.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Para clasificar suelos se utilizaron diferentes tipos de variables, organizadas en categorías. Las variables topográficas incluyeron altitud, pendiente, curvatura horizontal, curvatura vertical, longitud de la pendiente y curvatura general, así como la geología (INEGI, 1983). Las variables climáticas comprendieron precipitación, temperatura media anual de la base de datos CHIRPS (Funk *et al.*, 2015) y dirección del viento. En cuanto a las variables de vegetación, se utilizó el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) de una imagen Sentinel 2 (Borgogno-Mondino *et al.*, 2022). Por último, las variables morfométricas incluyeron distancia a volcán, orientación, distancia a la falla (Salui, 2018), índice topográfico de humedad, índice de potencia de flujo, índice de posición topográfica e índice de transporte de sedimentos (Colín *et al.*, 2017).

El modelo de árboles aleatorios opera utilizando dos bases de datos independientes (Breiman, 2001). La primera consiste en un conjunto de datos conocidos que incluye puntos de muestreo clasificados por tipo de suelo y fase física, el cual se divide en grupos de entrenamiento y evaluación. Tras obtener los resultados del modelo, se evaluaron las métricas recomendadas, como especificidad y sensibilidad, y se realizó una validación cruzada. Finalmente, el modelo se aplicó a una segunda base de datos que contiene las mismas variables, en la que se generan las predicciones de clases y fases físicas del suelo, dando como resultado el mapa digital de suelos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la primera ejecución del modelo de árboles aleatorios, se logró una precisión del 56% al clasificar 26 puntos del primer recorrido de campo. Debido a la baja eficiencia del modelo, se llevó a cabo una segunda visita de campo, donde se alcanzó una precisión del 86% al verificar las clasificaciones. Finalmente, al incorporar una zona de amortiguamiento de 50 metros y asignar 10 puntos distribuidos aleatoriamente, sumando un total de 660 puntos, se obtuvo una precisión del 96%.

Cada punto de la malla fue clasificado y proyectado en QGIS®. En total, se definieron 15 clases de tipos de suelo, incluyendo su respectiva fase física (Figura 2).

El proceso de validación se llevó a cabo dentro del modelo mediante la elaboración de una matriz de confusión. Para esta validación, se evaluaron 132 de los 660 puntos de la base de datos, representando el 20% de la información total proporcionada.

Las métricas derivadas de la matriz de confusión utilizadas para evaluar el modelo incluyen la precisión (0.960), que indica que el 96% de las predicciones fueron correctas (Barrios, 2019). La sensibilidad (0.962) muestra que el modelo identificó correctamente el 96.2% de las instancias positivas, mientras que la especificidad (1.0) demuestra que todas las instancias negativas fueron clasificadas correctamente. La tasa de error (0.037) señala que el modelo se equivocó en el 3.7% de las predicciones (James *et al.*, 2013).

Con la validación cruzada se indica que con un valor de $mtry$ igual a 2 (parámetro de control del modelo de bosque aleatorio sobre la profundidad máxima y cantidad de árboles), el modelo tiene una precisión extremadamente alta de 0.99 y un índice Kappa de 0.99, lo que indica que el modelo clasifica los elementos correctamente casi en su totalidad. Sin embargo, considerando los resultados de la validación con $mtry$ igual a 10 y 19, el modelo mantiene una alta precisión. Por lo tanto, se decidió que el modelo debería considerar una mayor cantidad de variables para realizar

predicciones. La consistencia de las métricas de rendimiento muestra que el modelo es robusto y estable para realizar clasificaciones de tipos de suelo con las variables propuestas.

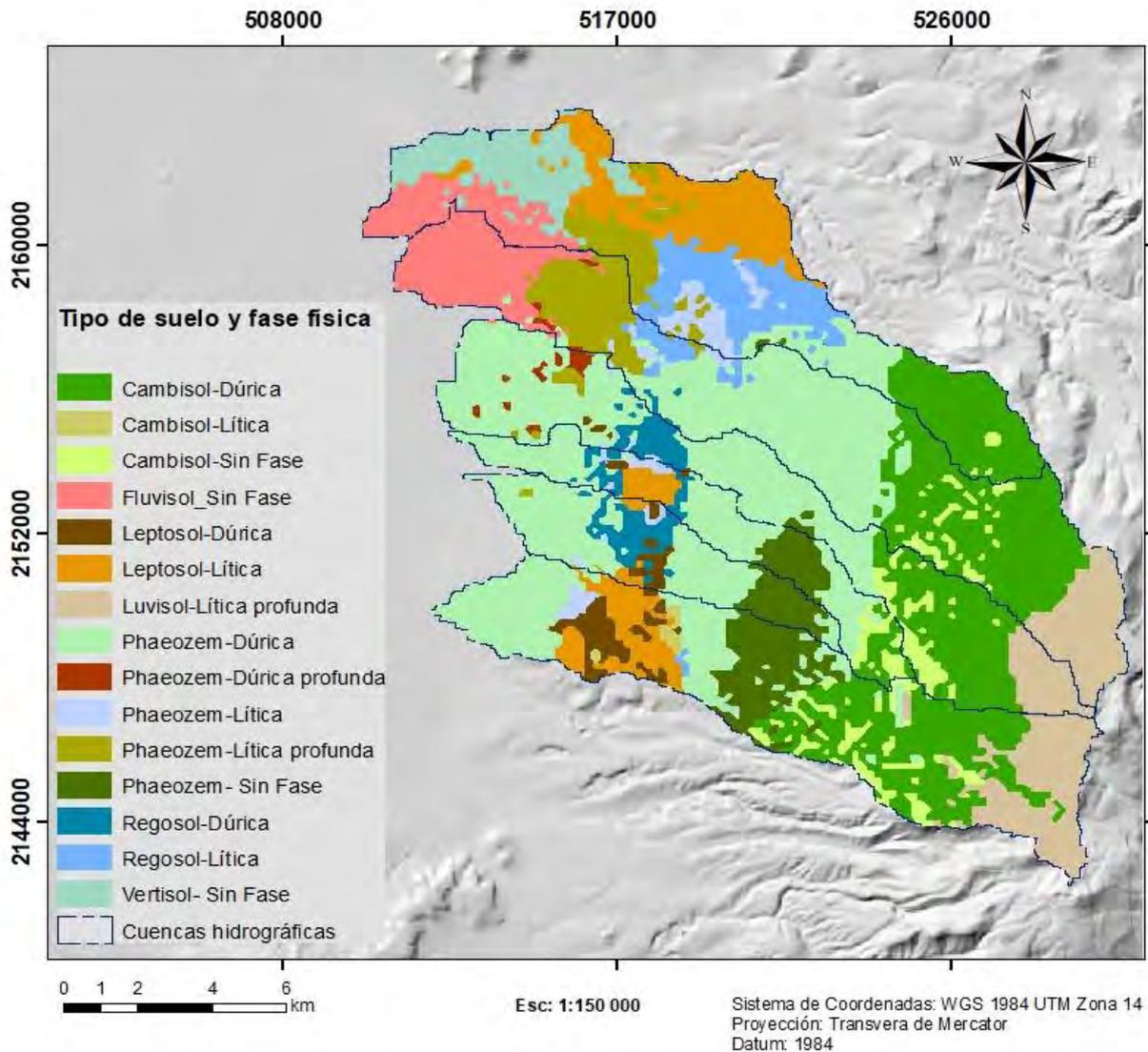


Figura 2. Mapa de tipo y fases físicas de suelos.

CONCLUSIONES

Este trabajo destaca la efectividad del mapeo de tipos de suelo y fases físicas utilizando el modelo de árboles aleatorios. Se identificaron diez variables importantes que influyen en el proceso de clasificación, siendo las más relevantes la altitud, precipitación media anual, temperatura, dirección del viento, distancia al volcán, orientación, distancia a fallas geológicas, pendiente, índice de posición topográfica y geología. Además, la validación cruzada confirma la robustez del modelo y su capacidad para evitar el sobreajuste, lo que garantiza su aplicabilidad en diferentes contextos.

BIBLIOGRAFÍA

- Barrios, J. (2019). La matriz de confusión y sus métricas. *Ciencia de Datos*. <https://www.juanbarrios.com/matriz-de-confusion-y-sus-metricas/>.
- Borgogno-Mondino, E., Farbo, A., Novello, V., & de Palma, L. (2022). A fast regression-based approach to map water status of pomegranate orchards with Sentinel 2 data. *Horticulturae*, 8(9), 759.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.
- Colín García, G., Fernández Reynoso, D. S., Martínez Menez, M. R., Ríos Berber, J. D., Sánchez Guzmán, P., Rubio Granados, E., & Ibáñez Castillo, L. A. (2017). Clasificación digital de suelos a través de covariables ambientales de la cuenca del río Mixteco. *Terra Latinoamericana*, 35(4), 281-291.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations - A new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2, 150066. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>.
- INEGI. (1983). Carta edafológica. Chalco (Clave carta: E14B31). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825279400>.
- INEGI. (2013). Conjunto de datos de Perfiles de suelos. Escala 1:250 000. Serie II (Continuo Nacional). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825266707>.
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An introduction to statistical learning with applications in R*. New York: Springer.
- Salui, C. L. (2018). Methodological validation for automated lineament extraction by LINE method in PCI Geomatica and MATLAB based Hough Transformation. *Journal of the Geological Society of India*, 92(3), 321-328. <https://doi.org/10.1007/s12594-018-1015-6>.

CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUELOS AGRÍCOLAS PARA PRODUCCIÓN DE NUEZ EN GÓMEZ PALACIO, DURANGO

Natalia Carrillo Vizcaino¹; Edgar Vladimir Gutiérrez Castorena^{1*}; Rafael Zúñiga Valenzuela²; Elizabeth Zúñiga Valenzuela²; Vicente Vidal Encinia Uribe¹; María Fernanda Godínez Montemayor¹; Emilio Villalobos Hernandez¹

¹Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, General Escobedo, C.P. 66050, Nuevo León, México.

*Email: edgar.gutierrezcs@uanl.edu.mx

²Universidad Juárez del Estado de Durango. Constitución 404 Sur, Zona Centro. C.P. 34000, Durango, Durango. México.

RESUMEN

El nogal pecanero (*Carya illinoensis*) es una especie nativa del norte de México de alta importancia económica posicionándolo como el segundo productor a nivel internacional, donde Durango se coloca como el cuarto estado con mayor producción. Con el objetivo de caracterizar el suelo de una parcela agrícola para determinar la condición y clasificación del suelo fue seleccionada una huerta de nogal madura (con más de 28 años) en Gómez Palacio, Durango. Se realizó un perfil pedológico donde se extrajeron muestras alteradas de suelo de los horizontes genéticos, para ser llevadas a laboratorio donde se realizaron análisis físicos y químicos, interpretadas de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000, y clasificadas por la World Reference Base (2022). La descripción en campo permitió determinar 6 horizontes genéticos, siendo estos "Ap" (0-12 cm), "ABk" (12-35/45), "Bk" (35/45-59), "Bk2" (59-83), "B" (83-106) y "B2" (106-120). Los resultados de los análisis químicos otorgaron altos niveles de nitrógeno y fósforo únicamente en el horizonte superficial, el potasio es considerado como clase alta en todos los horizontes al igual que el calcio, a excepción del horizonte B3 para este último. El elemento en el que se reportó mayor diferencia entre horizontes fue el magnesio, conteniendo valores altos en el epipedón, medios en el horizonte Bk y B2, y bajos en Bk2 y B. Considerando los parámetros evaluados el perfil de suelo es clasificado como Cambisol (*Haplic*) por presentar cambio de color en el horizonte "Bk" y carecer de procesos pedogenéticos en los diversos horizontes según la WRB (2022).

PALABRAS CLAVE

Clasificación de suelo; Base de referencia mundial; *Carya illinoensis*.

INTRODUCCIÓN

América del Norte es el principal productor de nuez pecanera a nivel internacional, México se posiciona como el segundo productor con rendimientos de 176,892 t en 2020 (FAO, 2023) correspondiendo a el 14.2% de la producción mundial para el mismo año. Siendo Chihuahua, Sonora, Coahuila, Durango y Nuevo León los principales estados productores del país.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

El nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Koch, 1869)) es una especie arbórea caducifolia monoica, son arboles de gran tamaño (30 m) llegando a medir hasta 50 metros de altura, y con longevidad de hasta 100 años (Zohra Bennadji, 2011).

SAGARPA (2016) indica que las condiciones climáticas para la producción y desarrollo del cultivo deben de ser temperaturas mayores a 1° C en primavera, sin heladas, y deben mantenerse por debajo de los 38° C con baja humedad, siendo temperaturas óptimas entre 19° y 29° C, y de 0 a 800 mm de precipitación media anual.

Boyer et al. (2020) mencionan que el cultivo puede establecerse en suelos con texturas franco arenoso, limoso, franco arcilloso y arcilloso, mientras que, Nuñez et al. (2015) expresan que los suelos óptimos son con textura franca o media, evitando suelos arenosos por la poca retención de agua, falta de compactación y presentar buen drenaje e infiltración.

El objetivo del avance de investigación fue caracterizar y clasificar el recurso suelo, de acuerdo con las características físicas y químicas, en una huerta de nogal con más de 28 años, con el propósito de brindar información sobre las condiciones edáficas del sistema agrícola productivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La huerta de nogal tiene una antigüedad de 28 años, ubicada en el km 21 de la carretera Gómez Palacio-Tlahualilo, entre las coordenadas geográficas de latitud norte entre 25°44'55.01" y 103°21'28.6" longitud oeste; la temperatura media de acuerdo con la estación 5027 ("El Cuije") del SMN (2019-2023) fluctúa anualmente entre 11.7 y 22.4°C, con precipitaciones anuales promedio de 266 mm en los últimos cinco años.

Dentro de la huerta se realizó descripción de un perfil de suelo mediante el manual para la descripción de perfiles de suelos (Cuanalo, 1990), donde se colectaron muestras de cada horizonte genético asignado.

Las muestras fueron secadas a temperatura ambiente bajo sombra y posteriormente molidas y tamizadas con malla #30 (2 mm). Los análisis físicos y químicos se realizaron mediante las técnicas estipuladas en el manual de procedimientos de Van Reeuwijk (2002), obteniendo: textura (método de la pipeta), color en seco y húmedo, (tabla de colores Munsell), densidad aparente (parafina), carbón orgánico (Walkley y Black), reacción del suelo (pH) en agua (relación agua:suelo 1:2); carbonatos totales CaCO₃; capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables, por el método de acetato de amonio (Ca y Mg por titulación y, Na y K por absorción atómica); saturación de bases a partir de la suma de bases a partir de la suma de bases intercambiables y fósforo soluble en ácido cítrico. Posteriormente, los resultados fueron interpretados utilizando la NOM 021 RECNAT 2000.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El perfil de suelo registro seis horizontes de diagnóstico, establecidos a profundidades de 0 a 12 cm asignado como horizonte superficial "Ap" al presentar actividad agrícola, seguido por el horizonte ABk entre 12 y 35/45 cm de profundidad, por presencia de carbonatos de calcio equivalente o superior al 5% sin diferenciarse del horizonte subyacente.

Ambos horizontes presentan características de un epipedón, debido a que conservan la misma textura de arcillo limoso, color Munsell en seco de 7.5YR 5/2

(pardo) y en húmedo 7.5YR 3/2 (pardo oscuro), poros del tipo tubular de tamaño fino y comunes, raíces finas y pocas en el horizonte "Ap", mientras que para horizonte ABk son muy pocas y muy gruesa. La estructura que presentan es de bloques subangulares con desarrollo moderado de tamaño medio y grueso respectivamente.

Por otro parte, las capas subyacentes son asignadas a un Bk a profundidad de 35/45 a 59 cm, continuando con un Bk2 entre 59 a 83 cm, un horizonte B entre 83 y 106 cm, y por último un B2 entre 106 y 120 cm respectivamente considerados como suelos profundos con texturas franco arcillo limoso; con estructura de bloques subangulares, de tamaño grueso y fuertemente desarrollados.

En el epipedón, el horizonte Bk presenta raíces finas y pocos poros, pero para Bk2, B y B2 las raíces fueron muy gruesas y muy pocas con poros de tamaño medio comunes, observándose todos los poros con forma tubular.

El horizonte Bk con profundidad de 35/45 a 59 cm se designó como cámbico de acuerdo con lo establecido en la WRB (2022). Debido a que es un horizonte subsuperficial, con textura franco arcillo limoso, con ausencia de estructura de roca en >50% de su volumen y espesor ≥ 15 cm (24 cm). Su color en húmedo es de 7.5YR 5/3, presentando un matiz ≥ 2.5 unidades más rojo que el horizonte subyacente, y brillo 1 unidad más alto comprado con la capa suprayacente. Por lo que se contempla dentro del grupo de suelos Cambisols, utilizando el calificador *Haplic* al carecer de otros procesos pedogenéticos.



Figura 1. Perfil de suelo con delimitación de horizontes genéticos (WRB, 2022).

Las texturas del suelo en sus diversos horizontes predominan los limos, como se muestra en el Cuadro 1. Guerrero (2000) menciona que las condiciones adecuadas de suelo para el nogal pecanero son de textura franco-arenosa a franco-arcillosa. Por otro lado, Villaseca (2007) reporta que los nogales logran su correcto desarrollo en suelos con textura gruesa, siendo preferente suelos francos, con buen drenaje debido a que sus raíces extraen agua, principalmente, de los primeros 90 cm.

Los resultados del análisis químico (Cuadro 1) revelan que el suelo es medianamente alcalino, permaneciendo dentro del rango señalado por Gutiérrez et al. (2022), el cual indica un mejor desarrollo en suelos con alcalinidad ligera (7.3 - 7.9).

El nogal al ser originario de América del Norte es una especie altamente resistente a diversas condiciones de salinidad por conductividad eléctrica tolerando hasta 12

dS/m (Trasviña et al., 2018), por lo que los niveles de conductividad eléctrica representan efectos despreciables de la salinidad.

Cuadro 1. Análisis físicos y químicos de horizontes genéticos.

Horizonte	Espesor (cm)	% arena	% limo	% arcilla	Textura	Da (g cm ³ -1)	M.O (%)	Color Seco	Color húmedo	pH	C.E (dSm-1)	CO (%)	CaCO ₃ eq (%)	N (%)	P (mg kg ⁻¹)	K (cmol kg ⁻¹)	Ca (cmol kg ⁻¹)	Na (cmol kg ⁻¹)	Mg (cmol kg ⁻¹)
Ap	0 - 12	0.8	55.8	43.4	Arcillo Limoso	1.37	3.35	7.5YR 5/2	7.5YR 3/2	7.4	0.33	1.94	0.01	0.157	37.6	3.51	20.54	0.59	5.97
ABk	12 - 35/45	1.2	52.8	46	Arcillo Limoso	1.57	2.32	7.5YR 5/2	7.5YR 3/2	7.5	0.19	1.34	9.48	0.093	10.3	2.48	20.77	0.96	4.83
Bk	35/45 - 59	1.6	64.8	33.6	Franco Arcillo Limoso	1.4	0.64	7.5YR 5/3	7.5YR 4/2	7.7	0.16	0.37	5.23	0.057	1.9	0.94	10.53	0.90	1.42
Bk2	59 - 83	0.7	71.2	28.2	Franco Arcillo Limoso	1.26	1.03	7.5YR 6/3	5YR 3/2	7.8	0.09	0.6	5.34	0.036	2.5	0.94	10.36	1.05	1.26
B	83 - 106	0.7	70	29.3	Franco Arcillo Limoso	1.23	0.90	7.5YR 6/3	5YR 3/2	7.7	0.25	0.52	4.9	0.029	14.5	0.68	9.75	1.00	1.04
B2	106 - 120	0.9	67.2	31.9	Franco Arcillo Limoso	1.16	0.39	7.5YR 6/3	5YR 3/2	7.6	0.52	0.22	3.92	0.043	8.1	0.94	12.9	1.07	2.61

Únicamente el epipedón contiene valores medios de materia orgánica (1.6-3.5 %), coincidiendo con la presencia de actividad biológica de lombrices principalmente. Respecto a la capacidad de intercambio catiónico (CIC), todos los horizontes subsuperficiales presentan valores muy altos (>40 cmol kg⁻¹) denotando disponibilidad de nutrientes a profundidades requeridas por las raíces del nogal.

Los elementos químicos presentes en el suelo arrojaron que los valores de carbonatos de calcio son medios en todos los horizontes subsuperficiales, únicamente el horizonte "Ap" presento valores muy bajos (<0.5).

El nitrógeno decrece conforme a la profundidad, comenzando con niveles altos en el horizonte "Ap". Así mismo, los contenidos de fósforo varían considerablemente entre las profundidades del suelo obteniéndose valores altos en los horizontes "Ap" y "B", medios en "ABk" y "B2", y de clase baja en "Bk" y "Bk2".

De igual manera con el magnesio, el epipedón presenta altos contenidos, mientras que los horizontes "Bk" y "B2" son caracterizados como medios, y los horizontes "Bk2" y "B" como bajos. Todos los horizontes revelan altos contenidos de potasio (>0.6 cmol kg⁻¹) y la mayoría de calcio (>10 cmol kg⁻¹), a excepción del horizonte "B" en este último.

CONCLUSIÓN

La clasificación de suelos es fundamental en el sector agropecuario, al permitir conocer las propiedades y procesos que se están presentando en suelos agrícolas con más de 28 años continuos para la producción de nuez. El perfil manifiesta características que, dentro de la WRB (2022), lo designan al grupo de suelos Cambisols (*Haplic*) debido a un notable cambio de color a partir de los 35 cm de profundidad, sin la presencia de procesos pedogenéticos importantes. Los análisis químicos indican que se encuentra dentro de parámetros adecuados de pH y salinidad para la especie vegetal, con aceptable presencia de materia orgánica y disponibilidad de nutrientes, con oportunidad de gestionar prácticas que favorezcan estas condiciones. Esta caracterización brinda un panorama o antecedente para conducir el manejo del suelo en busca de la sostenibilidad del recurso suelo, evitando con ello su degradación.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

BIBLIOGRAFÍA

- Agua, C. N. (2 de Julio de 2024). Base de datos climatologica nacional.
- Boyer, K., Fairbanks, W., Rohla, C., & Webb, S. (Febrero de 2020). Surficial soil damage by wild pigs (*Sus scrofa*) decreases pecan harvest efficiency. *Crop Protection*, 128.
- Cuanalo de la Cerda, H. (1990). Manual para la descripcion de perfiles de suelo en el campo. Montecillo, México: Colegio de Postgraduados Chapingo.
- FAO. (2023). FAOSTAT.
- Guerrero, G. M. (2000). Caracterización FísicaQuímica del suelo en huertos de nogal pecanero (*Carya illinoensis* Wangenh K. Koch) Western Schley mediante Diagnostico Diferencial Integrado (DDI). Chihuahua, Chihuahua, Mexico: Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Gutiérrez, L. S., Guerrero, S., Ortega, F. I., Rivas, B. A., & Palacios, A. (30 de Junio de 2022). Análisis del Suelo y su Importancia en el Cultivo del Nogal Pecanero en el Distrito. *Revista Biologico Agropecuaria Tuxpan*, 10-14.
- IUSS Working Group WRB. (2022). World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps (4° ed.). Vienna, Austria : International Union of Soil Sciences (IUSS).
- Koch, K. (1869). *Dendrologie; Bäume, Sträucher und Halbsträucher, welche in Mittel- und Nord- Europa im Freien kultivirt werden*. F. Enke.
- Núñez Moreno, J., Sabori Palma, R., Valdez Gascon, B., Fu Castillo , A., Martinez Diaz, G., Grageda Grageda, J., & Maldonado Navarro, L. (2015). Nogal pecanero. CIRNO INIFAP.
- SAGARPA. (2016). Planeacion agrícola y nacional 2017-2030. Cd. De Mexico: SAGARPA.
- SIAP, S. (2023). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola.
- Trasviña, A., Bórquez, R., Leal, J., Castro, L., & Gutierrez, M. (2018). Rehabilitación de un suelo salino con yeso agrícola en un cultivo de nogal en el Valle del Yaqui. *Terra Latinoamericana*.
- Van Reeuwijk, L. P. (2002). *Procedures for soil analysis* (6° ed.). Wageningen, Paises Bajos: International Soil Reference and Information Centre.
- Villaseca, S. (Mayo de 2007). EL NOGAL, UNA ESPECIE EXIGENTE EN SUELO Y CLIMA. *Tierra adentro*, 33-34.
- Zohra Bennadji, M. A. (2011). FICHA TÉCNICA DEL PECAN *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch. Uruguay: Instituto Nacional de Investigacion Agropecuaria.

ANÁLISIS MULTIESCALAR DE PROCESOS PEDOGENÉTICOS EN EL YACIMIENTO PALEONTOLÓGICO DE TOCUILA, TEXCOCO, MÉXICO

Ygor Manuel Ortega-Mikolaev[‡] 1; Ma. de Carmen Gutiérrez-Castorena²; Carlos Alberto Ortiz-Solorio²; Edgar Vladimir Gutiérrez-Castorena³; Iris Grisel Galván-Escobedo¹; Joaquín Arroyo-Cabrales⁴; Luis Morett-Alatorre⁵

¹Postgrado en Botánica, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230

²Postgrado en Edafología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México- Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230.

³Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Calle Francisco Villa S/N, Ex Hacienda el Canadá. General Escobedo, N.L., México.

⁴Laboratorio de Arqueozoología, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México C.P. 06060, México.

⁵Museo de la Agricultura, Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco, Estado de México CP. 56227, México.

[‡] Autor para correspondencia: mikolaev.ygormanuel@colpos.mx; ygore1@hotmail.com

RESUMEN

Se presenta análisis pedogenéticos del Pleistoceno en la ribera del ex lago de Texcoco, identificándose sedimentos de origen lacustre, palustre, aluvial y eólicos. pedogénesis asociada pedoturbación física como biológica, gleyzación, iluviación, rasgos calcíticos (oolitos) y carbonatación. Estos procesos se relacionaron con la conductividad eléctrica (C.E.) entre 54 a 6.3 mScm⁻¹, valores de pH alcalinos con contenidos de carbonatos entre 44.51% y 3.04 %. En contraparte, las texturas dominantes fueron granulometrías francas, con discontinuidades litológicas como paleosuelos y sílice biogénica. Los rasgos micromorfológicos son lacustres (oolitos, microorganismos opalinos), biológicos (diatomeas, sílice biogénica), edáficos (calcíticos, hierro/manganeso y revestimientos arcillosos), que demuestran gradientes climáticos (secos-húmedos). La fauna pleistocénica uso como nicho un ambiente entre lacustre y palustre.

PALABRAS CLAVE

Lago de Texcoco; Pedogénesis; Pleistoceno; Rasgos micromorfológicos

INTRODUCCIÓN

La Cuenca de México durante el Pleistoceno final y comienzos del Holoceno fue escenario de diferentes procesos pedogenéticos (Siebe *et al.* 1999). En este contexto, es importante el yacimiento paleontológico de Tocuila, con sedimentos salino-sódicos, detríticos y volcánicos, con intemperismo químico de minerales primarios y secundarios que influyeron en los ecotonos del lago de Texcoco, como en los nichos ecológicos de comunidades biológicas (Gutiérrez Castorena *et al.* 1998; Arroyo-Cabrales *et al.*, 2012 Morett, 2022).

Los patrones climáticos y pedogenéticos fueron importantes en los requerimientos de estos nichos (Targulian y Krasilnikov, 2007; Sedov *et al.*, 2010; Bockeim *et al.*, 2014). Con base en Mallol *et al.* (2011), investigaciones a nivel multiescalar (macro y micro),

han contribuido a nuevas interpretaciones de cambios climáticos. La información derivada de este análisis puede contribuir a comprender mejor los procesos pedogenéticos en el espacio y en el tiempo (Gutiérrez Castorena *et al.*, 2006; Van der Meer y Menzies, 2011).

Se propuso una hipótesis explicativa o causal: donde la identificación de rasgos pedológicos y sedimentarios a nivel multiescalar permitió identificar ambientes desde el pleistoceno hasta la actualidad en la ribera del ex lago de Texcoco. Los objetivos de la presente investigación fueron (1) identificar y describir los procesos paleoedáficos y rasgos micromorfológicos y (2) discutir la importancia de estos rasgos en el contexto ambiental del depósito paleontológico de Tocuila, Texcoco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se localizó en el yacimiento arqueo-paleontológico de Tocuila, 19° 31' 11" N; 98° 54' 31" W a 2240 msnm (Figura 1). Es un ambiente geomorfológico aluvial- lacustre con rasgos pedogenéticos de tipo químico y bioquímico (Gutiérrez Castorena *et al.*, 1998). Se llevó a cabo la descripción morfológica (Figuras 1), para identificar rasgos pedogenéticos relacionados con la dinámica del ecotono lacustre de *Mamuthus columbi*. Se colectaron 11 muestras alteradas de (2 kg), para análisis de laboratorio y se colectaron 43 muestras inalteradas para el análisis micromorfológico.

El muestreo sistemático se realizó con base en ISRIC, FAO (2014); Stoops *et al.* (2014); Soils Science Division Staff (2017), entre los meses de noviembre-enero de 2020-2021. Con base en Van Reeuwijk (2003), se llevó a cabo textura (método de la pipeta), color (carta de Munsell), densidad aparente (método de la parafina), pH 1:2.5 (método del potenciómetro marca Beckman), conductividad eléctrica con pasta de saturación (conductímetro puente de Wheatstone) y carbonatos cálcico equivalente (método Horto y Newson).

Para el análisis micromorfológico, se elaboraron secciones delgadas (7.5 x 5 cm x 30 µm) de acuerdo a Stoops *et al.* (2014) y Murphy (1986). Se describieron con un microscopio petrográfico (Olympus BX51 TRF) y tres fuentes de luz: polarizada plana (LPP), polarizada cruzada (LPC) y con compensador (LPC). La descripción micromorfológica se basó en los manuales de Bullock *et al.* (1999) y Stoops *et al.* (2014).

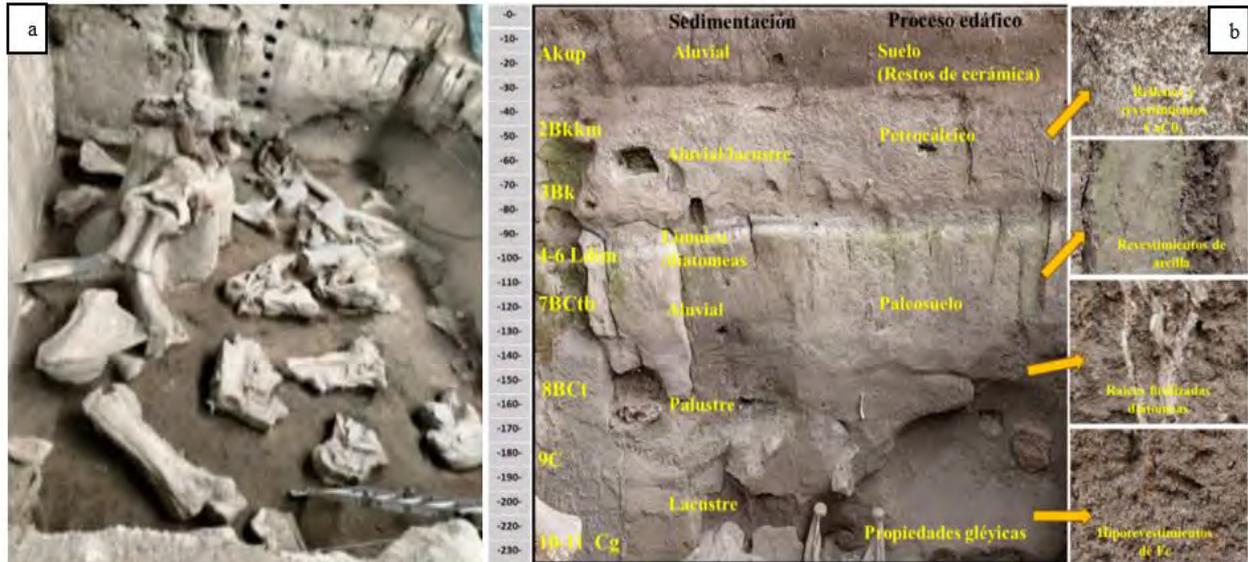
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los sedimentos clásticos tienen orígenes aluviales, lacustres, vulcano clásticos (pómez, cenizas, tobas) y biogénicos (palustre y límnic); con estructuras masivas, bloques subangulares, algunos angulares y granulares (Figura 1); con presencia de un suelo actual y un paleosuelo (Gutiérrez-Castorena *et al.* 2006; Sedov, *et al.* 2010).

La estratigrafía comenzó con un suelo moderno Akup, dos horizontes de 65 cm de espesor, ricos en carbonatos secundarios Bk o Bkm, margas limnicas de tres estratos de 3 a 4 cm de espesor cada uno, designándose como Ldim (Gutiérrez-Castorena *et al.*, 2006; Huang *et al.* 2012). La siguiente unidad sedimentaria presentó materiales detríticos (135 a 190 cm), con condiciones palustres y raíces fosilizadas por sílice (Gutiérrez-Castorena *et al.*, 2006). La formación de ecotonos palustres propició desarrollo de paleosuelos con estructuras edáficas dando origen a un BCt. En la fase sedimentaria donde existió gran biodiversidad de fósiles pleistocénicos se designaron como C y Cg (190-300 cm). Son sedimentos detríticos y minerales de magnetita,

además de rasgos redoximórficos. Las marchas analíticas indicaron una diferenciación cuantitativa e irregular, con valores de pHs predominantemente alcalinos, conductividades eléctricas que oscilaron entre 1.5 a 54.6 a mS cm^{-1} . El % de carbonatos fue mayor en las capas superficiales y disminuyó con la profundidad, mientras que el % de materia orgánica más alto fue de 2.45, donde predominó la sílice biogénica (Cuadro 1).

Figura 1 a) Depósito arqueo-paleontológico de San Miguel Tocuila, Texcoco, México b) Estratigrafía y horizontes genéticos y de diagnóstico en el Yacimiento Paleontológico de Tocuila, municipio de Texcoco, Edo. de México.



Cuadro 1. Parámetros obtenidos de la pared este en la Unidad de excavación de Tocuila.

Muestra	Muestra Pared Este	Prof. (cm)	pH	C.E. mS cm^{-1}	% CaCO_3	Clase textural	Densidad aparente g cm^{-3}	% MO
1	Akup	0-36	7.1	54.6	42.68	migajón arcilloso	1.34	2.06
2	2 Bkkm	36-65	7.4	35.6	36.58	migajón arcillo limoso	1.20	1.93
3	3Bk	65-95	8.3	3.5	44.51	migajón arcilloso	1.02	1.16
4	4-6 Ldim	95-110	8.2	1.5	18.29	migajón arcillo limoso	1.04	0.51
5	4-6 Ldim	95-110	8.3	2.0	3.04	migajón arcilloso	1.03	0.26
6	4-6 Ldim	95-110	8.5	2.5	1.82	Franco	1.16	0.64
7	7BCtd1	110-130	8.1	1.9	0.60	Franco	1.03	1.16
8	8BCtd2	130-165	8.0	1.9	3.04	Franco	1.04	1.54
9	9C	165-212	7.9	3.3	1.82	migajón arcillo limoso	1.17	2.45
10	10Cg	212-250	7.6	3.6	2.07	migajón arenoso	1.10	1.80
11	11Cg	250-350	7.7	2.7	1.82	migajón arenoso	1.20	2.45

De acuerdo con la distribución de pH, conductividad eléctrica (C.E.) y el % de CaCO_3 , estos gradientes se relacionaron con la profundidad (Huang *et al.* 2012). En cuanto a las clases texturales, densidad aparente y contenido de materia orgánica fueron reflejo de procesos de sedimentación y pedoturbación biológica. Las texturas oscilan entre francas a franco-limosas, densidades entre 1.34 g cm^{-3} a 1.02 g cm^{-3} y el % de materia orgánica varía entre 2.45 a 0.26. (Soil Science Division Staff, 2017). Por otra

parte, el análisis sistemático de láminas delgadas, consiguió interpretaciones ambientales de rasgos pedogenéticos.

En el Cuadro 2, se reportan los principales componentes de los mismos. Patrones como la microestructura, porosidad, o rasgos micromorfológicos fueron evidencias de pedogénesis, y ofreció información para comprender los nichos ecológicos de la biodiversidad pleistocénica.

Cuadro 2. Rasgos a nivel de micromorfología del yacimiento paleontológico de Tocuila, Texcoco, Estado de México

Horizonte o capa	Prof. cm	Tipos		Rasgos		
		Estructura	Poros	Lacustres	Biológicos	Edáficos
Akup	0-36	Granular y bloques subangulares	Empaquetamiento compuesto, canales, y fisura.	Oolitos		
2 Bkkm	36-65	Apedal (cavidades, canales y fisuras).	Canales, cavidades y fisuras.	Oolitos	Restos de moluscos (gasterópodos).	Revestimientos y rellenos de calcita fina (micrita).
3Bk	65-95	Granular y Bloques subangulares	Poros de empaquetamiento compuesto.	Oolitos	Restos de moluscos (gasterópodos).	Revestimientos y rellenos de calcita
4-6 Ldim	95-110	Apedal	Canales, cavidades y fisuras.		Restos de diatomeas y fitolitos	
4-6 Ldim	95-110	Apedal	Canales, cavidades y vesículas.		Restos diatomeas	
4-6 Ldim	95-110	Apedal	Vesículas, canales y fisuras.		Componentes orgánicos y restos de gasterópodos.	Revestimientos de arcilla sobre los agregados
7Bctd1	110-130	Bloques angulares y subangulares	Empaquetamiento compuesto		Restos de tejidos vegetales	
8Bctd2	130-165	Bloques angulares y subangulares	Canales, cavidades y fisuras.	Numerosos microgramos opalinos		Revestimientos de arcilla en canales
9C	165-212	Microagregados entre granos. Apedal de grano compacto	Cavidades, canales y fisuras.		Abundantes restos de tejidos vegetales	
10Cg	212-250	Apedal grano compacto Microagregados entre granos	Empaquetamiento simple a complejo			Hiporevestimientos de Fe.
11Cg	250-350	Apedal	Empaquetamiento complejo		Fragmentos de carbón vegetal,	Hipo revestimientos y nódulos de Fe

CONCLUSIONES

Existen procesos pedogenéticos a diferentes escalas de observación a lo largo del tiempo y el espacio, en este sitio paleontológico. Rasgos como la acumulación biogénica de sílice, iluviación arcillosa, rasgos redoximórficos y precipitación de carbonatos, se identificaron. Se proponen escenarios ambientales relacionados con desarrollo de pantanos salinos, moderada salinidad para cambiar a pantanos alcalinos. Estos escenarios ambientales se proponen para los nichos ecológicos de (*Mammuthus columbi*) entre 15000-12000 A.P.

BIBLIOGRAFÍA

- Arroyo-Cabrales, J., Polaco, O. J., Johnson, E., & Ferrusquia-Villafranca, I. (2010). A perspective on mammalian biodiversity and zoogeography in the Late Pleistocene of Mexico. *Quaternary International*, 212, 187-197. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.05.012>
- Bockheim, J.G., Gennadiyev, A.N., Hartemink, A.E., & Brevik, E.C. (2014). Soil-forming factors and Soil Taxonomy. *Geoderma*, 226, 231-237. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.02.016>
- Bulluck, P. Stoops, A. Jongerius, A. Fedoroff, N. & Tursina, T. (1999). Manual para la descripción micromorfológica de suelos; (Gutiérrez Castorena M del Carmen, Ortiz Solorio Carlos A. Trans.)
- Gutiérrez Castorena, M. C., Stoops, G., & Ortiz Solorio, C.A. (1998). Carbonato de calcio en los suelos del ex lago de Texcoco. *Terra, Latinoamericana*, 16 (1). 11-19.
- Gutiérrez Castorena, M. C., Stoops, G., Ortiz Solorio, C.A., & Sanchez Guzman, P. (2006). Micromorphology of opaline features in soils on the sediments of the ex-lago de Texcoco, Mexico. *Geoderma*, 132, 98-104. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.05.002>
- Huang, P. M., Li, Y., & Sumner, M. E. (Eds.). (2011). *Handbook of soil sciences: properties and processes*. CRC Press.
- ISRIC, FAO. (2014). World reference base for soil resources. World soil resources reports. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No.106. Rome. Italy.
- Mallol, C., VanNieuwenhuysse, D., & Zaidner, Y. (2011). Depositional and Paleoenvironmental Setting of the Bizat Ruhama early pleistocene archaeological assemblages, Northern Negev, Israel: A Microstratigraphic Perspective. *Geoarchaeology an International Journal*. (26) 1, 118-141. <https://doi.org/10.1002/gea.20339>
- Morett Alatorre, L. (2022). *Yacimiento de Tocuila. Características y significado cultural*. Universidad Autónoma Chapingo. 230 pp.
- Murphy C. (1986). *Thin section preparation soils and sediments*. AB Academic Publishers.
- Sedov, S., Lozano-Garcia, S., Solleiro-Rebolledo, E., McClug de Tapia, E., Ortega-Guerrero, B., & Sosa-Najera, S. (2010). Tepexpan revisited: A multiple proxy of local environmental changes in relation to human occupation from a paleolake shore section in Central Mexico. *Geomorphology* 122. 309-322. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.09.003>
- Siebe, C., Shaaf, P., Urrutia-Fucugauchi, J. (1999). Mammoth bones embedded in a late Pleistocene lahar from Popocatepetl volcano, near Tocuila, central Mexico. *Bulletin of the Geological Society of America*, 111(10), 1550-1562. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1999\)111%3C1550:MBEIAL%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1999)111%3C1550:MBEIAL%3E2.3.CO;2)
- Soil Science Division Staff. (2017). *Soil survey manual*. Washington, D.C. USDA.
- Stoops, G., Langohr, R., Van Ranst E. 2020. Micromorphology of soils and paleosoils in Belgium. An inventory and meta-analysis. *Catena*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104718>
- Stoops, G., Poch, R.M. & Casamitjana, M, J.C. (2014). *Manual de micro morfología de suelos y técnicas complementarias*. Fondo editorial Pascual Bravo.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Targulian, V.O. & Krasilnikov, P.V. (2007). Soil system and pedogenic processes: Self-organization, time scales, and environmental significance. *Catena*, 71: 373-381. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.03.007>
- Van der Meer, J., & Menzies, J. (2011). The micromorphology of unconsolidated sediments. *Sedimentary Geology*, 213-232. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2011.04.013>
- Van Reeuwijk, L. P. (2003). Procedimientos para análisis de suelos. Trad. al español por MC Gutiérrez Castorena, CA Tavares E. y CA Ortiz Solorio. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.



COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LA CONCENTRACIÓN DE CATIONES INTERCAMBIABLES EN UN SUELO TROPICAL EN SAN JOSÉ PUYACATENGO, TEAPA, MÉXICO

Roman Roberto Vasquez Rendon¹; Victorino Gomez Valenzuela¹

¹Unidad Regional Universitaria SurSureste, Carretera Teapa-Vicente Guerrero km 7.0, San José Puyacatengo, Teapa, Tabasco, México. roman.r.rendon@gmail.com

RESUMEN

El cambio climático está ocasionando una modificación de los patrones de lluvia en distintas regiones del mundo. Bajo este panorama incierto, se espera una modificación de los calendarios agrícolas y la actualización de la base de conocimientos relacionada con fenómenos ambientales cobra mayor relevancia. En este sentido este trabajo tuvo como objetivo realizar un seguimiento de la concentración de iones nutrimentales en un suelo tropical durante un periodo de tres años. Se midió la concentración de los cationes intercambiables Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ y Al^{3+} y la cantidad de precipitación acumulada (PT) durante el periodo de tiempo correspondiente a los años 2021 a 2023, los cuales se compararon con un análisis de correlación. Los resultados muestran una correlación inversa entre la PT y los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , y Al^{3+} y una disminución en la concentración de cationes y la CIC entre los años 2021 y 2022, pero una recuperación durante el ciclo 2022-2023, al disminuir la cantidad de lluvia acumulada.

PALABRAS CLAVE

Cationes, erosión, Lixiviación, Luvisol, Precipitación

INTRODUCCIÓN

Los suelos tropicales de nuestro país se ven sometidos a procesos de lixiviación de diferente magnitud con respecto a la precipitación que se presenta en cada región. Manejar las pérdidas de iones nutrimentales debido a la temporada de lluvias resulta en un reto agronómico de importancia, especialmente en zonas donde el acceso a nutrición de cultivos externa es limitado. Además, comprender la dinámica nutrimental de los suelos en la región tropical de nuestro país puede contribuir a realizar un aprovechamiento sustentable del recurso suelo. La acidez de los suelos tiene varios orígenes y viene causada por diversos procesos que ocurren en de forma natural en los suelos (Navarro & Navarro, 2013), pero se cuenta con evidencia que indica que el aumento de las precipitaciones promueve la lixiviación de los cationes básicos (Shi *et al.*, 2018), lo que puede producir, con el tiempo, una modificación del pH medio (Medina *et al.* 2009). Comprender cómo ocurre este proceso de lixiviación puede ayudar a realizar estimaciones de pérdida nutrimental y realizar las prácticas de remediación pertinentes.

Este trabajo tuvo como objetivo obtener los valores de concentración de iones en el suelo para observar la dinámica de los cationes intercambiables respecto a la precipitación acumulada en una región del trópico húmedo mexicano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en una parcela de pastoreo de la Unidad Regional Universitaria SurSureste ubicada en las coordenadas 17°31'23.9" LN, 92°55'46.0" LO, a 79 msnm, en Teapa, Tabasco, México, donde se colectaron muestras compuestas de suelo a 20 cm de profundidad en una parcela cubierta de gramíneas de pastoreo durante tres años en el periodo que corresponde de 2021 a 2023. La zona cuenta con un clima cálido húmedo con lluvias todo el año con una precipitación normal anual de 3402 mm. El muestreo se realizó siguiendo la metodología descrita por la NOM-021-RECNAT-2000, realizando un muestreo simple aleatorizado durante la temporada seca marcada en el climograma de la región, que corresponde al mes de marzo. Cada muestra compuesta se conformó de 20 submuestras y se tomó 1 kg de suelo que después se envió a un laboratorio certificado de análisis de suelos. Los suelos de la zona pertenecen al grupo de los Luvisols y Acrisols (Palma *et al.*, 2017).

Las muestras se analizaron en el Laboratorio Fertilidad de Suelos S. de RL. (Fertilab) en Celaya, Guanajuato el cual se encuentra acreditado como EMA. Se hicieron las siguientes determinaciones químicas: pH medido en agua (relación suelo: agua de 1:2), el Al^{3+} , el Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} el K^{+} y la CIC se analizaron mediante el método de determinación de bases intercambiables en suelo por extracción con acetato de amonio y las lecturas se realizaron mediante Espectrometría de Masas de Plasma (ICP-PLASMA). Los datos de precipitación acumulada (PT) se obtuvieron directamente de la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional (2024), para la precipitación se consideró la precipitación acumulada anual.

Los datos se analizaron en una matriz de correlación mediante el paquete Rstudio versión 2024.04.2 para identificar correlaciones entre la PT y los cationes. Se consideraron correlaciones significativas aquellas que se encontraron por encima de ± 0.80 .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La precipitación acumulada del lugar fue de 2711 mm, 3907 mm y 3091 mm, durante los años 2021, 2022 y 2023 respectivamente, con lo que se observa un aumento en el segundo año y después una disminución durante el tercero, lo cual es relevante porque la concentración de los cationes estudiados sigue la misma dinámica (cuadro 1). Para este caso solo se consideró a los cationes que conforman la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), ya que son los que las especies cultivadas requieren en mayor concentración y se pueden manejar mediante prácticas agrícolas, además el ion Al^{3+} cobra mayor relevancia para el trabajo ya que juega un papel sumamente importante en los suelos tropicales y su dinámica nutrimental, acidificando el medio (Ortega, 1981).

Cuadro 1: Concentración de los cationes del suelo en la parcela diagnóstico de San José Puyacatengo, Tabasco.

Concentración de cationes nutritivos durante el periodo 2021 - 2023								
Año	pH	PT	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	CIC
		mm	mg·kg ⁻¹	cmol(+)-kg ⁻¹				
2021	5.96	2711	1436.0	305.0	113.0	32.2	15.6	10.3
2022	5.78	3907	1042.0	275.0	74.9	27.9	14.0	7.93
2023	6.03	3091	1518.0	312.0	120.0	37.0	14.9	10.7

Según los análisis de laboratorio, los cationes que presentan la mayor concentración son el Ca²⁺ y Mg²⁺, seguidos del K⁺, Na⁺ y Al³⁺, sin embargo, durante el año de mayor precipitación (2023), las concentraciones del Al³⁺, Na⁺ y K⁺ disminuyeron, lo cual es consistente con (Dong *et al.*, 2022) quienes reportan que la precipitación, escorrentía y drenaje tienen un efecto en la pérdida neta de cationes básicos en un suelo tropical. Con los datos de laboratorio podemos confirmar que ocurrió una pérdida de cationes durante el periodo de 2021 a 2022, pero luego ocurre un aumento del ciclo 2022 a 2023, periodo donde también disminuye la precipitación acumulada. Con fines de productividad de los suelos de la zona, la disminución en la concentración del Al³⁺ es un dato positivo, por otro lado, una disminución en la concentración del K⁺ representa la pérdida de un ion nutrimental básico y de alta demanda para la producción de cultivo.

El análisis de correlación manifestó una correlación inversa con la concentración de los cationes Al³⁺>K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺ en ese orden de significancia, siendo una alta correlación la encontrada entre la PT y la concentración de Al³⁺. También, del mismo análisis se destaca que no se encuentra correlación significativa entre la PT y la concentración de iones de Na, aunque esto podría explicarse por la baja concentración de este catión en los suelos de la zona (Palma *et al.*, 2007).

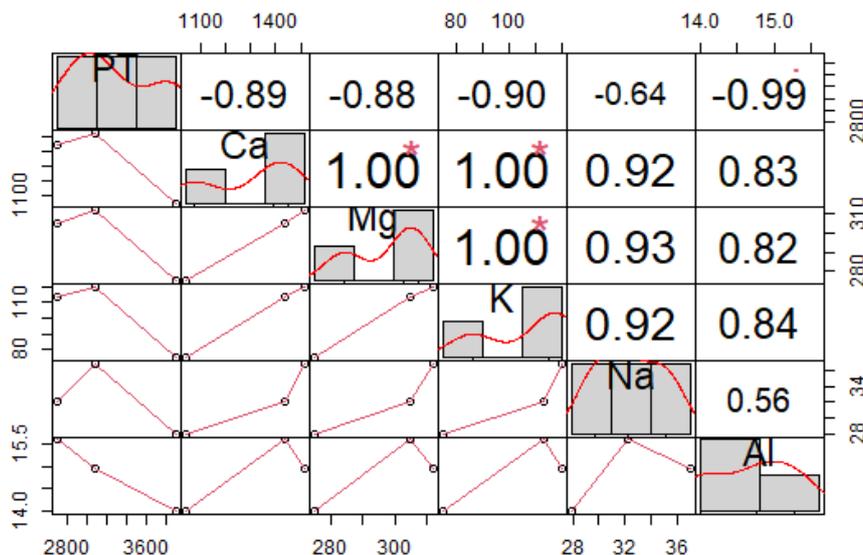


Figura 1: Comportamiento de la correlación entre la precipitación acumulada (PT) y cationes intercambiables.

Aunque el área de estudio cuenta con un suelo con un alto contenido de arcilla, la cota de precipitación es alta, por lo que el suelo se encuentra sometido a un fuerte proceso de pérdida de material. Lo anterior coincide con lo encontrado en un estudio de los cambios de la química en un Luvisol durante 30 años en Campeche donde Medina *et al.* (2009) mencionan que los suelos tropicales están sometidos a un constante proceso de lixiviación de bases y por lo tanto existirá una variación en el pH y la concentración en el Ca^{2+} y Na^+ intercambiable, ya que este trabajo no exploró una escala de tiempo tan amplia, los resultados sobre la variación del pH no son concluyentes.

CONCLUSIONES

Para este suelo tropical, se encontró una correlación inversa entre la precipitación y la concentración de los iones Al^+ y K^+ en los tres años de duración del estudio. Se encontró una relación inversa entre la precipitación y los cationes nutrimentales móviles en un orden de $\text{Al}^{3+} > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$, no se encontró correlación entre la precipitación y la concentración de Na^+ . Durante el periodo con mayor precipitación que corresponde de 2021 a 2022 existió una pérdida de cationes y una disminución en la CIC de aproximadamente el 18%, mientras que en el periodo de 2022 a 2023 existe un aumento en la concentración de cationes y una recuperación de la CIC al superar el valor de inicio en un 11% respecto al valor medio, momento cuando la precipitación acumulada disminuye con referencia al ciclo intermedio. Es necesario mencionar que este ensayo es exploratorio y se requiere continuar con la obtención de datos en un lapso amplio, lo cual permita modelar el comportamiento de los nutrimentos con una escala de tiempo más extensa.

AGRADECIMIENTOS

A la Unidad Regional Universitaria SurSureste (URUSSE) por brindar las instalaciones y recursos para el desarrollo de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT, 2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México, 85 p.
- Dong, Y., Yang, J., Zhao, X., Yang, S., Mulder, J., Dörsch, P., Peng, X., & Zhang, G. (2022). Soil acidification and loss of base cations in a subtropical agricultural watershed. *The Science Of The Total Environment*, 827, 154338. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154338>
- Medina-Méndez, J., Volke-Haller V. H., Galvis-Spínola A., González-Ríos J. M., Santiago-Cruz M. J. & Cortés Flores J. I. (2009). Propiedades químicas de un luvisol después de la conversión del bosque a la agricultura en Campeche, México. *Agronomía Mesoamericana* 20(2), 217-235.
- Navarro-García G. & Navarro García S. (2013). Química Agrícola. Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. España: Mundiprensa.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Ortega T., E. (1981). Química de suelos. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Palma-López D. J., Jimenez-Ramírez R., Zavala-Cruz J., Bautista-Zúñiga F., Gavi-Reyes F. & Palma-Cancino D. Y. (2017). Actualización de la clasificación de suelos de Tabasco, México. *Agroproductividad* 10(12), 29-35.
- Palma-López D.J., Cisneros-Dominguez J., Moreno-Cáliz E. & Rincón-Ramírez J. A. (2007). Suelos de Tabasco: Su Uso y Manejo Sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPOTAB-Fundación Produce Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México.
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing, Vienna, Austria
- Shi, L., Zhang, H., Liu, T., Mao, P., Zhang, W., Shao, Y., & Fu, S. (2018). An increase in precipitation exacerbates negative effects of nitrogen deposition on soil cations and soil microbial communities in a temperate forest. *Environmental Pollution*, 235, 293-301. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.083>
- SMN [Servicio Meteorológico Nacional] (01 de agosto de 2024) Base de datos Climatológica Nacional. Disponible en <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>, recuperado el 01 de agosto de 2024.

División 2

Propiedades y Procesos del Suelo



Imagen creada con IA (<https://deepai.org>), empleando los términos "processes and properties of the soil, real picture, 3d imagen".



Coordinadora de División
Dra. Rosalía del Carmen Castelan Vega

COMPORTAMIENTO DE VARIEDADES DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) ASOCIADAS CON MAÍZ (*Zea mays* L.) Y CALABAZA (*Cucúrbita pepo* L.)

**Miguel Ángel Valdez-García¹; Luis Fernando Sánchez-Estrada¹;
Pablo Lozano-Ruíz¹; Alfredo Lara-Herrera¹; Rodolfo de la Rosa-Rodríguez^{2*}**

¹ Unidad Académica de Agronomía de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Carretera Zacatecas-Guadalajara Km. 15.5 C.P. 98170 Zacatecas, Zac. México

² Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Avenida Ramón López Velarde 801, Colonia Centro, C.P. 98000 Zacatecas, Zac. México

*Autor responsable: rodox116@hotmail.com; Tel. +52(492)-161-7491

RESUMEN

La asociación de cultivos se define como el crecimiento y desarrollo de dos o más especies en el mismo terreno, durante parte o todo el ciclo vegetativo. El objetivo de la presente investigación es evaluar la asociación entre 10 variedades de frijol tipo IV con maíz y calabaza, con el fin de determinar su crecimiento y productividad. Para esto se establecieron 22 tratamientos que consistieron en variedades de frijol y estas asociadas con maíz y calabaza. Las variedades de frijol utilizadas fueron 10: Rosa de Castilla, Rojo Intenso Oaxaca, Bola Morado Rayado, Negro Opaco, Bola Brilloso Violento, Negro Opaco Alargado, Crema Valparaíso, Negro Brilloso, Bola Liso Morado, Bola Cremoso Rayado Oaxaca, mismas que se asociaron con maíz y sólo dos de ellas con calabaza (Rosa de Castilla y Crema Valparaíso). Se determinaron variables en planta: Altura de planta, Número de guías, Diámetro de tallo, Numero de hojas trifoliadas, Índice de clorofila; Rendimiento y Nodulación. Las variedades Bola liso morado y Rosa de Castilla destacan con valores altos planta, sin embargo, fueron bajas en rendimiento. La variedad Negro opaco en asociación con maíz presentan valores bajos en características de la planta, pero en rendimiento logran hasta un 42 y 44 % de toda la producción de grano obtenida por las variedades. De acuerdo a lo observado la respuesta de la planta se debe a estas condiciones del material genético de cada variedad y no a la asociación de las variedades con maíz o calabaza.

PALABRAS CLAVE

Sustentabilidad, Sinergia, Policultivo.

INTRODUCCIÓN

La asociación de cultivos se define como el crecimiento y desarrollo de dos o más especies en el mismo terreno, durante parte o todo el ciclo vegetativo (Pérez-López *et al.*, 2013). Esta sinergia puede generar diversos beneficios, como optimización de recursos, diversificación de cultivos, disminución en la vulnerabilidad a factores bióticos y abióticos; además, se puede reducir el riesgo e incertidumbre tanto en la producción como en la comercialización o bien se puede favorecer el rendimiento en conjunto.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

En la asociación de maíz y frijol, ambas se benefician mutuamente; la similitud de condiciones de desarrollo, tiempo de siembra y cosecha hace que sean cultivables en asociación (Torres-Calderón *et al.*, 2018). Debido a la necesidad de generar información al respecto sobre los beneficios de asociar cultivos se planteó el objetivo en la presente investigación: Evaluar la asociación entre 10 variedades de frijol tipo IV con maíz y calabaza, con el fin de determinar su crecimiento y productividad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento. El experimento se llevó a cabo en condiciones de invernadero en la Unidad Académica de Agronomía en el municipio de Cieneguillas, Zacatecas, México, en las coordenadas 22°43'42.4"N 102°41'07.8"W y 2233 m de altitud.

Tratamientos y diseño experimental. Se aplicaron 22 tratamientos: (1) Rosa de Castilla; (2) Rosa de Castilla x Calabaza; (3) Rojo Intenso Oaxaca x Maíz; (4) Rojo Intenso Oaxaca; (5) Bola Morado Rayado; (6) Bola Morado Rayado x Maíz; (7) Negro Opaco x Maíz; (8) Negro Opaco; (9) Bola Brilloso Violento x Maíz; (10) Bola Brilloso Violento; (11) Negro Opaco Alargado; (12) Negro Opaco Alargado x Maíz; (13) Crema Valparaíso; (14) Crema Valparaíso x Maíz; (15) Negro Brilloso x Maíz; (16) Negro Brilloso; (17) Bola Liso Morado x Maíz; (18) Bola Liso Morado; (19) Bola Cremoso Rayado Oaxaca x Maíz; (20) Bola Cremoso Rayado Oaxaca; (21) Rosa de Castilla x Maíz y (22) Crema Valparaíso x Calabaza. El diseño experimental fue bloques completos al azar con tres repeticiones.

Siembra y material vegetal. Las tres especies se sembraron manualmente. La siembra de frijol se realizó el 7 de junio de 2024 a una distancia de 0.50 m, en camas a doble hilera a 0.40 m entre hileras y doble cinta de riego, con goteros cada 0.20 m. Las camas midieron 20 m de largo, 0.80 m de ancho (densidad de 24 600 plantas ha⁻¹). El maíz fue criollo sembrado el 13 de junio de 2024 a una distancia entre semillas de 0.25 m, en la parte central de las camas considerando una distancia de 0.20 m entre las hileras del frijol. La calabaza criolla fue sembrada el 14 de junio de 2024 a una distancia entre semillas de 1 m, en la parte central de las camas, únicamente en la mitad de las camas correspondientes aleatoriamente.

VARIABLES DE ESTUDIO

Altura de planta. Esta variable fue determinada a los 30 días de la siembra con un flexómetro considerando la base del tallo hasta el brote con mayor longitud.

Número de guías. A las 4 semanas se determinó el número de guías contabilizando todas las guías presentes en la planta, independientemente de su longitud.

Diámetro de tallo. Se midió a 2.5 cm a partir de la base del tallo con vernier digital Mitutoyo modelo sc-6, a las cuatro semanas de la siembra.

Número de hojas trifoliadas. Fueron contabilizadas todas las hojas trifoliadas, esto al mes del día de la siembra.

Nodulación. En este caso se extrajo una planta de cada variedad a las seis semanas de la siembra con el mayor cuidado posible de no alterar el sistema radicular. Ya en laboratorio se contabilizaron todos los nódulos presentes en cada una de las plantas con ayuda de una lupa.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Índice de clorofila. Fue determinado con un equipo MINOLTA SPAD-502 PLUS considerando el promedio del índice de tres hojas recientemente desarrolladas tomadas en la parte superior de la planta.

Rendimiento. La cosecha de ejote se llevó a cabo de manera manual y se determinó el peso (kg) en una báscula Kern AES 200-4N con precisión de 0.001. Esto a partir del 7 de agosto del 2024

Análisis estadístico

La información de los parámetros anteriormente descritos, se analizó en un análisis de componentes principales multivariado en el programa INFOSTAT ver. 2014.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de planta, Número de guías, Diámetro de tallo, Número de hojas trifoliadas. Estas variables entre si tienen una afinidad, ya que es notable una tendencia en el biplot obtenido al analizar los datos (Figura 1). En estas variables destacaron dos materiales vegetales utilizados, uno asociado y uno no asociado, Bola liso morado y Rosa de Castilla respectivamente, que mostraron un alto nivel de asociación a valores alto en estas variables. En estas variables se identificó que el resto de las variedades mostraron valores muy bajos, principalmente Negro opaco asociado con maíz y Negro opaco sin asociación. Así como hay beneficios al asociar cultivos, también el desarrollo de una especie o ambas en una asociación puede verse afectada por la competencia que se genera entre ellas (Delgado-Martínez *et al.*, 2014) o por la habilidad que la planta de frijol puede desarrollar para crecer y desarrollarse (Morales-Rosales *et al.*, 2008).

Nodulación. Las variedades Rosa de castilla y Rojo intenso Oaxaca mostraron valores altos en contenido de nódulos en raíz, obteniendo cerca del 26 y 21% respectivamente de todos los nódulos obtenidos por todas las variedades probadas. Por el contrario, el resto de las variedades establecidas mostró en promedio sólo el 6.5 % de la nodulación obtenida por todos los materiales. La nodulación se vio poco relacionada con las demás variables determinadas (Figura 1).

Índice de clorofila. En esta variable destacaron las Bola cremoso rayado y Crema Valparaíso ambos asociados con el cultivo de maíz, esto puede deberse a la buena sinergia que ocurre entre maíz y frijol más que entre frijol y calabaza y que por sí solos (Zhang *et al.*, 2014). Sin embargo, en general no hubo un valor importante que destacar en esta variable (Figura 1). Rosa de castilla, Bola morado rayado y Bola liso morado asociados con maíz se vieron relacionados con valores más altos en esta variable y también con la variable de número de guías.

Rendimiento. Negro opaco sin asociación y asociado con maíz fueron las variedades destacadas por valores altos en esta variable, alcanzando sólo estas dos variedades 42 y 44 % de toda la producción obtenida. El rendimiento obtenido en frijol está fuertemente influenciado por la habilidad competitiva del cultivar utilizado (Morales-Rosales *et al.*, 2008), así como por la competencia que pueda darse entre las especies asociadas (Delgado-Martínez *et al.*, 2014). Los resultados de la presente investigación concuerdan con Ebel *et al.* (2017) quienes encontraron mejor respuesta de la asociación de frijol y maíz que con frijol y calabaza.

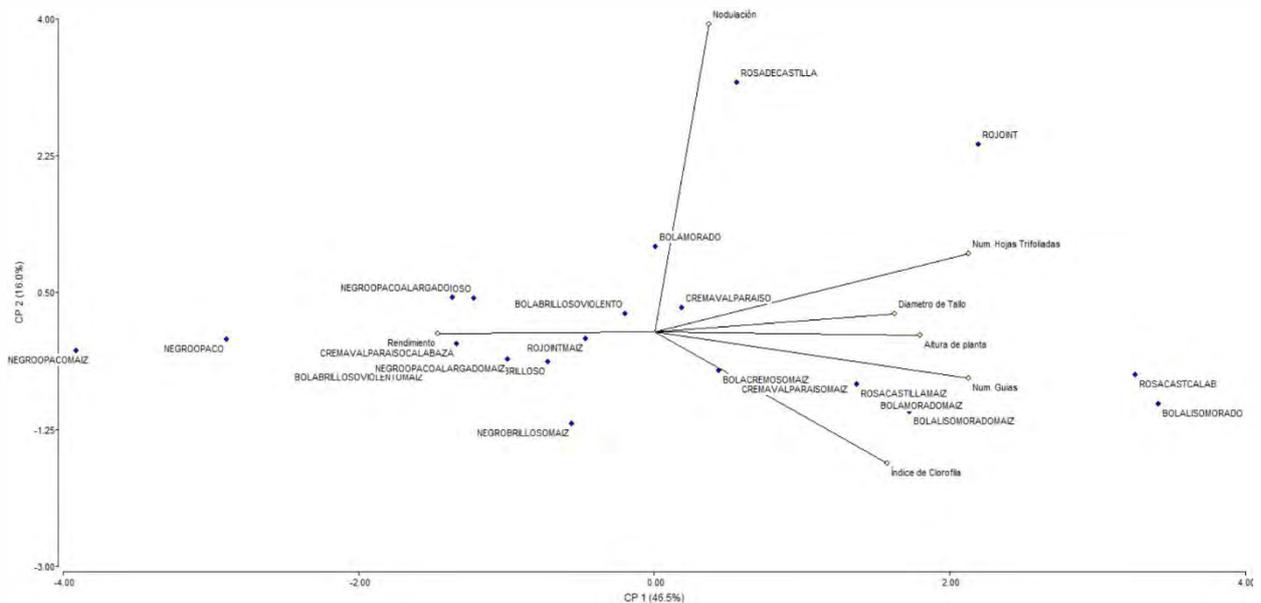


Figura 1. Comportamiento de las variables evaluadas en 10 variedades nativas de frijol tipo IV sin asociar (monocultivo) y asociadas con maíz y dos de ellas asociadas con calabaza. Mediante análisis de componentes principales.

CONCLUSIONES

Las variedades Bola liso morado y Rosa de Castilla destacan con valores altos en Altura de planta, Número de guías, Diámetro de tallo, Número de hojas trifoliadas, sin embargo, fueron bajas en rendimiento.

El comportamiento de las variedades en las variables de crecimiento fue contrario a la variable de rendimiento.

No se encontró alguna relación entre Índice de Clorofila y Número de Nódulos, a su vez no existe algún vínculo entre Numero de Nódulos y productividad de ejote.

REVISAR

El rendimiento y crecimiento de cada material genético no fue modificado por la asociación con maíz, pero si con calabaza porque fue menor.

BIBLIOGRAFÍA

- Delgado-Martínez, R., Escalante-Estrada, J. A. S., Díaz Ruíz, R., Trinidad Santos, A., Morales Rosales, E. J., & Sosa Montes, E. (2014). Defoliación en maíz y su efecto sobre el rendimiento de frijol-maíz en asociación. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(6), 1015-1027.
- Ebel, Roland, Pozas Cárdenas, José Gonzalo, Soria Miranda, Florencio, & Cruz González, Jesús. (2017). Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana*, 35(2), 149-160.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Morales-Rosales, E. J., Escalante-Estrada, J. A. S., & López-Sandoval, J. A. (2008). Crecimiento, índice de cosecha y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en unicultivo y asociado con girasol (*Helianthus annuus* L.). *Universidad y ciencia*, 24(1), 1-10.
- Pérez López, Astrid Elena., Martínez Bustamante, Enrique., Vélez Vargas, León Darío., & Cotes Torres, José Miguel . (2013), "Acumulación y Distribución de Fitomasa en el Asocio de Maíz (*Zea mays* L.) y Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)." *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, Vol. 66, núm.1, pp.6865-6880 [Consultado: 5 de Junio de 2024]. ISSN: 0304-2847. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179928411004>
- Torres-Calderon, S., Huaraca Fernández, J., Pezo, D., & Crisóstomo Calderón, R. (2018). Asociación de cultivos, maíz y leguminosas para la conservación de la fertilidad del suelo. *Revista De Investigación: Ciencia, Tecnología Y Desarrollo*, 4. Recuperado en 06 de junio de 2024 https://www.researchgate.net/publication/327169612_Asociacion_de_cultivos_maiz_y_leguminosas_para_la_conservacion_de_la_fertilidad_del_suelo
- Zhang, C., J. A. Postma, L. M. York, and J. P. Lynch. (2014). Root foraging elicits niche complementarity-dependent yield advantage in the ancient 'three sisters' (maize/bean/squash) polyculture. *Ann. Bot.* 191: 1719-1733. doi: 10.1093/aob/mcu191.

RELACIONES GEOMORMO-EDÁFOLOGICAS DE LA LADERA NORTE DEL VOLCÁN TLÁLOC, SIERRA CHICHINAUTZIN

**Lourdes Rodríguez-Gamiño¹; Jorge López-Blanco²; Gilberto Vela-Correa³
y Marina Ferreira-Ocaña¹**

¹Colegio de Geografía, FFyL, UNAM. Universidad 3000, Circuito Exterior S/N, Cd. Universitaria,

²Global Change Consulting. Barquera 13-B509, Merced Gómez, Benito Juárez, 03930, CdMx.
Coyoacán, 04510, CdMx.

³Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Laboratorio de Edafología y Absorción Atómica. Calz. del Hueso 1100, Villa Quietud, Coyoacán, 04960, CdMx.

Autor para correspondencia: gvela@correo.xoc.uam.mx

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar las relaciones geomorfo-edáficas en la ladera norte del volcán Tláloc en la Sierra Chichinautzín en la CdMx, considerando como posibles fuentes de variación las posiciones en la ladera y las propiedades físicas y químicas de los suelos. Se definieron unidades de relieve, que sirvieron de base para definir los sitios de muestreo. Se describieron siete perfiles de suelos y en laboratorio se determinaron sus propiedades físicas y químicas. Las unidades geomorfológico-morfogenéticas (UGM) son de origen endógeno volcánico y exógeno, acumulativas. La profundidad del suelo en los sitios de Lmce, Lmfl y Pmc fue >1m y en la Pal fue de 0.7 m atribuible a factores como la altitud. Los sitios de las Lmce y Lmfl presentaron texturas migajón-arenosas y en los sitios de Pmc y Pal las texturas son areno-migajosas y arenosas. En las Lmce y Lmfl, el pH resultó ser de ácido a ligeramente ácido, y en los sitios de Pmc y Pal es neutro., tienen un elevado contenido de MO, en los horizontes superficiales en las Lmce y Lmfl, a diferencia de los sitios de Pmc y Pal, donde es pobre por la actividad agrícola. La CIC es alta en las Lmce y Lmfl, media en el Pmc y baja en la Pal. Debido a la temporalidad de las distintas posiciones del relieve los materiales de las Lmce y Lmfl son más recientes (Holoceno) en comparación con los de Pmc y la Pal del Pleistoceno.

PALABRAS CLAVE

Catena, Unidades geomorfológico-morfogenéticas, Propiedades de suelos, Relieve.

INTRODUCCIÓN

El relieve y su relación con los suelos desde una perspectiva de la geomorfología, puede proporcionar información útil sobre las propiedades y procesos en los suelos. Es aquí donde a partir de las formas del relieve, como el origen, el tipo, la edad/litología y la geometría, así como el efecto de la escala de los procesos geomorfológicos (por ejemplo, los flujos de agua, erosión y depositación), pueden modificar la estructura, distribución y características de los suelos.

Algunos procesos que ocurren en el relieve pueden explicar a su vez los procesos que suceden en los suelos, de manera, que el desarrollo del relieve determina cuándo comenzaron o cuándo cesaron ciertos procesos edáficos. La actividad tectónica y la

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

variación litológica pueden producir paisajes geomorfológicos que bajo ciertas condiciones pueden ser confundidas con superficies de intemperismo, por lo que se considera que el desarrollo del suelo no comienza con la erosión o la depositación de materiales edáficos, sino hasta que el suelo alcanza un estado de equilibrio; a través de la acción del clima, vegetación, material parental y sobre todo del tiempo (Hall, 1983).

La variabilidad de las características físicas y químicas de los suelos y su relación con el relieve ha sido estudiada en zonas. Los suelos pueden proveer información útil para estimar condiciones ambientales en el pasado a través de la exploración de perfiles de suelo, variables climáticas, tipos de vegetación y características de relieve. Sin embargo, existen muy pocos modelos de la integración geomorfo-edaforológica en el país. Una excepción es el trabajo de Galicia et al. (1999) en Chamela, Jalisco y Krasilnikov et al. (2005) en la Sierra Madre del Sur, Oaxaca, donde el arreglo espacial de los suelos en las montañas es atribuido a los procesos geomorfológicos. Por lo anterior el objetivo de este trabajo fue determinar las relaciones relieve-suelos, tomando como fuente de variación las distintas posiciones de la ladera y sus diferencias en las propiedades de los suelos en el volcán Tláloc, Ciudad de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El complejo volcánico Tláloc (3,963 ha), se localiza en la provincia ambiental biofísica del *Eje Neovolcánico*, en la región ambiental biofísica (RAB) 121 *Depresión de México*, y en la subregión ambiental biofísica (SRAB) de Sierra Chichinautzin (López-Blanco, 2009). Está entre las coordenadas 19°03" y 19°13', de latitud norte y entre 98°58' y 99°05', de longitud oeste, en la porción sur de la Cuenca de México (Figura 1). La Sierra Chichinautzin está constituida por estructuras volcánicas formadas por flujos lávicos y depósitos piroclásticos, acumulados desde el Terciario hasta el Holoceno, del periodo Cuaternario (Martin, 1980).



Figura 1. Volcán Tlaloc, CdMx

Este volcán representa el límite sur de la Cuenca de México y su origen se relaciona con la subducción de la Placa de Cocos, por debajo de la Placa Norteamericana (Tapia-

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Varela y López-Blanco, 2001). El tipo de clima dominante es templado subhúmedo con lluvias de verano, con una temperatura media anual de 16°C y una precipitación media anual de 1,058 mm (García, 2004). Los suelos son andosoles, leptosoles, phaeozem y regosoles (INEGI, 1999). La vegetación dominante es un bosque de pino, pino-encino, pastizal y matorral. Los usos del suelo son el forestal, agrícola, pecuario y urbano (Rodríguez-Gamiño, 2008). La metodología que se siguió durante el desarrollo de este trabajo se detalla en la Figura 2.

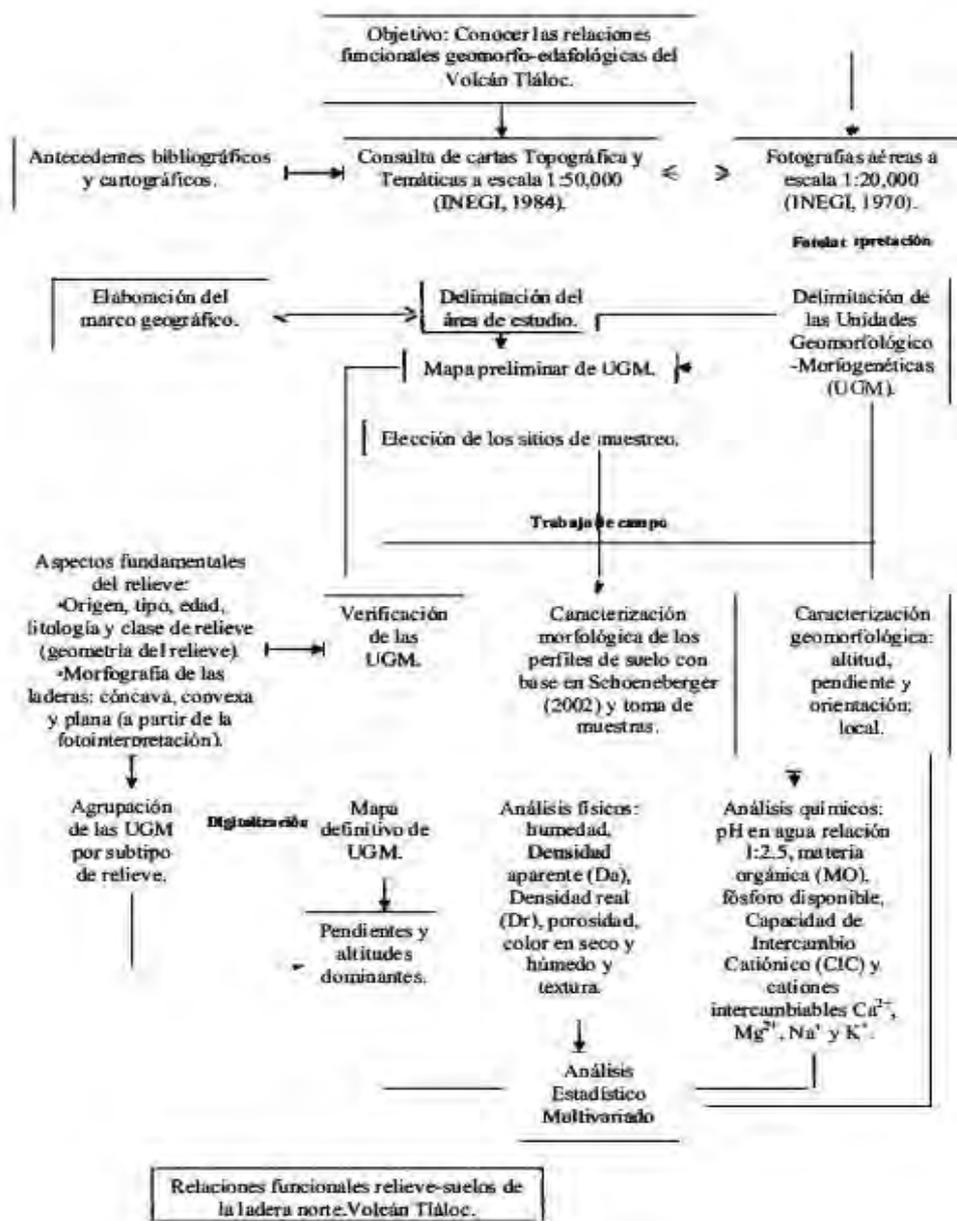


Figura 2. Flujo metodológico

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Unidades geomorfo-morfogenéticas (UGM)

Estas unidades se caracterizan por ser de 1) Origen endógeno volcánico acumulativo, de andesita holocénica que corresponden a los subgrupos de a) Laderas de montaña internas de cono de escoria (Lmice), b) Laderas de montaña externas de cono de escoria (Lmece), c) Laderas de montaña superior de flujos lávicos (Lmsfl), d) Laderas de montaña media de flujos lávicos (Lmmfl), e) Laderas de montaña inferior de flujos lávicos (Lmifl); 2) de origen complejo, principalmente endógeno acumulativo de flujos lávicos de andesita y secundariamente exógeno acumulativo aluvial con cubierta reciente pleistoholocénica, que corresponden a los subgrupos de f) Piedemonte complejo superior (Pmcs), g) Piedemonte complejo medio (Pmcm), h) Piedemonte complejo medio-inferior (Pmcmi), i) Piedemonte complejo inferior (Pmci); j) de origen exógeno acumulativo aluvial de Piedemonte local intermontano (Pmlin) de andesita pleistocénica y 3) de origen exógeno acumulativo aluvial de depósitos no consolidados de ceniza volcánica sobre andesita pleistoholocénica y corresponden a los subgrupos k) Planicie aluvial (Pal), l) Planicie interna de cono de escoria (Pice) y m) Planicie local intermontana (Plin).

Características de los suelos

El pH representa la variable que más que se relaciona inversamente proporcional a la altitud, es decir a mayor elevación la reacción del suelo disminuye, debido a que la humedad y la vegetación influyen en la acidez del suelo, provocado una hidrólisis de los compuestos alofánicos, por la cantidad de acículas de *Pinus* sp. Por otra parte, las variables que se relacionan directamente con la altitud son principalmente la materia orgánica (MO) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC), ambas propiedades se incrementan con la elevación, pero también con la disminución del pH y con la textura. Otra variable que representa una relación inversa con respecto a la altitud es el Na^+ y el K^+ intercambiables, debido a que a diferencia del Ca^{2+} y el Mg^{2+} , el Na^+ y el K^+ existen en menor proporción tanto en los subgrupos de laderas de montaña como en el piedemonte y la planicie. El calcio y casi todo el potasio se encuentran como componentes de los minerales complejos del suelo y estas formas desaparecen lentamente a través de los años por la acción disolvente del agua cargada con diversos ácidos entre ellos el ácido carbónico. El potasio liberado puede ser tomado por las plantas, perdido por drenaje o detenido por los coloides del suelo, a diferencia de que una gran cantidad de Ca^{2+} , se vuelve móvil por este tipo de reacción. El contenido de MO, influye en el color de los suelos, independientemente de la composición mineralógica del material parental y el efecto se observó en los horizontes superficiales, aunque se presentaron diferencias entre los horizontes asociados a la presencia de raíces y rocas (Moustakas et al., 2005).

CONCLUSIONES

Los suelos de la ladera norte del volcán Tláloc, se formaron a partir del intemperismo de materiales piroclásticos no consolidados, como ceniza volcánica, que yacen sobre rocas ígneas intermedias como andesitas-basálticas o sobre rocas ígneas piroclásticas consolidadas como tobas, por lo que presentan una secuencia de evolución A/C.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Los procesos geomorfológicos que predominan en la ladera norte del volcán son los erosivos de flujo hídrico laminar y con respecto a su forma las Lmce y Lmfl, se caracterizaron por ser de forma convexa en sentido longitudinal y transversal; los subgrupos de Pmc, longitudinalmente de forma plana y transversalmente convexa y en los subgrupos de Pal su forma dominante es plana, en ambos sentidos.

Las propiedades del suelo de los subgrupos de Lmce y Lmfl presentaron altos contenidos de MO, CIC y cationes intercambiables, atribuibles al alto contenido de humedad, a los valores bajos de pH y a los materiales amorfos. En las Pmc y Pal, predominaron las texturas arenosas, donde el contenido de MO es pobre y la CIC es baja, atribuible a la baja humedad y a la actividad agrícola. El fósforo aprovechable es bajo en todas las UGM debido a su retención por minerales alofánicos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), de la UNAM, el financiamiento al proyecto de investigación Clave: IA102422: Degradación del ambiente biofísico en la Sierra Chichinautzin, sur de la Ciudad de México.

BIBLIOGRAFÍA

- García, E. (1998), Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, 5ª ed. Ed. Instituto de Geografía, UNAM, México p.
- Hall, G. F., (1983), Pedology and geomorphology, In: Wilding, L.P., Smeck, N.E., Hall, G.F. (Eds.), Pedogenesis and Soil Taxonomy: I. Concepts and Interactions. Elsevier, Amsterdam, pp. 117- 140
- INEGI (1984d), Carta de Uso de Suelo y Vegetación de Milpa Alta (E14-A49) a escala 1:50,000, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México.
- Martin, P. A., (1980), Vulcanología de la Sierra Chichinautzin, tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 131 p.
- Moustakas, N. K. and F. Georgoulas, (2005), Soils developed on volcanic materials in the island of Thera, Greece, *Geoderma* 129 (3-4): 125-138.
- Rodríguez-Gamiño, M. L. y J. López-Blanco, (2005), Caracterización de Unidades Biofísicas a partir de Indicadores Ambientales en Milpa Alta, Centro de México, *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, núm 60, pp. 46-61
- Tapia-Varela, G. y J. López-Blanco, (2002), Mapeo geomorfológico analítico de la porción central de la Cuenca de México: unidades morfogenéticas a escala 1:100,000, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 19, núm. 1, pp. 50-65.

CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS SALINOS DE LA COMUNIDAD SAN MATEO HUITZINCO DEL MUNICIPIO DE CHALCO ESTADO DE MÉXICO

Rodolfo Joel López Ríos¹; Daniel Torres Nava¹; Gerardo Cruz Flores²

¹Universidad Intercultural del Estado de México Plantel Tepetlixpa, área Desarrollo Sustentable Tepetlixpa Estado de México, mail dtorres.nava@gmail.com

²Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, FESZ UNAM. Batalla 5 de mayo Esq. Fuerte de Loreto, Col. Ejército de Oriente Alcaldía Iztapalapa, 09230 Ciudad de México, CDMX

RESUMEN

La salinidad del suelo puede ser un factor adverso en la producción de cultivos. Como propiedad del suelo, no suele ser homogénea principalmente en áreas con fluctuaciones de humedad como suelen ser aquellos donde antiguamente fueron zonas lacustres y ahora son destinados a campos agrícolas. Un ejemplo de estos son los suelos de la zona de San Mateo Huitzilzingo en Chalco, Estado de México. El objetivo de este trabajo fue analizar el suelo de dos parcelas; una con mayor cercanía a la laguna donde los productores mencionan que hay más salinidad y otra donde indican que la salinidad no es muy alta. Se hizo el muestreo de suelo en los diferentes horizontes de ambas parcelas con el fin de evaluar los parámetros de: pH, conductividad eléctrica y calcio, magnesio, sodio y potasio intercambiables de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000. Se encontró que el suelo de la parcela que está más cerca de la laguna presentó más altos índices de salinidad respecto a la más distante. Los suelos de la comunidad de San Mateo Huitzilzingo se clasifican como C4-S1: suelos con muy alta salinidad, pero bajos en sodio intercambiable. En ambas parcelas el catión dominante fue el Ca, lo cual puede explicarse porque el agua de riego utilizada por los productores de la región, es agua que proviene de la misma laguna. Aunque los productores realizan la siembra de algunos cultivos en esos suelos, por sus propiedades, los suelos deberían destinarse, con mayor provecho ambiental a una zona de conservación aumentando los servicios ambientales de regulación, y provisión en una zona con alta presión de crecimiento urbano. Como humedal, proponer la reintroducción de especies acuáticas y subacuáticas que mejoren la calidad del agua, la captura de carbono la recarga de acuíferos para conservar la biodiversidad y regular el ciclo hidrológico y fomentar el uso ecoturístico del lugar como fuente de derrama económica para los pobladores de la zona. Sustituyendo un sistema agrícola anómalo en suelos con extremada salinidad que los hacen poco propicios para la siembra agrícola.

PALABRAS CLAVE

Calcio, Lago de Chalco, Materia orgánica

INTRODUCCIÓN

Los suelos salinos han sido parte de la historia de la humanidad desde la antigua Mesopotamia hasta la actualidad. La salinidad del suelo ya cubre 33% de las tierras agrícolas irrigadas en todo el mundo (Srivastava y Kumar, 2015): La salinidad puede afectar de diversas formas a la fertilidad del suelo influyendo negativamente en la disponibilidad de carbono (C) y nitrógeno (N) en el suelo y diversos procesos microbianos (Yu *et al.*, 2019). La salinidad tiene grandes afectaciones a los cultivos. El estrés salino en las plantas se presenta de dos maneras: la fase osmótica en donde se presenta el cierre de estomas y la fase iónica en esta caracterizada por la acumulación de la sal en los brotes (Sirault *et al.*, 2009). Estas condiciones pueden disminuir fuertemente el rendimiento de los cultivos (Shrivastava y Kumar, 2015) y no solo afecta a la producción sino también a la seguridad alimentaria. Además, el cambio climático está afectando el ciclo hidrológico con una aceleración de la evapotranspiración y la tasa de precipitaciones, sequías y aumento del nivel del mar (IPCC, 2019). La salinidad también puede ser originada por causas naturales como es el caso del municipio de Chalco por acumulación de sedimentos lacustres desde tiempos prehispánicos (Lara, 2022). Son suelos que presentan salinidad, debido a cambio en el uso de la tierra (Jolly *et al.*, 2008) llegando a presentar costras de salinidad. Sin embargo, esto no ha sido impedimento para la siembra de algunos cultivos, pero con bajos rendimientos, los productores locales conocen el suelo como “pantanosos” saben que en sus suelos hay salinidad. Sin embargo, esta no se presenta en forma general si no que varía en los suelos de la comunidad. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es caracterizar los suelos salinos de la comunidad de

MATERIALES Y METODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en la localidad de San Mateo Huitzilzingo perteneciente al municipio de Valle de Chalco estado de México (figura 1) El clima es Templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad (68.54%) y templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (31.46%). Los suelos que se presentan principalmente son: Gleysol (22.48%), Solonchak (15.21%), Regosol (3.69%) (INEGI 2010).

Muestreo y análisis de suelos

Se obtuvieron dos muestras edáficas, una de suelo cercano a la laguna y la segunda muestra donde los pobladores reportan una salinidad muy baja con la finalidad de compararlas (Figura 1). Se realizó un perfil en cada parcela, se describieron y obtuvieron muestras de cada horizonte, las muestras de suelo fueron secadas y tamizadas (2 mm) antes de proceder a los análisis físicos y químicos, los métodos utilizados son los que reporta Ika NOM-021-SEMARNAT-2000. La determinación del pH se realizó en agua destilada en una relación 1:2 (AS-02) y la conductividad eléctrica en una relación 1:5. Se determinaron los parámetros de salinidad de suelos (conductividad eléctrica, calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonato, bicarbonato, cloruro y sulfato). También se obtuvo el RAS con el fin de analizar la concentración de

sodio y su efecto en las propiedades físicas del suelo (Aceves, 2011). Éste se calculó con la siguiente formula:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Donde:

Na⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺: corresponden a la concentración (mEq L⁻¹)

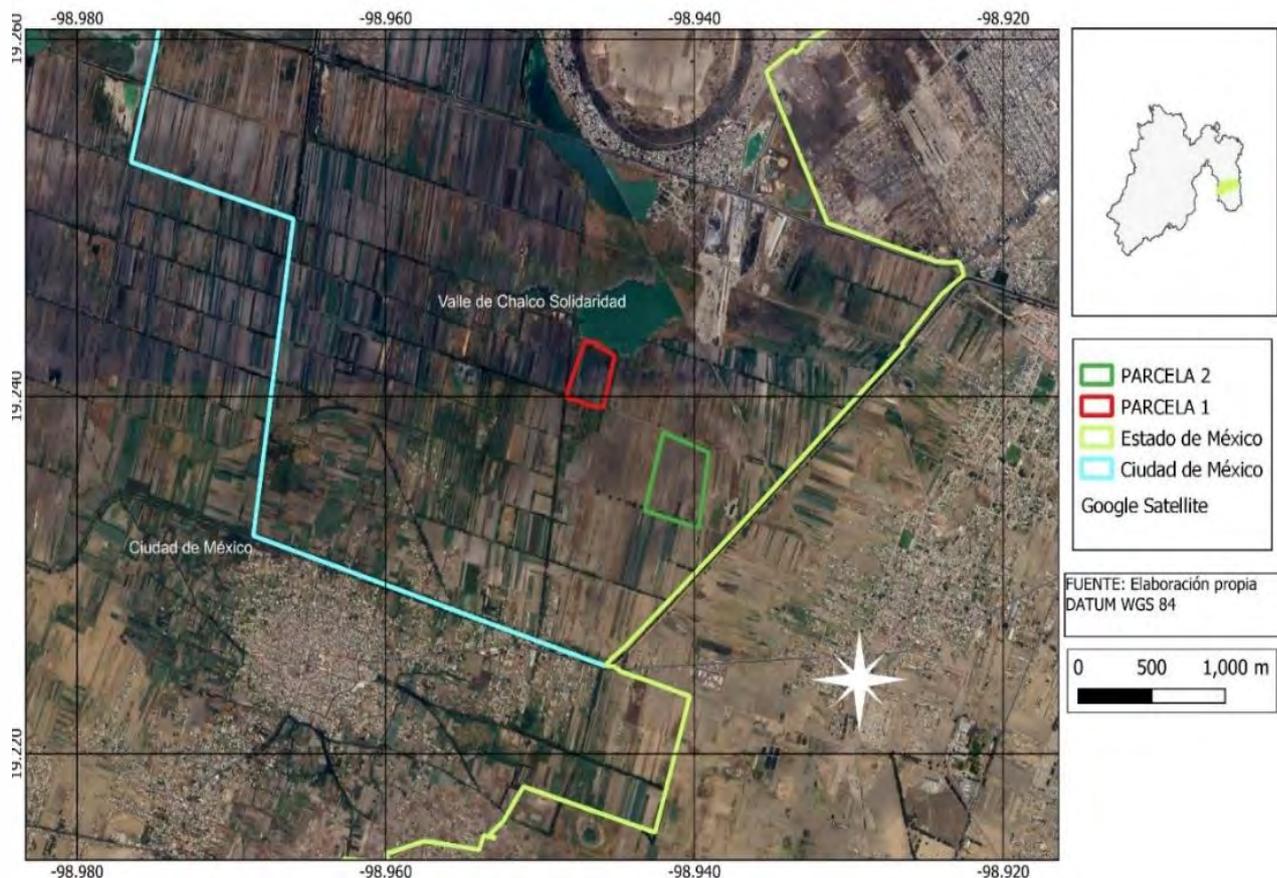


Figura 1. Localización del área de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1. Se observan los resultados obtenidos. Los suelos del área de estudio presentan morfología del perfil del tipo A-AC-C. En general se observa un pH Alcalino, El pH fue más alto en la parcela más cercana al lago. En ambos suelos se observa que se incrementa horizontes más abajo, en ambas parcelas el primer horizonte se presenta niveles más bajos, estos resultados se asemejan a lo encontrado por Barbosa *et al.*, (2022). Algunos cultivos que se pueden establecer bajo estas condiciones del suelo son la alfalfa, cebada, trigo y girasol ya que son tolerantes a la salinidad (Aceves, 2011).

En nuestro estudio el catión en concentración más elevada fue el Ca. El origen de las altas concentraciones de Ca puede ser el agua de riego, ya que los productores riegan con la misma agua de la laguna, en otros estudios se ha encontrado un

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

incremento de Ca por esta situación (Hassani *et al.*, 2020). Sin embargo, en suelos donde hay una alta concentración de Ca, pueden presentarse efectos negativos en los tejidos vegetales, debido a la competencia con el sodio lo que puede causar deficiencia de Ca (Olle y Bender 2009). Respecto al sodio, la concentración también fue más alta en el primer horizonte, esto se debe principalmente a la evapotranspiración del agua, que hace que el Na se acumule en los horizontes superficiales, esto se ha reportado en otros trabajos (Copa 2014)

RAS

El suelo más cercano a la laguna presento valores más altos de RAS en comparación con el suelo alejado. De acuerdo a la clasificación de suelos en base en la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) y la Conductividad Eléctrica los suelos estudiados se clasifican como suelos con muy alta salinidad, pero bajos en sodio (Santoyo *et al.*, 2021). En ambos suelos se presentaron más altas concentración de Na en los primeros centímetros del suelo, por consecuencia en los horizontes inferiores los valores de RAS fueron menores, esto se debe a que la riqueza de calcio afecta significativamente los valores de RAS (Amrhein y Suarez, 1991) tal como se presentó en nuestro estudio.

Ambos suelos presentaban altos niveles de materia orgánica, contrario a lo que se presenta en suelos salinos, esta acumulación de carbono, se debe a que el calcio mejora el incremento de la materia orgánico a través de la unión de cationes (Feng *et al.*, 2023), Los niveles de niveles de carbono orgánico que decrecen de forma irregular con la profundidad y se mantienen elevados a los 100 cm; salinidad en los horizontes superficiales, esto se asemeja a lo encontrado por Roca y Pazos (2007).

Cuadro 1. Principales características físicas y químicas de los perfiles estudiados

Parcela	Horizonte	cm	pH	CE dS m ⁻¹	MOS %	Arcilla %	Ca	K	Mg	Na	RAS
1	A	0 - 10	7.8	2.98	2.8	24	35.9	1.4	18.2	11.1	2.2
	B	10 - 30	8.2	7.02	2.2	44	27.2	0.96	15.2	4.1	1.0
	BC	30 - 50	8.2	2.34	2.3	35	26.9	0.8	13.9	3.2	0.7
	C	50 - 60	8.3	3.63	2.2	38	25.0	0.6	13.0	3.5	0.8
2	A	0 - 10	8.5	3.38	3.0	22	54.3	2.3	33.2	33.4	5.1
	B	10 - 30	8.5	6.15	2.6	44	32.2	1.3	15.7	12.6	2.6
	BC	30 - 50	8.3	4.93	2.4	30	27.9	1.1	14.5	7.3	1.6
	C	50 - 60	8.4	4.00	2.7	32	25.7	0.7	12.0	3.4	0.8

CONCLUSIONES

Los suelos de la comunidad de San Mateo Huitzilzingo se clasifican como C4-S1: suelos con muy alta salinidad, pero bajos en sodio.

La salinidad de los suelos de la comunidad de San Mateo Huitzilzingo se debe principalmente al catión Calcio.

Los suelos estudiados de acuerdo a los estudios realizados no son recomendables para uso agrícola, por lo cual se propondría a los dueños del territorio destinarlo como zona de conservación de flora y fauna, como humedal para el uso del rescate de la zona del lago.

BIBLIOGRAFIA

- Aceves Navarro, E. (2011). *El ensalitramiento de los suelos bajo riego*. México. Biblioteca Básica de Agricultura.
- Amrhein, C., Suarez, D. L. (1991). Sodium-calcium exchange with anion exclusion and weathering corrections. *Soil Science Society of America Journal*. (55) 698-706.
- Barbosa, O. A., Álvarez-Rogel, J., Lavado, R. S., & Riscosa, D. A. (2022). La variabilidad de la salinidad y humedad en la génesis de suelos de un humedal. *Ciencia del suelo*, 40(2), 237-256.
- Copa Bobarin, R., & Miranda Casas, R. (2014). Propiedades Hidrofísicas del suelo para implementar sistemas de riego en medio semiárido (Centro Rivera-Altiplano Central Boliviano). *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 1(1), 73-80.
- Feng, W., Jiang, J., Lin, L., & Wang, Y. (2023). Soil calcium prompts organic carbon accumulation after decadal saline-water irrigation in the Taklamakan desert. *Journal of Environmental Management*, 344, 118421.
- Hassani, A., Azapagic, A., & Shokri, N. (2020). Predicting long-term dynamics of soil salinity and sodicity on a global scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(52), 33017-33027.
- INEGI. 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010 Valle de Chalco Solidaridad México
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), (2013). Summary for policymakers. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), *Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge New York (CA, NY), p. 1535.
- Jolly, I. D., McEwan, K. L., and Holland, K. L. (2008). A Review of Groundwater Surface Water Interactions in Arid/semi-Arid Wetlands and the Consequences of Salinity for Wetland Ecology. *Ecohydrol*. 1, 43-58.
- Lara Trevino, C. G. De lago a borde urbano: La subcuenca del lago de Chalco (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco).
- Olle, M., Bender, I. (2009). Causes and control of calcium deficiency disorders in vegetables: A review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 84(6), 577-584.
- Sirault, X. R., James, R. A., Furbank, R. T. (2009). A new screening method for osmotic component of salinity tolerance in cereals using infrared thermography. *Functional Plant Biology*, 36(11), 970-977.
- Santoyo de la Cruz, M. F., Flores-Magdaleno, H., Khalil-Gardezi, A., Mancilla-Villa, Ó. R., & Rubiños-Panta, J. E. (2021). Composición iónica y comparación de índices de salinidad de suelo agrícola de Texcoco, México. *Nova scientia* 13(27).
- Srivastava, P., Kumar, R., (2015). Soil salinity: a serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi J. Biol. Sci.* 22, 123-131.
- Tarolli, P., Luo, J., Park, E., Barcaccia, G., & Masin, R. (2024). Soil salinization in agriculture: Mitigation and adaptation strategies combining nature-based solutions and bioengineering. *Iscience* 27(2).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Yu, P., Liu, S., Xu, Q., Fan, G., Huang, Y., & Zhou, D. (2019). Response of soil nutrients and stoichiometric ratios to short-term land use conversions in a salt-affected region, northeastern China. *Ecological Engineering*, 129, 22-28.



CARBONO ORGÁNICO EN SUELO DE DIFERENTES AGROECOSISTEMAS DE MAÍZ EN CALPAN, PUEBLA

Rosalía Castelán Vega¹; J. Víctor Tamaríz-Flores¹; Paulina Mariaca García² y Marco A. Marín Castro¹

¹Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 14 sur 6301, Colonia San Manuel, CP 72470, Puebla, Puebla, México.

²Posgrado en Ciencias Ambientales, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Ciudad Universitaria, Colonia San Manuel, CP 72470, Puebla, Puebla, México.

Autor para correspondencia: rosalia.castelan@correo.buap.mx

RESUMEN

Las actividades antropogénicas son el principal desencadenador del cambio climático, ocasionan elevadas concentraciones de los llamados gases generadores del efecto invernadero (GEI), como metano, dióxido de carbono, ozono y fluorocarbonados, entre otros. El suelo es el bien común terrestre más relevante para el almacén de carbono, siendo el reservorio de más del 78% a nivel mundial. La capacidad del suelo para secuestrar el carbono orgánico (COS) varía en función de sus propiedades, usos y formas de manejo. Esta investigación tuvo como objetivo principal evaluar la concentración de carbono orgánico del suelo (COS) bajo diferentes formas de cultivo de maíz en el municipio de Calpan, Puebla, México. Los agroecosistemas productivos seleccionados para ser evaluados fueron: monocultivo de maíz, metepantle, milpa y milpa intercalada con árboles frutales. Se estimó la concentración de COS en un relicto de bosque de pino prístino como testigo. Se recolectaron muestras compuestas de en los primeros 30 cm de profundidad en los sistemas productivos, La densidad aparente y el carbono orgánico se evaluaron utilizando los métodos establecidos en la NOM-021-RECNAT-2000. Las concentraciones promedio de COS en el bosque y la milpa fueron de 246 y 214 Mg C ha⁻¹, respectivamente; la milpa intercalada con manzana y la milpa con maguey fueron de 174 y 194 Mg C ha⁻¹, respectivamente. El monocultivo de maíz registró las concentraciones más bajas, de 75 Mg C ha⁻¹. Los sistemas productivos con enfoque agroecológico favorecen la recarbonización del suelo, lo que explica las diferencias en COS.

PALABRAS CLAVE

Suelo; Milpa; Agroecosistemas.

INTRODUCCIÓN

El carbono orgánico es un componente fundamental del suelo, influye en sus propiedades fisicoquímicas determinando su calidad. El suelo es considerado la segunda unidad terrestre de almacén de carbono de este elemento después de los océanos (Bojórquez et al., 2015), jugando un papel importante en la mitigación y eliminación de los denominados gases de efecto invernadero.

Los suelos de origen volcánico, como los de la zona de estudio, dentro de sus las características principales que presentan se encuentra la elevada concentración de

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

carbono orgánico (Kimble et al., 2000), son suelos con alto potencial para almacenar carbono, ya que este elemento se localiza en forma de complejos organominerales y organometálicos, protegiéndolo de la mineralización por la actividad microbiana (Bojórquez et al., 2015).

Los suelos volcánicos en Calpan, son los de mayor abundancia, debido a que se ubican en la región de los volcanes en el valle Puebla-Tlaxcala, México. Tienen un papel importante por los servicios ecosistémicos que aportan, como regular el ciclo hidrológico y preservar la biomasa forestal del Parque Nacional. Además, cumplen una función socio ambiental, al ser el territorio en donde se practica la agrícola por los habitantes de los volcanes, además de que se presentan diversas formas de sistemas agroalimentarios.

El objetivo de este estudio fue estimar el almacén de carbono orgánico del suelo (COS) en suelos con varios sistemas de cultivo de maíz en el municipio de Calpan, Puebla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Calpan se localiza entre los paralelos 19° 03' y 19° 09' de latitud norte y los meridianos 98° 23' y 98° 35' de longitud oeste, tiene una superficie total aproximada de 67 Km² y su orografía es montañosa debido a su ubicación en la Sierra Nevada y el eje neovolcánico transversal (Figura 1). El tipo de suelos que domina es el andosol, aunque también hay arenosoles, cambisoles, feozems y fluvisoles. La vegetación más abundante es el bosque de pino-encino, el cual presenta grandes extensiones deforestadas por la introducción de la actividad agrícola de temporal. Se encuentra en la parte superior de la cuenca del río Atoyac en términos hidrológicos. El clima predominante es templado subhúmedo con lluvias en verano y semifrío subhúmedo con lluvias en invierno. La temperatura media anual es de 12 a 18°C y la precipitación es de 900 a 1100 mm por año (INEGI, 2000).

Metodología

Se establecieron cuatro unidades agrícolas de muestreo, según el método de cultivo: monocultivo de maíz (MM), milpa (maíz-frijol-calabaza) (MI), milpa con agave (MA) y maíz intercalado con frutales (manzana) (MIAF), el bosque de pino conservado (BP), fue muestreado con la finalidad de ser considerado como suelo testigo. En las unidades agrícolas muestreadas se definieron 6 áreas circulares para la toma de muestras compuestas en los primeros 30 cm de profundidad (N=30).

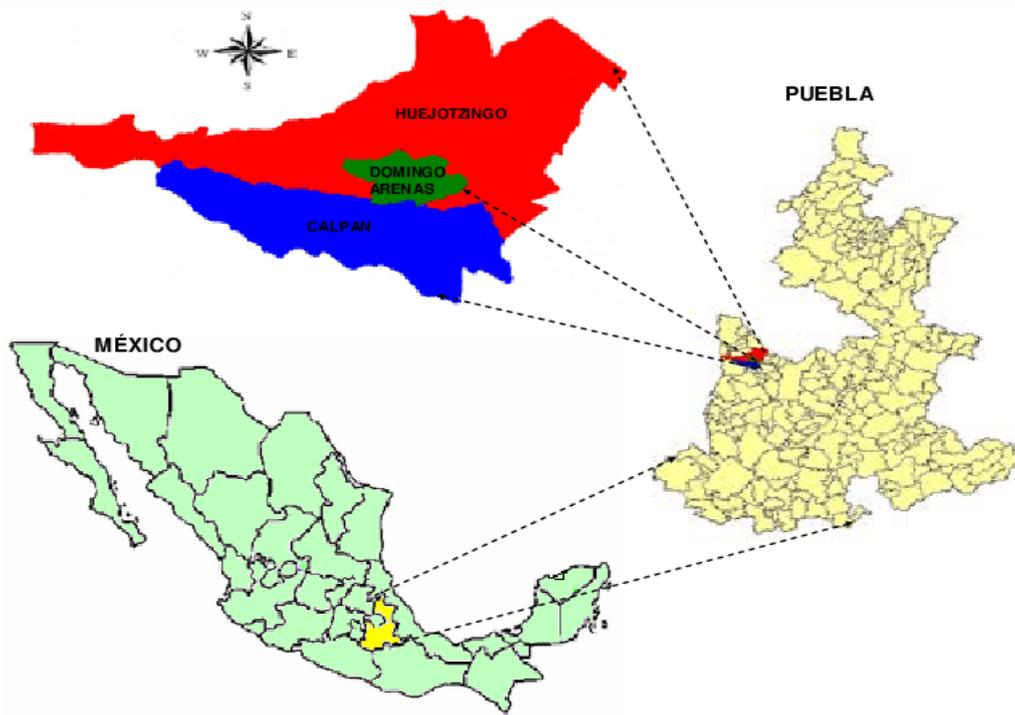


Figura 1. Ubicación del municipio de Calpan, Puebla.

Para estimar la concentración del carbono orgánico del suelo, las muestras se secaron a condiciones ambientales, se tamizaron en una criba con una luz de malla de 0.5 mm. La determinación del carbono orgánico se realizó por el método de Walkley y Black establecido en la NOM-021-RECNAT-2000. Para calcular el carbono orgánico del suelo por unidad de área (MgC ha^{-1}) se utilizó la ecuación 1 (Penman et al., 2003):

$$COS = C * DAP * P * 1 - FG * 10 \quad (1)$$

donde, COS representa el carbono orgánico del suelo expresado por unidad de área (ton/ha) en función del contenido de carbono orgánico C (%), la densidad aparente DAP (Mg m^{-3}), la profundidad del suelo P (m), y el porcentaje de fragmentos gruesos FG ($> 2 \text{ mm}$).

Se consideraron cuatro intervalos de niveles de almacenamiento de carbono orgánico (Vela et al., 2012): Muy Alto ($>150 \text{ Mg ha}^{-1}$), Alto ($100-150 \text{ Mg ha}^{-1}$), Medio ($50-100 \text{ Mg ha}^{-1}$) y Bajo ($<50 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Dado que la estimación del COS requiere una medición precisa de la densidad aparente, se tomó una muestra de suelo en el centro de las áreas circulares de muestreo utilizando el método conocido como cilindro de volumen.

Se utilizó un diseño completamente aleatorio para realizar un análisis de varianza a los valores de COS , considerando los tipos de cultivo como tratamientos. El valor del estadístico de normalidad (Shapiro-Wilk) fue de 0,924, lo que representa un valor inferior a 0,0001. La prueba de rango múltiple (Duncan $\alpha=0,05$) se aplicó a los contenidos medios de carbono (Mg ha^{-1}).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las variables necesarias para calcular el valor del COS se muestran en el Cuadro 1. La densidad aparente del andosol con manejo de sistema milpa es de 0.66 Mg m^{-3} , sin mostrar diferencia significativa con el bosque de pino conservado ($\alpha=0.05$). La densidad aparente del suelo bajo monocultivo de maíz es la más alta (0.95 Mg m^{-3}), lo que indica una diferencia significativa con el resto de los sistemas productivos ($\alpha=0.05$). Sin embargo, no se pueden encontrar problemas de compactación debido a la naturaleza volcánica del suelo. No se encontró una diferencia significativa en la densidad entre los sistemas de milpa intercalada con frutales y milpa con agave ($\alpha=0.05$).

De manera parecida, como en el metepantle, el análisis de fragmentos gruesos en el monocultivo de maíz es significativamente diferente a los demás sistemas ($\alpha=0.05$). El MIAF (26.32), la milpa (27.02 %) y el bosque de pino (26.72 %) no muestran diferencias significativas.

Se encontraron diferencias significativas ($\alpha=0.05$) en los contenidos de COS entre los diferentes sistemas de cultivo evaluados.

Los suelos con bosques de pino tienen los contenidos de COS más altos (226 MgC ha^{-1}). Según Vela et al. (2012), esto se considera muy alto. La presencia de *Pinus teocote* en estado primario en esta región es predominante y no ha sido alterada debido a que se encuentra en la zona de influencia del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl y el clima templado ha facilitado la descomposición de la materia orgánica. Sin embargo, las concentraciones registradas son menores a las encontradas por Galicia et al. en 2016, quienes encontraron concentraciones promedio de C para andosoles bajo bosques templados de 310 Mg ha^{-1} .

La condición del suelo del sistema milpa registra concentraciones de COS (234 MgC ha^{-1}). Esto se debe a que en este sistema ancestral se utilizan abonos orgánicos en lugar de deshierbes, lo que permite un aporte constante de materia orgánica. Además, la pendiente de la parcela no supera el 5%, por lo que la protección que brindan las calabazas es suficiente para que no haya falta de materia orgánica. Los resultados para este sistema productivo no mostraron diferencias estadísticas significativas con el bosque de pino ($\alpha=0.05$).

Los suelos con agroecosistema de milpa intercalada con frutales y de metepantle presentaron concentraciones estadísticamente similares ($\alpha=0.05$), 198 MgC ha^{-1} ; son consideradas como muy altas (Roncal-García et al., 2008).

El agroecosistema de monocultivo de maíz presentó concentraciones inferiores de COS (77 MgC ha^{-1}) ($\alpha=0.05$). La variación en la concentración en comparación con los otros agroecosistemas fue significativa, ya que en esta forma de siembra se elimina todo aporte de materia orgánica al suelo, emplean atrazina para eliminar los arvenses y se utilizan fertilizantes inorgánicos sin dosificación. A esto se suma que la parcela no ha tenido periodos de descanso ni rotación de cultivos, por lo que los efectos se reflejan en la modificación de las propiedades del suelo.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

CONCLUSIONES

Los hallazgos de este estudio indican que el agroecosistema de milpa fue el que presentó la mayor concentración de COS, con concentraciones muy parecidas a los del bosque de pino. El agroecosistema con las concentraciones más bajas fue el monocultivo de maíz; sin embargo, pese a esto con valores altos, debido a la naturaleza volcánica del suelo desarrollado en la zona de estudio. Los agroecosistemas con un manejo agroecológico registraron las concentraciones más altas de carbono orgánico del suelo. Es crucial intentar modificar la perspectiva agrícola centrada en las formas en que se manejan los sistemas productivos, con el fin de fomentar la diversificación de la alimentación, recuperar la fertilidad de los suelos y ayudar a reducir el impacto del cambio climático mediante el uso de técnicas que promuevan la recarbonización del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bojórquez, S. J. I., Castillo, P. L. A., Hernández, J. A., García, P. J. D. y Madueño, M. A. (2015). Cambios en las reservas de Carbono orgánico de suelo bajo diferentes coberturas. *Cultivos Tropicales* 36 (4), 63 - 69.
- Galicia, L., A. M. Gamboa Cáceres, S. Cram, B. Chávez Vergara, V. Peña Ramírez, V. Saynes y C. Siebe. 2016. Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. *Terra Latinoamericana* 34: 1-29.
- INEGI. 2010. Compendio de información Geográfica Municipal 2010 Tlahuapan, Puebla. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- John, B., Yamashita, T., Ludwig, B., and Flessa, H. 2005. Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silky soils under different types of land use. *Geoderma* 128, 63-79. doi: 10.1016/j.geoderma.2004.12.013
- Llorente, M. 2004. Caracterización física y química de vertisoles del noreste de México sometidos a distintas formas de manejo. Tesis Maestría en Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, NL., México. 98 p.
- Márquez, R. C., Cuevas. C. J. C., Ávalos. C. C. 2009. Ordenamiento territorial comunitario en la zona de Influencia del Parque Nacional Iztaccíhuatl - Popocatepetl. En: Monterroso. R. A. I. (Ed). *Manejo de Recursos Naturales en México: Nuevos enfoques para su gestión integral*. Pp. 179 - 188. 1 Ed. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Norma Oficial Mexicana NOM - 021 - RECNAT - 2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. 2002. Diario Oficial.
- Penman, J., Gytarsky, M. Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Wagner, F. 2003. *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*. Kanagawa, Japan: Intergovernmental Panel on Climate Change, Institute for Global Environment Strategies. Obtenido de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Roncal-García, Sandra, Soto-Pinto, Lorena, Castellanos-Albores, Jorge, Ramírez-Marcial, Neptalí, & de Jong, Bernardus. (2008). Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de chiapas, México. *Interciencia*, 33(3), 200-206.

Vela, G., J. López y M. Rodríguez. 2012. Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México. *Boletín*



DINÁMICA DE NITRÓGENO EN SUELOS EN RELACIÓN CON LA FLORACIÓN DE OLIVARES EN TULYEHUALCO, CDMX

Lisete Sofía Marzano Martínez¹; Ofelia Beltrán Paz²;
Gerardo Martínez Jardines²; Bruno Chávez Vergara²

¹Licenciatura en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, UNAM. ¹Avenida Universidad, No. 3000, UNAM CU, Coyoacán, Ciudad de México, México, C.P. 04510

²Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía (LANGEM). Instituto de Geología, UNAM. Avenida Universidad, No. 3000, UNAM CU, Coyoacán, Ciudad de México, México, C.P. 04510
314139337@ciencias.unam.mx

RESUMEN

La agricultura periurbana ofrece servicios ecosistémicos como suministro de alimentos, captación de agua, captura de carbono y reciclaje de nutrientes, incluido el nitrógeno, esencial en la floración y fructificación de olivares. Este estudio busca relacionar la dinámica del nitrógeno con la floración de dos variedades de olivo (*Olea europaea L.*) en un agroecosistema periurbano en el sur de la Ciudad de México. Se seleccionó una parcela en Tulyehualco, Xochimilco, con las variedades Arbequina y Picudo. Se muestrearon aleatoriamente nueve árboles de cada variedad, con y sin flor. Se recolectaron muestras de suelo a 15 cm de profundidad y muestras foliares de ramas expuestas al sol. Se analizó la masa de área foliar (MAF), contenido de carbono, nitrógeno y cocientes estequiométricos en hojas. En el suelo, se determinaron pH, nutrientes totales, nitrógeno disponible, actividad enzimática, mineralización potencial de carbono, nutrientes en biomasa microbiana, amonificación y nitrificación. Los resultados mostraron diferencias entre variedades en MAF, carbono, nitrógeno foliar y cocientes, con valores mayores en Arbequina. La concentración de nutrientes en suelo no varió significativamente, pero la mineralización potencial de carbono, inmovilización de C, actividad de leucina aminopeptidasa y deshidrogenasa fueron diferentes significativamente entre variedades, siendo mayores para Arbequina. Los resultados sugieren que la floración de estos individuos no está relacionada con la dinámica de nitrógeno, hay un mayor efecto en la dinámica de nutrientes ejercido por las variedades de olivo y la composición de los residuos foliares influye en la concentración de nutrientes en suelo.

PALABRAS CLAVE

Agricultura periurbana; Nutrientes; Variedad de olivos.

INTRODUCCIÓN

La agricultura periurbana es la práctica de cultivos agrícolas dentro de las zonas de transición de áreas urbanas y la franja rural (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2019), en la Ciudad de México podemos encontrarla en las alcaldías de Tlalpan, Milpa Alta, Magdalena Conteras, Tláhuac y Xochimilco.

La agricultura periurbana proporciona servicios ecosistémicos, como suministro de alimentos, captación de agua, captura de carbono y reciclaje de nutrientes, siendo el

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

nitrógeno (N) uno de los más importantes. El N es un macroelemento que forma parte esencial en el proceso de fotosíntesis, las proteínas y ácidos nucleicos en la célula. Las plantas necesitan especialmente más nitrógeno durante la floración y la producción del fruto, ya que estas actividades consumen la mitad de este nutriente (Gencer, 2019). Por lo que el conocimiento de la fenología de un agroecosistema promueve un manejo adecuado y la obtención de mejores rendimientos.

Una de las prácticas de agricultura periurbana que encontramos en la Ciudad de México es la de cultivo de olivo (*Olea europaea*), tiene una gran importancia cultural en el pueblo de Santiago Tulyehualco, Xochimilco y es considerado una región productora tradicional de aceituna.

Sin embargo, estas zonas no han sido ampliamente caracterizadas en términos de la dinámica de nitrógeno relacionada con esta práctica, por lo que es importante realizar investigaciones que puedan aportar información útil para mejorar su productividad en el futuro.

El presente trabajo tiene como objetivo relacionar la dinámica del nitrógeno asociados a dos variedades de olivo en diferentes etapas fenológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio está ubicada en la Ciudad de México al sureste de la alcaldía Xochimilco, en la zona cerril del pueblo Santiago de Tulyehualco, presenta un tipo suelo Antrosol ándico, con formación de carbonatos pedogenicos. La parcela de olivos abarca un área de 7 614 m², con diez variedades diferentes de olivos. El régimen de fertilización que se lleva a cabo es la aplicación de estiércol en primavera y boro a principios de año de forma foliar; se emplea una técnica de riego por goteo.

Se realizó un muestreo dirigido de dos variedades de olivo, *Picudo* (*Olea europaea* L. cv. *Picudo*) y *Arbequina* (*Olea europaea* L. cv. *Arbequina*), de hojas vivas y suelo, se muestrearon un total de nueve árboles para cada variedad y característica de floración (con flor y sin flor). Para la toma de muestras de suelo por individuo se proyectó la copa del árbol y se tomó una muestra en cada punto cardinal con ayuda de una barrena holandesa. Se cortaron 30 hojas por la parte del peciolo por cada individuo, que estuvieran expuestas al sol, todas las muestras fueron rotuladas con variedad, característica, sitio y fecha.

A las muestras foliares de les determinó:

Masa de área foliar (MAF). Se determinó el área foliar con peciolo de 30 hojas vivas por cada individuo. El área de las hojas se obtuvo escaneando el haz de las hojas, posteriormente las muestras fueron secadas en el horno a 70 °C por 72 hrs y pesadas al salir del horno.

Contenido de carbono total (Ct), nitrógeno total (Nt). Se secaron las muestras foliares a 105°C por 72 h, después se molieron y se determinó la concentración de carbono total en el Analizador de Carbono Total. La concentración de Nt se obtuvo después de una digestión ácida colorimétricamente en un autoanalizador por medio del método de semi-Kjeldahl (Jackson, 1982). Para obtener el contenido de nutrientes en hojas vivas se multiplicó la MAF por la concentración de Ct y Nt.

A las muestras de suelo se les determinó:

pH. Se realizó la medición con un potenciómetro mientras las muestras se mantenían en agitación con un agitador magnético.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Ct y Nt. Se secaron las muestras de suelo a 105°C por 72 h, después se molieron en un molino de esferas, y se determinó el carbono total con un Analizador de Carbono Total. El nitrógeno se obtuvo en un autoanalizador después de una digestión ácida por medio del método de semi-Kjeldahl.

Actividad enzimática. Se determinó la actividad de β -1,4-glucosidasa (BG), leucina aminopeptidasa (LN), polifenol oxidasa (POX) de acuerdo al método propuesto por Chávez-Vergara *et al.*, (2014) y la Deshidrogenasa (DH) se determinó de acuerdo al método descrito por Alef y Nannipieri (1995).

Tasa de mineralización potencial de C. Se incubaron 20g de suelo en un tubo de PVC a 25 °C por 48 horas, junto con un vial de NaOH 0.5N. Después de la incubación, se tituló con ácido clorhídrico (HCl). Al final, se recuperaron las muestras de suelo para determinar los niveles de amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) disponibles después de incubación.

NH_4^+ y NO_3^- disponibles. La concentración de NH_4^+ y NO_3^- disponibles en suelo fresco y en suelo después de la incubación se obtuvieron mediante la extracción con cloruro de potasio (KCl) y fue determinado por colorimetría por el método de fenol-hipoclorito en un autoanalizador.

Carbono y nitrógeno microbiano: Se llevaron a cabo según el método de Vance *et al.*, (1987), con dos tratamientos, fumigado (F) y no fumigado (NF), ambos tratamientos se incubaron durante 24 horas a 25°C y después se realizó una extracción con K_2SO_4 . El Cmic se determinó con un Analizador de Carbono Total y el Nmic con el método de semi-Kjeldahl.

Amonificación y nitrificación. La amonificación se determinó con la resta de la concentración de NH_4^+ en muestras frescas y la concentración de NH_4^+ en muestras después de la incubación. La nitrificación con de la resta de la concentración de NO_3^- en muestras frescas y la concentración de NO_3^- en las muestras después de la incubación.

A cada variable de análisis se le aplicó una ANOVA factorial para determinar diferencias significativas entre tratamientos, con un nivel de significancia (α) 0.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La masa de área foliar (MAF), el contenido de Ct y Nt y la relación estequiométrica Ct:Nt en hojas mostró diferencias significativas entre las variedades, con valores mayores en Arbequina. Este aumento en la MAF podría deberse a una mayor inversión de nutrientes, sobre todo carbono en el tejido estructural de las hojas (De la Riva *et al.*, 2009), lo que podría ayudar a la variedad Arbequina a resistir mejor las heladas o sequías, debido a que esta variedad tiene una mayor MAF el contenido de nutrientes por superficie foliar también aumenta.

El pH del suelo mostró diferencias significativas entre variedades, Arbequina con un pH neutro y el de Picudo fue más ácido. Esta diferencia podría deberse a variaciones en la transformación de nutrientes, lo que en Picudo genera compuestos que acidifican el suelo (Bolan *et al.*, 2005).

Las concentraciones de Ct y Nt en suelo no presentaron diferencias significativas, probablemente porque ambas variedades están bajo el mismo tipo de manejo agrícola. La relación Ct:Nt en los suelos no mostró diferencias significativas, sin embargo

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Arbequina tendía a tener un valor mayor, posiblemente por el mayor aporte de nutrientes por parte de las hojas.

Aunque no se presentaron diferencias para la actividad enzimática de BG y POX se observó que la variedad de Arbequina tuvo valores menores a Picudo, mientras que en LN Arbequina tuvo valores mayores. En Arbequina, una relación Ct:Nt más alta impulsa a los microorganismos a producir más enzima LN para adquirir nitrógeno. En Picudo, una relación Ct:Nt más baja lleva a los microorganismos a generar más enzimas POX y BG para obtener carbono (Liu *et al.*, 2022).

Las diferencias significativas entre variedades en la mineralización potencial de carbono y en la actividad de DH, con valores mayores en Arbequina, lo que sugiere una comunidad microbiana más grande y activa en comparación con Picudo (Moebius *et al.*, 2016).

Las diferencias significativas en Cmic entre variedades sugieren que, en Arbequina, los microorganismos procesan más fuentes de carbono, resultando en una mayor inmovilización, mientras que Picudo presenta valores más altos de Nmic, debido a que el mayor contenido de nitrógeno. Las diferencias significativas entre variedades en Cmic:Nmic sugiere una posible dominancia de hongos en Arbequina mientras que en Picudo indican una dominancia de bacterias (Evangelou *et al.*, 2020)

Se presentó una tendencia a mayor amonificación en el suelo de Arbequina, posiblemente por la dominancia de hongos asociado con una mayor concentración de amonio y nitrato. En Picudo, los niveles más altos de nitrificación se relacionan una posible dominancia bacteriana.

CONCLUSIONES

A pesar de que el nitrógeno es un nutriente esencial para la floración y fructificación de los olivares los resultados sugieren que, en este caso, la característica de floración no está relacionada con la dinámica de nitrógeno.

Cada variedad tiene requerimientos y un diferente ciclo de nutrientes en suelo.

Aunque la concentración total de nitrógeno no muestra diferencias significativas, se observan variaciones en su transformación, lo que sugiere estrategias diferentes de uso del nitrógeno entre las variedades.

Las variedades de olivo tienen un mayor impacto en la dinámica de nutrientes que la característica de floración, lo cual se reflejan en aspectos como MAF, nutrientes foliares, actividad enzimática, mineralización potencial de carbono y carbono microbiano.

AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Biogeoquímica y Materia Orgánica del suelo (IGL, UNAM). Al Laboratorio de Biogeoquímica de suelos (IIES, UNAM).

BIBLIOGRAFÍA

- Alef, K., y Nannipieri, P. (1995). Methods in applied soil microbiology and biochemistry (pp. 228-231). Academic Press.
- Bolan, N., Curtin, D., & Adriano, D. (2005). Acidity. En Elsevier eBooks (pp. 11-17). <https://doi.org/10.1016/b0-12-348530-4/00173-9>
- Chávez, B. (2010) Efecto de dos especies del género Quercus sobre la dinámica de C, N y P en un fragmento forestal de la Cuenca de Cuitzeo, Michoacán. UNAM
- De La Riva, E. G., Olmo, M., Poorter, H., Ubera, J., & Villar, R. (2016). Leaf Mass per area (LMA) and its relationship with leaf structure and anatomy in 34 Mediterranean woody species along a water availability gradient. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148788>
- Evangelou, E., Tsadilas, C., y Giourga, C. (2020). Seasonal variation of soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by land use in a Mediterranean agro ecosystem. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 52(3), 222-234. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1854298>
- Gencer, C. D., Okatan, V., y Korkmaz, N. (2020). Olive growing and importance of plant nutrition in olive cultivars. Turkish Journal of Food and Agriculture Sciences. <https://doi.org/10.14744/turkjfas.2019.007>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2019, 16 octubre). Agricultura urbana. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/imta/articulos/agricultura-urbana>
- Jackson, M. (1982). Análisis químico de suelos. Omega, 662 pp.
- Liu, M., Gan, B., Li, Q., Xiao, W., y Song, X. (2022). Effects of nitrogen and phosphorus addition on soil extracellular enzyme activity and stoichiometry in Chinese FIR (*Cunninghamia lanceolata*) forests. Frontiers in Plant Science, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.834184>
- Moebius, C. B., Moebius, C. D., Gugino, B., Idowu, O., Schindelbeck, R. (2016) Comprehensive Assessment of Soil Health - The Cornell Framework. Universidad de Cornell. Nueva York, EE. UU. 123 p.
- Robertson, P, D. Coleman, C. Bledsoe y P. Sollins. (1999). Standard soil methods for long-term ecological research (LTER). University Press, Oxford, New York (pp. 258-271).
- Vance, E., P. Brookes, D. Jenkinson. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biology and Biochemistry 19 (6):703-707.

ACIDEZ DE SUELO: CLASIFICACIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE ALTO PARANÁ

Micaela María Villanueva Ocampos¹; Patricia Rojas Nerhot¹; Crispín Paredes^{1*}; Lucía Simeona Ríos Valiente¹

¹ Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional del Este, 7420, Minga Guazú - Paraguay, crispinprds@gmail.com*

RESUMEN

El manejo del suelo es esencial para los agricultores para potenciar la productividad de los cultivos, por tanto, es fundamental generar continuamente información sobre las propiedades del suelo especialmente sobre el pH, el cual es la dinámica del H⁺ en el suelo, crucial para la disponibilidad de nutrientes. En este contexto el objetivo de este trabajo fue clasificar los niveles de pH en Agua (H₂O) en los diferentes distritos del Departamento de Alto Paraná - Paraguay, los resultados provinieron de los archivos de la base de datos del laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional del Este (FIA-UNE), la metodología utilizada para la determinación del potencial de hidrogeno en agua fue la relación 1:2,5 para posteriormente clasificarlos en distintos niveles. Los datos arrojaron niveles de pH en H₂O clasificados como "muy baja" en un 2%, "baja" en un 5%, "media" en un 20%, "alta" en un 46% y "muy alta" en un 20%. Los suelos de los distritos de Alto Paraná en general fueron clasificados con acidez alta.

PALABRAS CLAVE

Propiedades, Manejo de suelo, pH, Productividad.

INTRODUCCIÓN

El pH es un parámetro químico crucial que afecta la disponibilidad de nutrientes, permitiendo diagnosticar posibles problemas nutricionales en las plantas, según Riveras, Sánchez y Domínguez (2018). Los suelos con un pH inferior a 7 se consideran ácidos, una característica común en regiones tropicales húmedas (Osorio, 2012). El manejo del suelo, aunque una práctica reciente a nivel local, es esencial para los agricultores porque ayuda a mantener una alta productividad. Por lo tanto, es fundamental generar continuamente información sobre las propiedades del suelo, especialmente el pH. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue clasificar los niveles de pH en los distritos del Departamento de Alto Paraná- Paraguay, basándose en una base de datos de suelo recopilados durante los últimos seis años.

METODOLOGÍA

La clasificación de los niveles de pH en H₂O fue realizada a partir de la sistematización de resultados de análisis de suelos procesadas entre los años 2018 a 2024, donde se analizaron en total 1199 muestras, la metodología utilizada para la determinación del potencial de hidrogeno en agua fue la relación 1:2,5 según Teixeira *et al.*, 2017. Los resultados de análisis de suelo provinieron de los archivos de la base

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

de datos del laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional del Este (FIA-UNE), ubicada en el distrito de Minga Guazú, Departamento de Alto Paraná.

La clasificación de los niveles de acidez del suelo se realizó en base a la clasificación propuesta por Emater - PR y Rajj *et al.* citados por Lana *et al.*, 2010 según ilustrado en el Cuadro 1.

Para la realización del mapa se utilizó como unidades cartográficas los mapas con la división política a nivel Alto Paraná, tanto departamental como distrital. Los resultados de la clasificación de los niveles de pH H₂O fueron introducidos en el software QGIS versión 2.18, con la generación del mapa correspondiente, para luego realizar la clasificación

Cuadro 1. Interpretación de resultado de los niveles de acidez en el suelo.

Clasificación de acidez	pH en H ₂ O
Muy alta	< 5,0
Alta	5,1 - 5,6
Media	5,7 - 6,1
Baja	6,2 - 6,6
Muy baja	>6,6

Fuente: Emater PR citado por Lana *et al.*, 2010

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos analizados provienen de 1199 muestras de suelo recolectadas de varios municipios del Departamento de Alto Paraná, que cuenta con un total de 22 distritos. De estos, 18 fueron objeto de análisis de sus niveles de pH en H₂O por el Laboratorio de Análisis de Suelo de la FIA-UNE durante el período de 2018 a 2024. Cuatro distritos no fueron clasificados debido a la falta de datos, lo que representa el 18% del total de la población estudiada. La mayoría de las muestras clasificadas provienen del distrito de Minga Guazú, que constituyó el 69.9% de estas muestras, como se detalla en el Cuadro 2

Las muestras arrojaron niveles de pH en H₂O clasificados como "muy baja" en un 2%, "baja" en un 5%, "media" en un 20%, "alta" en un 46% y "muy alta" en un 20% (Cuadro 2). Por tanto, se tiene una predominancia de acidez alta, lo que se podría decir que sería por la influencia de las condiciones climáticas de la región, que presenta alta precipitación, y por el uso agrícola continuo de los suelos, donde las prácticas frecuentes como la extracción de nutrientes por los cultivos son comunes. Esto coincide con lo mencionado por Fatecha *et al.*, (1998), quienes señalan que la alta precipitación es la principal causa de la acidificación del suelo, facilitando la lixiviación de bases intercambiables. También mencionan factores humanos, como las cosechas continuas,

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

la mecanización excesiva, el uso excesivo de fertilizantes amoniacales y la falta de correctivos y enmiendas orgánicas.

Cuadro 2. Muestras analizadas por distritos, promedios de pH H₂O, mediana y porcentual de muestras de pH H₂O clasificadas en “muy baja”, “baja”, “media”, “alto” y “muy alto”, en el departamento de Alto Paraná, periodo 2018 -2024

Distritos	Total, de muestras	Promedio	Mediana	Nivel de acidez				
				MA	A	M	B	MB
				%				
Ciudad del Este	93	5,4	5,1	40	29	13	11	8
Domingo	-	-	-	-	-	-	-	-
Martínez de Irala	-	-	-	-	-	-	-	-
Dr. Juan León	5	5,6	5,9	60	0	20	20	0
Mallorquín	-	-	-	-	-	-	-	-
Dr. Raul Peña	-	-	-	-	-	-	-	-
Hernandarias	18	5,3	5,4	17	56	28	0	0
Iruña	-	-	-	-	-	-	-	-
Itakyry	84	5,4	5,4	27	51	14	5	2
Juan Emilio O'Leary	9	5,7	5,5	22	44	33	0	11
Los Cedrales	3	5,6	5,4	0	67	0	0	33
Mbaracayú	3	5,4	5,4		33	33	0	0
Mínga Guazú	839	5,4	5,4	27	49	20	3	1
Mínga Porá	33	5,3	5,3	36	45	18	0	0
Ñacunday	23	5,1	5,1	35	61	4	0	0
Naranjal	12	5,1	5,1	50	33	8	8	0
Presidente Franco	45	6,1	6,1	8	13	33	33	13
San Alberto	4	5,4	5,6	25	25	50	0	0
San Cristóbal	2	5,2	5,2	0	100	0	0	0
Santa Fé del Paraná	3	4,8	4,7	100	0	0	0	0
Santa Rita	6	6,1	6,1	0	17	49	17	17
Santa Rosa del Monday	-	-	-	-	-	-	-	-
Tavapy	13	5,2	5,2	38	54	8	0	0
Yguazú	4	5,2	5,2	25	75	0	0	0
Alto Paraná	1199	5,4	5,4	28	46	20	5	2

Fuente: Laboratorio de Suelo – Facultad de Ingeniería Agronómica - UNE, 2024

*----- sin datos de análisis de suelo

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Valores altos de acidez de suelo con un pH en H₂O 5,1 - 5,6 fueron Hernandarias, Itakyry, Juan E. O'Leary, Los Cedrales, Mbaracayú, Minga Guazú, Minga Porá, Ñacunday, San Crsitobal, Tavapy e Yguazú, lo que coincide con Bataglia (2011) determinó que, en el departamento de Alto Paraná, el 84% de los suelos tienen un pH en agua inferior a 6,0. Y muy alta los distritos de Ciudad del este, Dr. Juan León Mallorquín, Naranjal, Presidente Franco y Santa Fe de Paraná con pH en H₂O inferiores a 5, lo que varía del mapa de diagnóstico de la acidez de los suelos de la región oriental del Paraguay, que clasifica a estos suelos con valores de pH de 5 a 6, por el contrario.

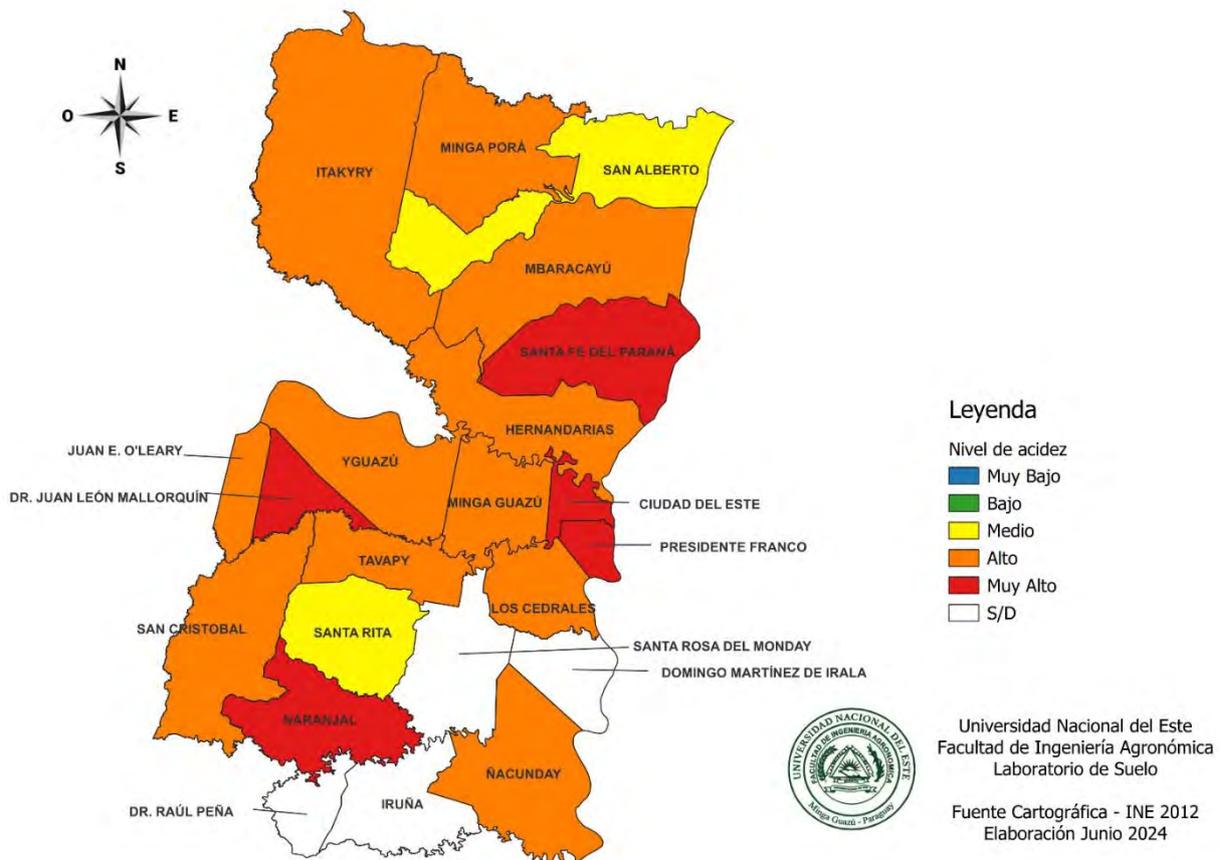


Figura 1. Clasificación del nivel de acidez de distritos del departamento de Alto Paraná

Fuente: Cartográfica DGEEC, 2012 - elaboración propia (2024)

CONCLUSIÓN

Los suelos de los distritos de Alto Paraná en general fueron clasificados con acidez alta.

BIBLIOGRAFÍA

- Bataglia, v. 2011. Clasificación de los niveles de acidez activa (ph) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la región oriental del paraguay. Tesis (grado). Facultad de ciencias agrarias, universidad nacional de asunción. San lorenzo-paraguay.
- Fatecha acosta, a.; lópez portillo, j. 1998. Uso de la cal agrícola en el paraguay. Caacupé, ministerio de agricultura y ganadería e itaipú binacional. 27 p. (boletín de divulgación n° 38).
- Lana *et al.* 2010. Análise química de solo e tecido vegetal: práticas de laboratorio. Organizaçao de maria o carmo lana. Cascavel: edunioeste. 130p.
- López g., o.; gonzález, e.; de llamas., p.; molinas, a.; franco s.; garcía, s.; ríos, e. 1995. Estudio de reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la región oriental del paraguay. Proyecto de racionalización del uso de la tierra ssernma/mag/banco mundial. Asunción, paraguay.
- Manual de métodos de análise do solo. Paulo cesar teixeria et al., editores técnicos. 3ed. Ver. E ampl. - brasilia, df: embrapa, 2017. 574p.:il, color
- Osorio, n. W. 2012. Ph del suelo y disponibilidad de nutrientes. Manejo integral del suelo y nutrición vegetal, vol. 1 no. 4. Recuperado de <https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/ph-del-suelo-y-nutrientes.pdf>
- Riveras, e.; sánchez, m. Y domínguez, h. 2018. Ph como factor de crecimiento en plantas. Vol. 4 (2018): revista de iniciación científica - edición especial n°2. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.0.1829>

EFFECTO DE LOS ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS SOBRE LA GERMINACIÓN DE GIRASOL ENANO (*Helianthus annuus*)

Diana Sharenit Guzman Lara¹; Argelia López Bonilla²; Daniel Tapia Maruri²; Edith Montes Hernandez¹

Tecnológico Nacional de México. Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca, 56580, Ixtapaluca, México.¹
CEPROBI-IPN, Departamento de Biotecnología, Laboratorio de Microscopía Avanzada, Yauatepec de Zaragoza, Morelos, México²
edith.mh@ixtapaluca.tecnm.mx

RESUMEN

Esta investigación analizó el efecto de los ácidos húmicos y fúlvicos, extraídos de estiércol y leonardita, sobre la germinación de semillas de girasol enano (*Helianthus annuus*). Los ácidos se extrajeron utilizando dos métodos diferentes (NaOH a varias concentraciones y NaOH junto con HCl). La caracterización de los ácidos se realizó mediante microscopía electrónica de barrido ambiental (ESEM), análisis de dispersión por rayos X (EDX) y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier. Las técnicas permitieron determinar la estructura, la composición elemental y los grupos funcionales de los ácidos. Se efectuó un ensayo de germinación con diez tratamientos distintos usando los ácidos obtenidos. Se realizó un análisis estadístico no paramétrico de Kruskal-Wallis y pruebas post hoc de Tukey para evaluar diferencias significativas en la germinación.

PALABRAS CLAVE

Húmicos; Fúlvicos; Caracterización; Germinación; Materia orgánica.

INTRODUCCIÓN

Los ácidos húmicos y fúlvicos juegan un papel crucial en la agricultura al mejorar la fertilidad del suelo y promover el crecimiento de cultivos. Los ácidos húmicos y fúlvicos actúan como quelantes, mejoran la retención de agua y estimulan la actividad microbiana. En este estudio, se investigó cómo los ácidos derivados de estiércol influyen en la germinación del girasol enano. La aplicación de estiércol en el suelo proporciona beneficios directos, como la mejora en la retención de agua y la disponibilidad de nutrientes, que son cruciales para cultivos como el girasol enano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la extracción de los ácidos húmicos y fúlvicos se utilizó estiércol que fue recolectado de un establo de vacas en Tepetlixpa, Estado de México. Se secó por 21 días, siendo volteado periódicamente para asegurar un secado uniforme. Posteriormente, se trituró y tamizó para su uso. Se realizaron dos métodos de Extracción de los ácidos húmicos y fúlvicos, para el método con NaOH: A 10 g de estiércol se adicionaron soluciones de NaOH con concentraciones de 0.1 M, 0.5 M y 1.0 M. Las mezclas se calentaron a 110 °C durante 2 horas, se centrifugaron a 4000 rpm

por 35 minutos y se separaron en sobrenadante y precipitado. En el método con NaOH y HCl: En 1 g de estiércol se adicionó NaOH 0.5 M, se centrifugó y se ajustó pH con HCl, el precipitado se disolvió con NaOH para obtener los ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF).

Se realizó la caracterización de los ácidos mediante. ESEM: Se analizaron las muestras con un microscopio electrónico de barrido ambiental (Zeiss, EVO LS10) a 30 kV y una presión de vapor de agua de 120 Pa. Las imágenes se capturaron en formato TIFF. EDX: Se realizó un análisis de dispersión de rayos X con un detector Bruker Quantax 200 acoplado al microscopio mencionado. Se capturó la energía dispersiva de los elementos químicos para determinar su composición. FTIR: La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier se utilizó para identificar grupos funcionales en los ácidos. Se analizaron muestras sólidas y líquidas a una frecuencia de 500-4000 cm^{-1} .

Para la realización del modelo Experimental para germinación de Semillas se utilizaron semillas de girasol enano, sumergidas en agua destilada por 24 horas. Se prepararon 7 tratamientos, con ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y un control con agua destilada. Las semillas se colocaron en cajas Petri con soluciones de los ácidos y se monitorizaron hasta la germinación de la radícula.

Se realizó un análisis estadístico en el cual se realizó una prueba de normalidad, que resultó negativa ($P < 0.050$), indicando que los datos no seguían una distribución normal. Se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparar medianas entre grupos. Se realizaron pruebas post hoc de Tukey para identificar diferencias significativas entre pares de grupos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis del Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental

Como se puede observar en la figura 1 A) los ácidos húmicos extraídos con NaOH 0.5M y HCl 6M mostro una muestra rugosa y desigual, con una estructura amorfa o poco cristalina. Los ácidos húmicos extraídos con NaOH 1M que se observan en la figura 1B) revelaron una estructura tridimensional compleja y altamente irregular, parecida a un terreno accidentado. Así mismo los ácidos fúlvicos extraídos con NaOH 0.1M mostraron estructuras predominantemente esféricas, con una superficie altamente porosa como se logra visualizar en la figura 1C). Como se puede observar en la figura 1 D) los ácidos fúlvicos extraídos con NaOH 0.5M presentaron una estructura con un tronco central y múltiples ramificaciones, creando una red densa y compleja con un patrón dendrítico.

Los resultados obtenidos de la microscopía electrónica de barrido ambiental muestran una variedad de morfologías entre los ácidos húmicos y fúlvicos. Las diferencias observadas en comparación con los estudios de López Valdez et al. (2018) pueden atribuirse a variaciones en el origen de las muestras, el método de extracción y las condiciones experimentales. Sin embargo, tanto los ácidos húmicos como los fúlvicos presentan características comunes, como superficies rugosas y porosas, lo que indica similitudes en su capacidad de adsorción e interacción con otros componentes del suelo.

Análisis de Dispersión por Rayos X

Los ácidos húmicos extraídos con NaOH 0.5M y HCl 6M mostró una composición dominada por carbono (56.15%) y oxígeno (20.57%), con la presencia de otros elementos como cloro, potasio, sodio, fósforo y azufre como se logra observar en la figura 2 A). En la figura 2 B) se logran observar los ácidos húmicos extraídos con NaOH 1M revelo una composición elemental diversa, con predominio de carbono (33.37%) y oxígeno (45.99%). La presencia de elementos como silicio, cloro, potasio, calcio, magnesio y azufre

Los ácidos fúlvicos extraídos con NaOH 0.1M mostraron una composición elemental diversa con predominio de hierro (Fe) y cobre (Cu), además de cloro, potasio, sodio, silicio, fósforo y azufre, como se logra observar en la figura 2 C).

Los ácidos fúlvicos extraídos con NaOH 0.5M revelo una composición dominada por cobre (Cu) y tántalo (Ta), con presencia de elementos como cloro, azufre, silicio, fósforo, sodio y hierro, como se observa en la figura 2 D).

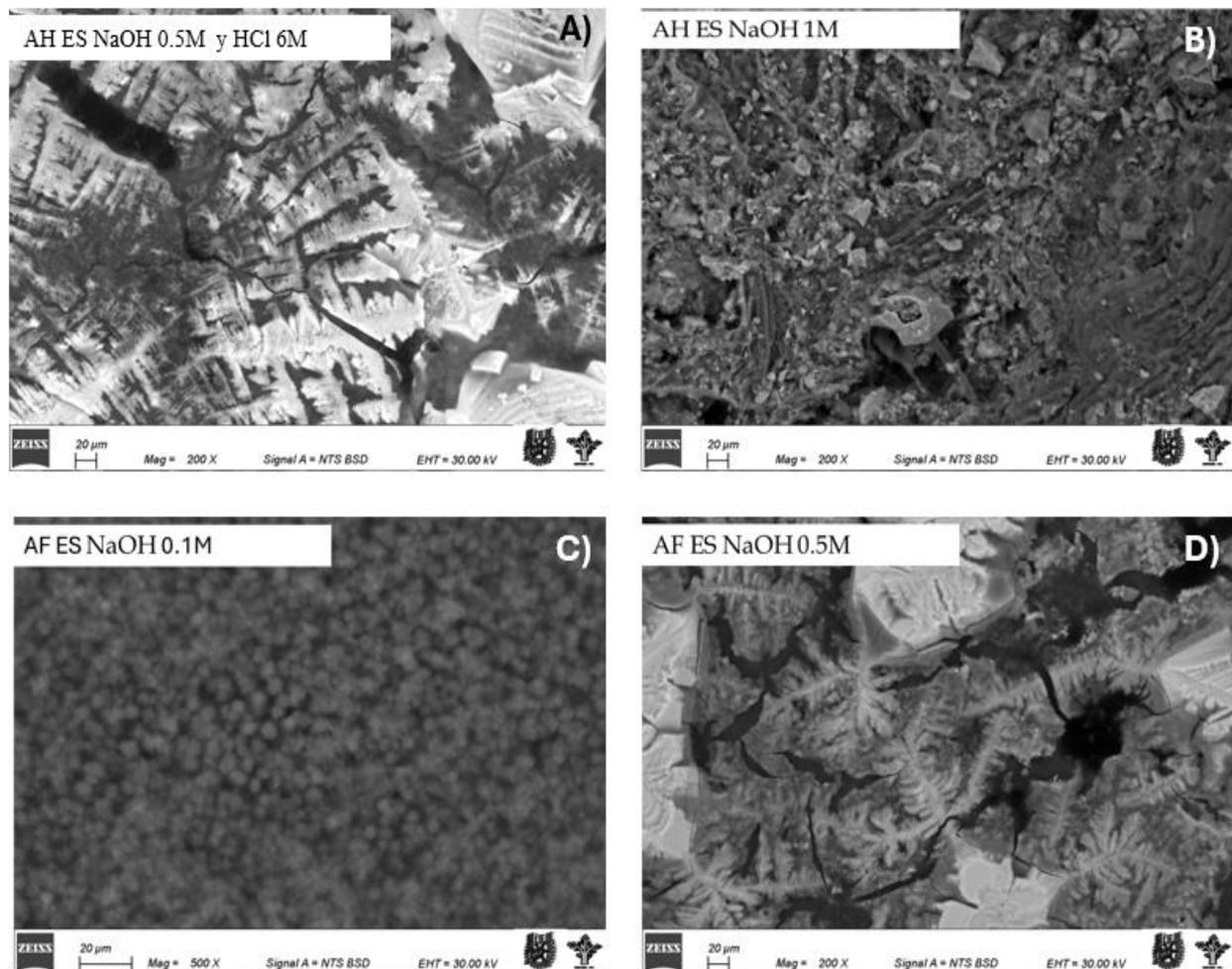


Figura 1. Microscopia Electrónica De Barrido Ambiental De Los Ácidos Húmicos y Fúlvicos. Nota. En esta imagen se logra observar el análisis de microscopia de electrónica de barridos de ácidos fúlvicos con el método de extracción de NaOH y HCl y NaOH (0.1 M ,0.5 M , 1 M).

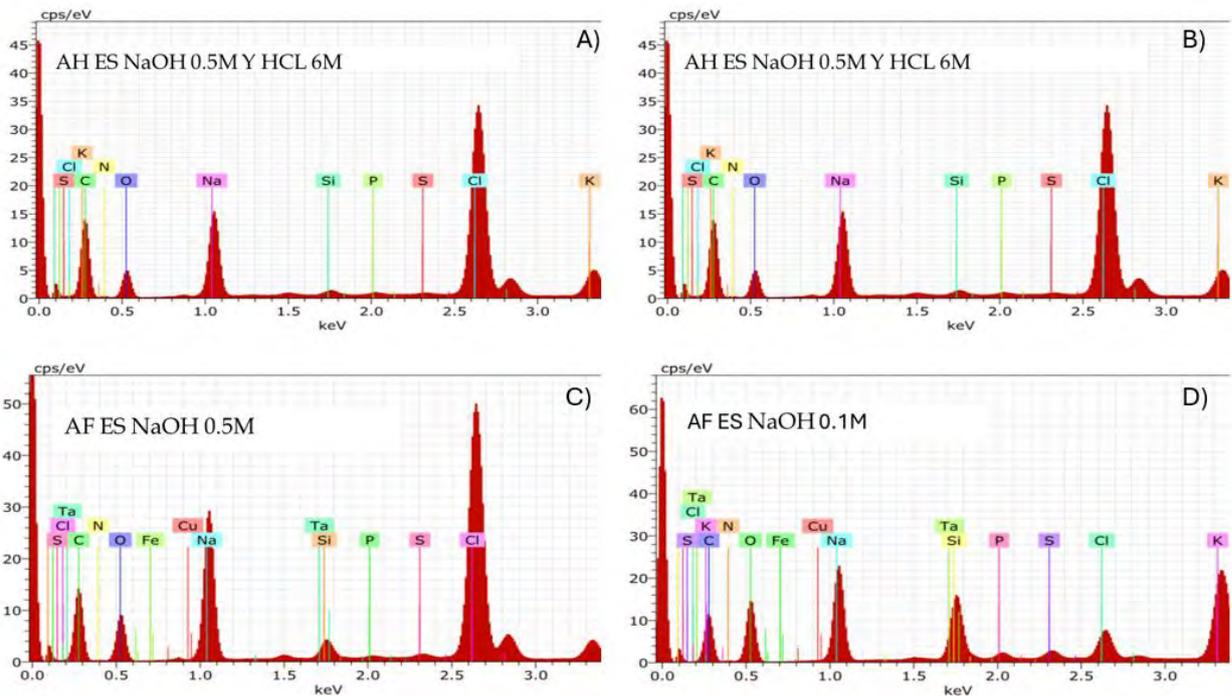


Figura 2. Análisis De Dispersión Por Rayos X De Los Ácidos Húmicos y Fúlvicos. Nota. En esta imagen se puede observar los elementos que contienen los AF mediante diversos colores, a través del Análisis de dispersión de Rayos X de los ácidos con los diferentes métodos de extracción de NaOH y HCL y NaOH (0.1 M ,0.5 M , 1 M).

El análisis elemental confirmó la presencia de una variedad de elementos en los ácidos húmicos y fúlvicos, con una composición que varía según el método de extracción y el origen de las muestras. Estos resultados concuerdan con estudios previos que destacan la presencia de carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y azufre en los ácidos húmicos. La variabilidad observada puede deberse a diferencias en las condiciones de formación y los métodos de extracción.

Caracterización de Ácidos Húmicos y Fúlvicos por Espectroscopía Infrarroja Transformada de Fourier (FTIR)

Como se observa en la figura 3 A) los ácidos húmicos extraídos con NaOH 0.5M y HCl 6M: El espectro FTIR mostró la presencia de grupos hidroxilo (O-H) en alcoholes y ácidos carboxílicos, indicando su capacidad para formar enlaces de hidrógeno y retener humedad.

Los Ácidos húmicos extraídos con NaOH 1M Los espectros mostraron grupos hidroxilo (O-H), cadenas alifáticas (C-H), y anillos aromáticos (C=C), con una posible reducción en la intensidad de los grupos carbonilo (C=O) debido a la desprotonación, como se observa en la figura 3 B).

Como se observa en la figura 3 C) los ácidos fúlvicos extraídos con NaOH 0.1M: El espectro FTIR reveló la presencia de grupos hidroxilo (O-H), cadenas alifáticas (C-H), y anillos aromáticos (C=C). También se observan grupos carbonilo (C=O) y enlaces C-O, que contribuyen a la formación de enlaces de hidrógeno y a la quelación de metales.

Ácidos Fúlvicos Extraídos con NaOH 0.5M: El espectro FTIR mostro grupos hidroxilo (O-H), cadenas alifáticas (C-H), grupos carbonilo (C=O), y anillos aromáticos (C=C). Estos grupos funcionales indican una estructura anfifílica, como se logra visualizar en la figura 3 D).

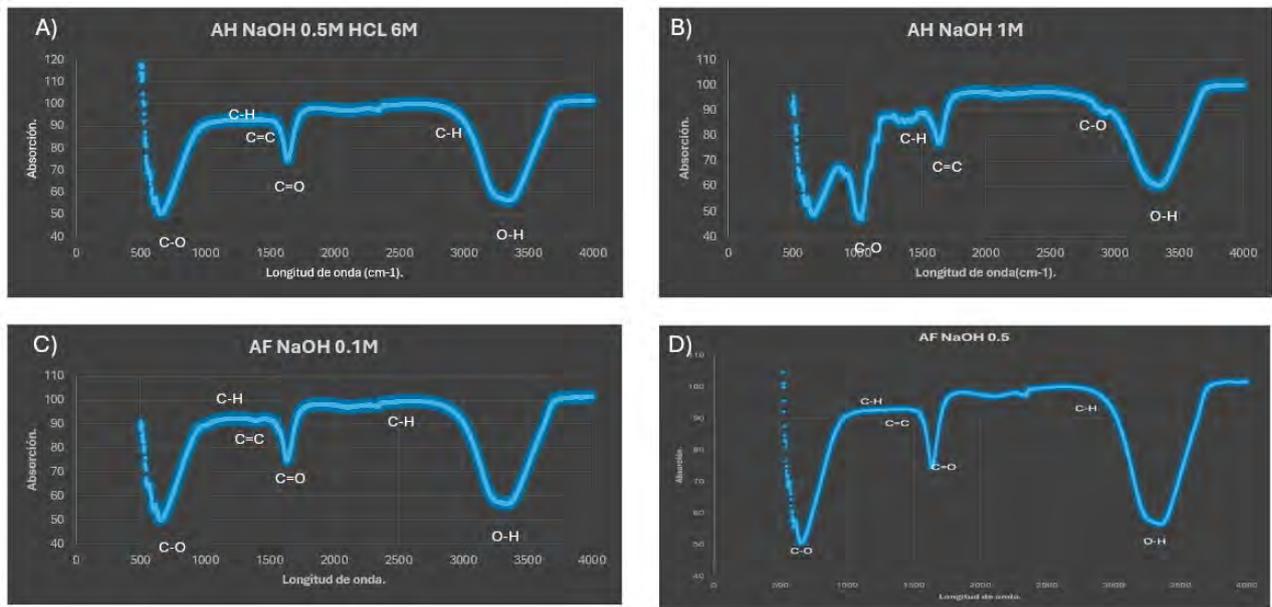


Figura 3 Espectroscopia Infrarroja Transformada de Fourier De Los Ácidos Húmicos y Fúlvicos. Nota. En esta imagen se logra observar los grupos funcionales que contienen los ácidos húmicos de estiércol con los diferentes métodos de extracción de NaOH y HCL y NaOH (0.1 M ,0.5 M, 1 M).

La caracterización FTIR de los ácidos húmicos y fúlvicos muestra una composición similar, con la presencia de grupos funcionales como hidroxilos, carbonilos, cadenas alifáticas, anillos aromáticos, y enlaces C-O. Estas observaciones son consistentes con las reportadas por López Salazar (2014), quien identificó grupos funcionales similares, aunque con diferencias en la presencia de grupos N-H debido a variaciones en el material biológico.

Análisis estadístico

El análisis de germinación para los ácidos húmicos reveló un valor estadístico H de 7.178 con 3 grados de libertad y un valor P de 0.066, indicando que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Aunque la mediana más alta se observó en el grupo tratado con NaOH y HCl (2.000), las diferencias no son concluyentes y se recomienda realizar estudios adicionales para confirmar estos hallazgos. En contraste, el análisis de germinación de ácidos fúlvicos mostró un valor H de 16.868 y un valor P < 0.001, lo que indica diferencias significativas entre los tratamientos. La prueba de Tukey identificó diferencias significativas entre el tratamiento con NaOH 0.1M y los tratamientos con NaOH 0.5M y productos comerciales (P < 0.05), mientras que no hubo diferencias significativas entre NaOH 0.1M y agua, ni entre agua y productos comerciales, ni entre productos comerciales y NaOH 0.5M. El tratamiento con NaOH 0.1M tuvo la mediana más alta (2.000), sugiriendo que es el tratamiento más efectivo, aunque el agua mostró resultados comparables.

CONCLUSIONES

La microscopía electrónica y la dispersión de rayos X confirmaron la presencia de elementos esenciales en los ácidos, destacando el carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y azufre, especialmente en los ácidos húmicos. La espectroscopia infrarroja identificó grupos funcionales importantes como hidroxilos, cadenas alifáticas, carbonilos, anillos aromáticos y enlaces C-O. Los resultados mostraron que el tratamiento con NaOH y HCl fue el más efectivo para los ácidos húmicos, mientras que el NaOH 0.1M fue el más eficaz para los ácidos fúlvicos. El agua también mostró buenos resultados en ambos casos. Estos hallazgos sugieren que los ácidos húmicos y fúlvicos pueden mejorar parámetros de interés según el tratamiento aplicado, y se recomienda investigar más para optimizar su uso en agricultura.

BIBLIOGRAFÍA

López-Salazar, R., González-Cervantes, G., Vázquez-Alvarado, R. E., Olivares-Sáenz, E., Vidales-Contreras, J. A., Carranza de la Rosa, R., & Ortega-Escobar, M. (2014). Metodología para obtener ácidos húmicos y fulvicos y su caracterización mediante espectrofotometría infrarroja. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(SPE8), 1397-1407.

López-Valdez, A., Colinas-León, M. T., Salgado-García, R., Cruz-Crespo, M., Santacruz-Ruvalcaba, A., Castellanos-Pérez, O. A., & García-Hernández, J. L. (2018). Estabilización de ácidos húmicos extraídos de vermicompost mediante el ajuste de pH. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(8), 1863-1874.

ALMACÉN Y ESTABILIDAD DEL CARBONO EN UNA COMUNIDAD DE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA Y EN UN PASTIZAL DE QUERÉTARO

Nadia Melissa Olmos González¹; Elizabeth Fuentes Romero²; Norma Eugenia
García Calderón²; Noé Velázquez Rosas³

¹Universidad Nacional Autónoma de México, ENES Juriquilla, Blvd Juriquilla 3001, 76230,
Querétaro, México. Email: olmosmelissa6.5@gmail.com

²Universidad Nacional Autónoma de México, UMDI-Facultad de Ciencias, Campus Juriquilla, Blvd
Juriquilla 3001, 76230, Querétaro, México

³Universidad Veracruzana, Centro de Investigaciones Tropicales, Avenida Luis Castelazo Ayala,
Col. Industrial Ánimas, 91190, Xalapa, Veracruz, México.

RESUMEN

El Bosque Mesófilo de Montaña (BMM) se caracteriza por su capacidad de almacenar carbono orgánico (CO) favorecida por el aporte de materia orgánica (MOS) de la diversidad vegetal, que promueve su estabilización mediante procesos de humificación y agregación asociados a la unión de complejos órgano-minerales. No obstante, esta función ecosistémica está amenazada por la deforestación derivada del cambio de uso de suelo para actividades agrícolas y ganaderas. El propósito de este estudio fue determinar el efecto del cambio de uso de suelo en el almacén y estabilidad del carbono en un BMM, en la Sierra Gorda de Querétaro. La toma de muestras fue sistemática en un BMM y en un pastizal inducido. Se determinó el almacén de CO en necromasa, mantillo y suelo; así como los mecanismos de estabilización del CO física, bioquímica y químicamente. Ambas comunidades contribuyen al almacenamiento y estabilización del COS. El BMM almacena 162.38 Mg C ha⁻¹, distribuidos en necromasa (0.75%), mantillo (35.26%) y el suelo (63.99%). El pastizal almacena 192.26 Mg C ha⁻¹, en mantillo (5.77%) y suelo (94.35%). La estabilidad de agregados se concentra en macroagregados, con estructura granular y subangular en el bosque, y subangular y angular en el pastizal. La concentración de sustancias húmicas sigue el orden de CAH > CAF > CHum en el BMM, y CHum > CAH > CAF para pastizal. Los procesos edafogénicos asociados son la acumulación de MOS y la humificación que promueve la formación de complejos órgano-minerales y dominancias de ácidos húmicos y huminas.

PALABRAS CLAVE

Agregados; Biomasa; Cambio de uso de suelo; Humificación; Producción de CO₂.

INTRODUCCIÓN

Los bosques desempeñan un papel fundamental en la mitigación del cambio climático actuando como sumideros de carbono (FAO, 2001), al transformar el bióxido de carbono (CO₂) atmosférico en formas de carbono orgánico (CO) almacenados en la biomasa vegetal y en el suelo, permaneciendo estabilizado por largos periodos de tiempo (Almendros, 2004).

Entre los sistemas forestales, los Bosques Mesófilos de Montaña (BMM) presentan un alto potencial de acumulación de carbono orgánico (CO) por unidad de superficie en el país (Kitayama y Aiba, 2002). Esto se asocia a la diversidad y estructura de la comunidad vegetal que aporta residuos y materia orgánica del suelo (MOS) lábil y recalcitrante (Álvarez *et al.*, 2013); así como a una baja descomposición de la MOS que desarrolla un humus de tipo mull-moder. Además, el proceso de humificación debido a la abundancia de huminas y ácidos húmicos (Bobadilla-Ballesteros, 2022; Bustamante-Martínez, 2022), que promueve la formación de macroagregados estables y complejos órgano-minerales (Six *et al.*, 2010; Zanella *et al.*, 2011; Álvarez *et al.*, 2013), favoreciendo el almacenamiento del carbono orgánico del suelo (Wilcke *et al.*, 2002).

Los BMM son de los ecosistemas más amenazados a nivel nacional (CONABIO, 2010), principalmente por la deforestación para usos agropecuarios y para la industria forestal (Sánchez y Dirzo, 2014). Su degradación disminuye su capacidad de almacenar CO (Anaya *et al.*, 2016), vinculada a la pérdida de cobertura vegetal y la reducción en el aporte de MO (Tanner *et al.*, 2014). Esto repercute en procesos edafogénicos, como la formación y estabilidad de agregados (Lal, 2005), la formación de complejos órgano-minerales y la humificación (Álvarez *et al.*, 2013), reduciendo la actividad metabólica microbiana, lo que afecta procesos biogeoquímicos esenciales para el funcionamiento del ecosistema (Kowalska, 2020)

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El sitio de estudio se encuentra en la comunidad de Valle Verde, Jalpan de Serra, Querétaro, México (21° 30' 48" N y 99° 10' 51" O). Se muestrearon dos comunidades: un pastizal inducido y un BMM, ubicados entre 1094 y 1103 msnm, pertenecientes a la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, en la subprovincia del Carso Huasteco (SGM, 1997). El material geológico es de calizas del Cretácico inferior (INEGI, 1983), con un paisaje kárstico de úvalas y cavernas. Está en la subcuenca del Río Verde, en la Región Hidrológica RH-26 del Río Pánuco (CONAGUA, 2015). El clima es templado subhúmedo con lluvias de verano e invierno, Cb (w2) (i "gw") (García, 1998). La precipitación media anual es de 1200-1500 mm de mayo - octubre y de 250-350 mm de noviembre - abril, la temperatura promedio anual es de 28°C (INEGI 1985). Los suelos identificados son Leptosols, Luvisols y Alisols (INEGI, 2005; Krasilnikov *et al.*, 2016). Las comunidades vegetales incluyen bosque encino y coníferas, BMM y bosque tropical caducifolio (CONCYTEQ, 2006). Las especies con mayor índice de valor de importancia en el sitio son *Liquidambar styraciflua*, *Quercus xalapensis* y *Q. laeta*, (Olmos, en elaboración).

Métodos de muestreo

El estudio analiza el almacenamiento y estabilización de CO en la necromasa, el mantillo y el suelo en una comunidad de BMM y un pastizal inducido. El muestreo se llevó a cabo de manera sistemática (Tanner, 1980), estableciendo 10 cuadros de 10 x 10 m, con una equidistancia de 20 m entre cada uno. Se recolectó la necromasa forestal (n=5) de troncos caídos con diámetros ≥ 2 cm, registrando diámetro y longitud. El mantillo se recolectó en un área de 25 x 25 cm (n=10 por sitio), separando las capas según criterios morfofuncionales (Zanella, 2011; FAO, 2009). El suelo se caracterizó mediante un perfil tipo (Siebe *et al.*, 2006; FAO, 2009) y se tomaron muestras para determinar sus propiedades físicas y químicas (ISRIC, 2006), adicionalmente se obtuvieron réplicas de muestras inalteradas del horizonte A con una profundidad de 20 cm (n=5 por sitio).

La determinación del CO en el mantillo se realizó por pérdida por ignición (Campos, 2010; Sluiter *et al.*, 2005). La necromasa se evaluó pesando las muestras frescas, secándolas a 70°C por 72 hrs y midiendo en seco para calcular la biomasa y el carbono (Álvarez *et al.*, 2013; IPCC, 2006). En los perfiles tipo, se determinó la densidad aparente, textura, pH H₂O-1:2.5, carbono orgánico de acuerdo con el Manual ISRIC (van Reeuwijk, 2002). Se midió la producción de C-CO₂ del horizonte A y el mantillo con el método de incubación con NaOH (Anderson, 1983; Li *et al.*, 2018) durante un periodo de 36 y 38 días, respectivamente. Para el horizonte A se determinó el contenido de CO (Walkley-Back, 1934) y nitrógeno total (por Kjeldahl), la estabilidad de agregados con el Índice de Estabilidad Normalizado (Kemper y Rosenau, 1986; Six *et al.*, 2000), y el fraccionamiento del carbono de las SH's según el método de la Sociedad Internacional de las Sustancias Húmicas (Swift, 1996). Se realizó una prueba de U Mann-Whitney para comparar el almacén de CO en el horizonte A y mantillo (n=10, p<0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El almacén de carbono del bosque y el pastizal inducido se encontró dentro del rango de 75 a 200 Mg ha⁻¹ (Tabla 1) encontrado para BMM en Chiapas, Veracruz, y Oaxaca (De Jong *et al.*, 1999). El almacén de CO en el bosque se debe a la presencia del horizonte orgánico que acumula hasta cinco veces más que el pastizal (Tabla 3). La formación de un humus tipo mull-moder se atribuye a residuos recalcitrantes con una baja velocidad de descomposición (Rocha y Ramírez, 2009), asociado a la presencia de *Quercus xalapensis* y *Q. laeta* (Andivia *et al.*, 2016). Aunque, la presencia de *Liquidambar styraciflua* (Olmos, en elaboración), promueve una mayor descomposición debido a su calidad (Figura 3d) (Rocha y Ramírez, 2009; Gaspar *et al.*, 2015); lo que promueve su traslocación a capas profundas, y su emisión a la atmósfera en forma de CO₂ (Monga *et al.*, 2008)



Figura 1. Perfil tipo BMM

Tabla 1a. Propiedades físicas del suelo del BMM de Liquidámbar

Horizonte	Profundidad cm	Límites		Estructura		Cutanes	Raíces	% P
		Distinción	Topografía	Grado	Tipo			
Ah1	0-11	Claro	Irregular	Moderado	G	x	CMF y PF	5
Ah2	11-22	Gradual	Quebrado	Moderado	G y B5	Muchos	PF, CM	5
AB	22-45	Claro	Ondulado	Moderado	B5	Abundantes	CF, CG	5
Bwh	45-58	Difuso	Quebrado	Débil	B5	Comunes	MPF, FM	5
C	58-x	Difuso	Ondulado	Moderado	B5	Comunes	MPF, CM	5

G: Granular, B5, Bloques subangulares; C: Comunes, P: Pocas, MP: Muy pocas, MF: Muy finas, F: Finas, M: Medias, G: Gruesas; P=Pedregosidad

Tabla 1b. Propiedades químicas del suelo BMM de Liquidámbar

Horizonte	Profundidad cm	Color húmedo	Textura			Dap g/cm ³	% CO ₂	pH H ₂ O	CO ₂	Almacén CO ton/ha
			% Arenas	% Limos	% Arcillas					
Ah1	0-11	5 YR 3/2	31.95	30	38.05	1.11	3.28	6.6	Nulo-	38.00
Ah2	11-22	5 YR 4/6	11.95	10	78.05	1.08	2.06	6.5	Nulo-	29.24
AB	22-45	5 YR 4/6	11.95	15	73.05	1.03	1.44	6.1	Nulo-	32.30
Bwh	45-58	7.5 YR 6/6	0	16.95	83.05	1.12	0.75	6.1	Nulo-	10.36
C	58-x	5 YR 4/6	11.95	15	73.05	1.09	--	6	Nulo-	--

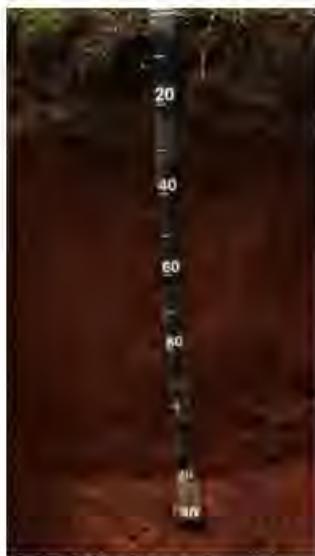


Figura 2. Perfil tipo pastizal

Tabla 2a. Propiedades físicas del suelo pastizal

Horizonte	Profundidad cm	Límites		Estructura		Cutanes	Raíces	% P
		Distinción	Topografía	Grado	Tipo			
Ap	0-30	Claro	Ondulado	Débil	BA	x	PF y CMF	5
BtA	30-45	Gradual	Suave	Desarrollado	BA	Abundantes	MPF y PMF	0
Bt	45-98	Claro	Ondulado	Desarrollado	BA	Comunes	MPF y MP MF	0
Bt2	98-120			Débil	B5	Comunes	--	0

B5: Bloques subangulares, P: Pocas, MP: Muy pocas, C: Comunes, P: Pocas, MP: Muy pocas, MF: Muy finas, F: Finas; P=pedregosidad

Tabla 2b. Propiedades químicas del suelo del pastizal

Horizonte	Profundidad cm	Color húmedo	Textura			Dap g/cm ³	% CO ₂	pH H ₂ O	CO ₂	Almacén CO ton/ha
			% Arenas	% Limos	% Arcillas					
Ap	0-30	5 YR 3/2	63.56	12.44	24	1.04	4.35	7.4	Nulo	129.67
BtA	30-45	2.5 YR 3/4	27.56	24.44	48	0.95	0.78	7.8	Bajo +	11.08
Bt	45-98	2.5 YR 3/6	19.56	24.44	56	0.98	0.78	7.7	Bajo +	40.58
Bt2	98-120	2.5 YR 3/5	17.56	26.44	56	1.02	NA	7.5	Bajo +	--

Tabla 3. Almacén de CO del pastizal y el BMM. Comparación del almacén de CO en mantillo y suelo superficial, U Mann-Whitney (n=10; p<0.001).

Reservorios	BMM Mg C ha ⁻¹	Pastizal Mg C ha ⁻¹
Necromasa	1.22	nd
Mantillo	57.25 (1.8) a	10.91 (0.5) b
Perfil tipo	103.89	181.34
Total	162.38	192.26
Suelo superficial	133.57 (12.5) a	107.48 (9.5) a

nd_no detectado

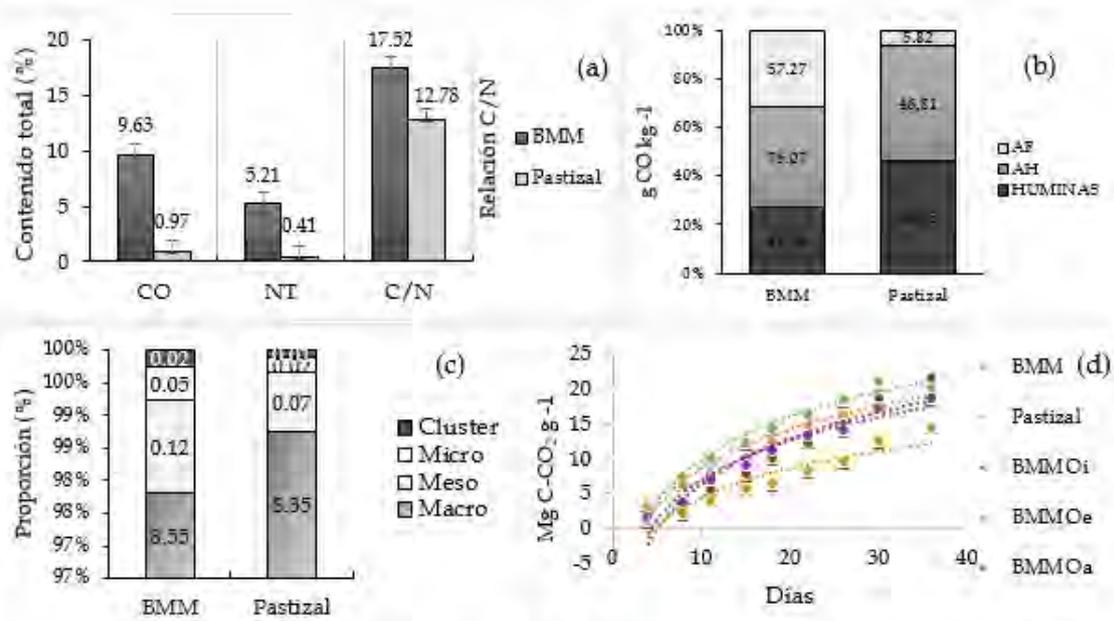


Figura 3. Propiedades físicas y químicas del horizonte superficial a), b) contenido de sustancias húmicas, c) proporción de agregados y d) producción de C-CO₂.

El contenido de CO en el horizonte A del suelo en ambos sitios fue similar (diferencia del 1.17%) y no se evidenció diferencias en el almacén de CO superficial (Tabla 3), hubo mayor variación espacial del contenido de CO en el bosque (Tabla 3) que puede asociarse a condiciones de micrositio (Bautista *et al.*, 2016) y a diferentes condiciones en estados sucesionales (Álvarez *et al.*, 2013). El potencial de almacén de CO fue mayor en el pastizal, debido a un mayor espesor de horizontes y a la baja densidad (Tabla 1; Figura 2b). La profundidad del perfil en el pastizal es casi el doble que el bosque, lo que, junto con la pedregosidad de los horizontes en este último limita la capacidad de almacenamiento de CO (Tabla 2) (Siebe, 2006), aunque el potencial de almacén se estableció hasta 60 cm de profundidad. En contraste, en el pastizal, la mayor acumulación está supeditada a los primeros 30 cm (Tabla 2b) debido a la estabilización del CO por la biomasa radicular del pasto (Torres *et al.*, 2013). La acumulación y estabilización de CO en horizontes profundos se ha relacionado a la formación complejos arcilla-humus (Six *et al.*, 2002; Álvarez *et al.*, 2013) donde la dominancia de los ácidos húmicos y huminas permite la estabilización del carbono.

La distribución del CO en las sustancias húmicas siguió el orden de CAH > CAF > CHum, mientras que en el pastizal es de CHum > CAH > CAF. La diferencia en la relación se asocia a la dominancia de compuestos de macromoléculas húmicas que aumenta la estabilización del COS (Cabrera *et al.*, 2011), el dominio de esta fracción puede limitar los recursos para los microorganismos, reduciendo su actividad metabólica (Almendros, 2004), lo que puede causar impactos negativos en la dinámica del ecosistema. Estos hallazgos difieren de los reportados por Bobadilla-Ballesteros (2022).

La estabilización física del CO, en ambos sitios, se dio en macroagregados sobre todo en el pastizal (Tabla 1a y 2a). La estructura en el bosque es granular y subangular, mientras que en el pastizal es de bloques angulares. La estructura en bloques angulares

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

se atribuye con la pérdida de carbono y actividad biológica, al aumento de la mineralización de la MOS, aumento en fracción mineral vinculados debido a la degradación por el ganado (Campos, 2006; Tobón *et al.*, 2016; Lai y Kumar, 2020).

CONCLUSIONES

Ambas comunidades vegetales contribuyen en el almacenamiento y estabilización del COS mediante el aporte de las capas orgánicas y los horizontes minerales. La estabilización se asocia a procesos edafogénicos de acumulación, transformación y traslocación que mantiene la formación de humus tipo mull-moder y la formación de horizontes con un alto contenido de CO. Además, la estabilización de carbono se relacionó con complejos arcillo-humus por la dominancia de ácidos húmicos y huminas y la presencia de macroagregados estables. En el pastizal se observa una distribución menor de ácidos fúlvicos y CO en profundidad, junto con cambios en el tipo de agregación, lo que es atribuido a un menor almacén del mantillo y a la presencia de pastoreo lo que evidencia que el impacto del manejo del pastizal es moderado.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue soportado por PAPITT IN121320 y UNAM-115621 y por el apoyo del Sr. Noé de la comunidad de Valle Verde, Jalpan de Serra, Qro

BIBLIOGRAFÍA

- Almendros, G. (2004). Investigaciones básicas sobre el origen y la estructura molecular de las formas estables de materia orgánica relacionadas con el proceso de secuestro de carbono en los suelos. *Edafología*, 11 (2), 229-249.
- Álvarez, G., García, N. E., Krasilnikov, P., García, F. (2013). Almacenes de carbono en bosques montanos de niebla de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Agrociencia*, 47(2), 171-180.
- Bautista, E., Chaparro, V., Gutiérrez, E., Hidalgo, C. & Valdés, E. (2016). Programa Mexicano de Carbono, 454.
- Bobadilla-Ballesteros, M. D., & García-Calderón, N. E. (2022). Los agregados del suelo y su relación con el carbono orgánico en un bosque mesófilo de montaña en Jalpan, Querétaro.
- Bustamante-Martínez, A. M. & García-Calderón, N. E. (2022). Almacén de carbono y sus procesos de estabilización en suelos de bosque mesófilo de montaña en Sierra Gorda, Qro.
- Campos, C. A. (2006). Response of soil surface CO₂-C flux to land use changes in a tropical cloud forest (Mexico). *Forest Ecology and Management*, 234(1-3), 305-312.
- Campos C, A. (2010). Analyzing the Relation between Loss-on-Ignition and Other Methods of Soil Organic Carbon Determination in a Tropical Cloud Forest (Mexico). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41, 1454-1462.
- De Jong, B. H., Cairns, M. A., Haggerty, P. K., Ramírez, N., Ochoa-Gaona, S., Mendoza Vega, J. y March-Mifsut, I. (1999). Land-use change and carbon flux between 1970s and 1990s in central highlands of Chiapas, Mexico. *Environmental Management*, 23 (3), 373-385.
- FAO (2009). Guía para la descripción de suelos. 4ta ed. Roma, Italia. ISBN 978-92-5.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Kemper, W.D. y Rosenau, R.C., (1986). Aggregate stability and size distribution. En: Klute, (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1- Physical and Mineralogical Methods. Soil Science Society of America Journal*, 425- 442.
- Monga, O., Bousso, M., Garnier, P. y Pot, V. (2008). Estructuras geométricas 3D y actividad biológica: Aplicación a la descomposición microbiana de la materia orgánica del suelo en el espacio poroso. *Modelado ecológico*, 216 (3-4), 291-302.
- Rocha-Loredo, A. G. y Ramírez-Marcial, N. (2009). Producción y descomposición de hojarasca en diferentes condiciones sucesionales del bosque de pino-encino en Chiapas, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (84): 1-12.
- Siebe, C., Jahn, R. & Stahr, K. (2006). Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. (2da ed). Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.
- Six, J., Conant, R. T., Paul, E. A., y Paustian, K. (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant and soil*, 241(2), 155-176.
- Swift, R. S. (1996). Organic Matter Characterization. En: Sparks, D. L. (Ed.) *Methods of Soil Analysis, Part 3- Chemical Methods*. (pp. 1036-1059). *Soil Science Society of America Journal*.
- Tisdall, J. M. y Oades, J. M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Soil Science*, 33, 141-163.
- Van Reeuwijk, L. P. (ISRIC). (2002). Procedures for soil analyses. 6ta ed. *The Netherlands*. ISSN: 0923-3792.
- Wilcke, W., Yasin, S., Abramowski, U., Valarezo, C. y Zech, W. (2002). Nutrient storage and turnover in organic layers under tropical montane rain forest in Ecuador. *European Journal of Soil Science*, 53 (1), 15-2
- Zanella, A., Jabiol, B., Ponge, J. F. y Sartori, G. (2011). A European morpho-functional classification of humus forms. *Geoderma*, 164, 138-145.

FLUJO DE CO₂ DEL SUELO EN UN BOSQUE MANEJADO PARA PRODUCCIÓN MADERABLE EN EL CENTRO DE MÉXICO

Ana Karen Cerdillo Aviles¹; Bruno Manuel Chávez Vergara²; Armando Gómez Guerrero¹; Gregorio Ángeles Pérez¹

¹Colegio de Postgraduados. Postgrado en Ciencias Forestales. Montecillo, Estado de México, México.

²Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. Departamento de Ciencias Ambientales y del Suelo. Ciudad de México, México.

*Autor de correspondencia. gangeles@colpos.mx

RESUMEN

La respiración del suelo (Rs) es un proceso complejo que representa una vía importante de emisión de carbono hacia la atmósfera. Está influenciado por múltiples factores ambientales y biológicos. En este estudio evaluó la variación estacional y entre edad del rodal de la Rs, en una cronosecuencia del bosque de *Pinus patula* sujeto a manejo forestal en el Sitio de Monitoreo Intensivo de Carbono Atopixco, Hidalgo. Se realizaron mediciones mensuales de Rs en un rodal de 10, 20, 30, 33 y 85 años; este último se consideró como referencia sin intervención silvícola. Las mediciones de Rs se llevaron a cabo utilizando el método de cámara dinámica cerrada. Los valores máximos de Rs se registraron en junio, agosto y septiembre, con tasas de 7.90 (± 1.68), 7.18 (± 2.36) y 8.05 (± 2.62) $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente. En contraste, las tasas mínimas se registraron en diciembre, enero y abril y diciembre con 3.95 (± 1.12), 3.66 (± 2.05), 4.33 (± 1.52) $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente. Se encontró que el flujo de CO₂ del suelo disminuyó conforme aumentó la edad del rodal, reflejando el impacto de la perturbación por la cosecha del bosque sobre dicho proceso. Sin embargo, los rodales se comportaron de manera resiliente, y el flujo se recuperó con la edad, asemejándose al rodal maduro no cosechado. Los resultados son significativos en la definición del papel que juegan los bosques bajo manejo forestal sobre la mitigación del cambio climático y, por tanto, en la definición de prácticas silviculturales de aplicación intensiva.

PALABRAS CLAVE

Flujo de carbono; Cronosecuencia, Manejo forestal, Ecosistemas forestales.

INTRODUCCIÓN

La respiración del suelo (Rs) se define como la producción total de CO₂ por unidad de área y tiempo (Cruz-Sánchez *et al.*, 2022). De acuerdo con Balogh *et al.* (2011) las tasas de Rs están influenciadas por el contenido de humedad, la proporción de arcillas y el carbono orgánico presente en el suelo. Además, en algunos estudios se identificó que la temperatura fue la principal variable que reguló la Rs (Lei *et al.*, 2022; Uri *et al.*, 2022), mientras que, en otros, la humedad del suelo mostró un papel predominante (Chiang *et al.*, 2021; Du *et al.*, 2022).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Martínez-Rivas *et al.* (2023) encontraron que tanto la humedad como la temperatura del suelo influyeron de manera significativa en las tasas de R_s en ecosistemas forestales templados del norte de México.

Las perturbaciones humanas, como el aprovechamiento forestal, puede modificar la función de los bosques maduros, transformándolos de sumideros a fuentes de CO_2 . El proceso de cosecha del bosque provoca un incremento de la temperatura y la radiación solar que alcanza el nivel del suelo, debido a la disminución de la biomasa aérea (Thorne *et al.*, 2020). Además, disminuye la evapotranspiración (Wei *et al.*, 2022) se reduce tanto la biomasa de raíces, y después de un tiempo, la entrada del carbono lábil procedente de la hojarasca fresca también disminuye (Thorne *et al.*, 2020). En conjunto, estas actividades silvícolas provocan cambios que afectan las tasas de descomposición de la materia orgánica, lo que a su vez, altera la actividad microbiana del suelo, conduciendo a una pérdida neta del carbono (Diochon *et al.*, 2009) y un aumento en las tasas de R_s (Thorne *et al.*, 2020). Las cortas de regeneración pueden provocar una reducción en el contenido de carbono de los suelos forestales, Nave *et al.* (2010) para bosques templados.

Dado el papel que juega la dinámica del carbono en los ecosistemas forestales manejados, es esencial realizar un análisis del flujo de CO_2 en rodales de diferentes edades. Este tipo de estudios puede ampliar la comprensión sobre el comportamiento de la R_s en los bosques sujetos a manejo forestal, permitiendo evaluar las variaciones de la R_s en gradientes sucesionales. Los objetivos de este estudio fueron examinar la variabilidad anual y estacional de la R_s , así como identificar las variables que influyen en la R_s en una cronosecuencia de rodales de *P. patula*, como resultado del manejo forestal en el Sitio de Monitoreo Intensivo de Carbono Atopixco, localizado en el estado de Hidalgo, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en el Sitio de Monitoreo Intensivo del Carbono Atopixco (SMIC-Atopixco), ubicado en el Municipio de Zacualtipán de Ángeles, estado de Hidalgo. El SMIC Atopixco tiene con una extensión de 900 ha, con una variación altitudinal de 1723 y 2107 m de altitud. Desde principios de la década de 1980, en el SMIC-Atopixco se han aprovechado los recursos forestales maderables. El método utilizado es el MDS con cortas de regeneración a través del Método de Árboles Padre, lo que ha originado rodales coetáneos donde la especie dominante es *Pinus patula* (Ángeles-Pérez *et al.*, 2015).

Con el objetivo de obtener una estimación confiable y sistemática de la R_s , se seleccionaron cinco rodales con edades diferentes (10, 20, 30, 33 y 85 años). Estas edades abarcan dos condiciones: rodales bajo manejo forestal (10, 20, 30 y 33 años) y un rodal sin ningún tipo de manejo, con una edad estimada de 85 años. El flujo de CO_2 del suelo ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$) se midió mensualmente por un año, en cinco anillos de PVC, localizados de manera aleatoria en cada rodal. La dimensión de los anillos de PVC fue de 20 cm de diámetro y 12 cm de altura. Se utilizó un analizador de gases al infrarrojo modelo LI-8100A Automated Soil Gas Flux System (LI-COR Inc., Lincoln, Nebraska, EE. UU.).

Además, para tratar de explicar el patrón de Rs, se recopiló información de 15 variables predictoras clasificadas en cuatro categorías: topográficas, del suelo, ambientales y de estructura del dosel.

El análisis estadístico de la variación mensual y estacional de la Rs por edad del rodal, se generaron gráficos tipo "boxplot". Las diferencias significativas entre los meses de medición, las temporadas en el año y la edad del rodal, se realizó a través de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, seguida de un análisis *post hoc* utilizando la prueba de Dunn ajustado con la prueba de Bonferroni. Se utilizaron modelos mixtos para determinar las variables que mayor contribuyeron a la explicación de la variabilidad de la Rs.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observó una tendencia estacional de la Rs. Esta fue baja al inicio y al final del año (enero y diciembre), y los valores más altos se presentaron a mitad de año (junio y septiembre) (Figura 1). Estas diferencias pueden estar relacionadas con factores estacionales como la precipitación, temperatura y el ciclo de crecimiento de la vegetación. Además, se observó una tendencia de disminución de la Rs con la edad del rodal.

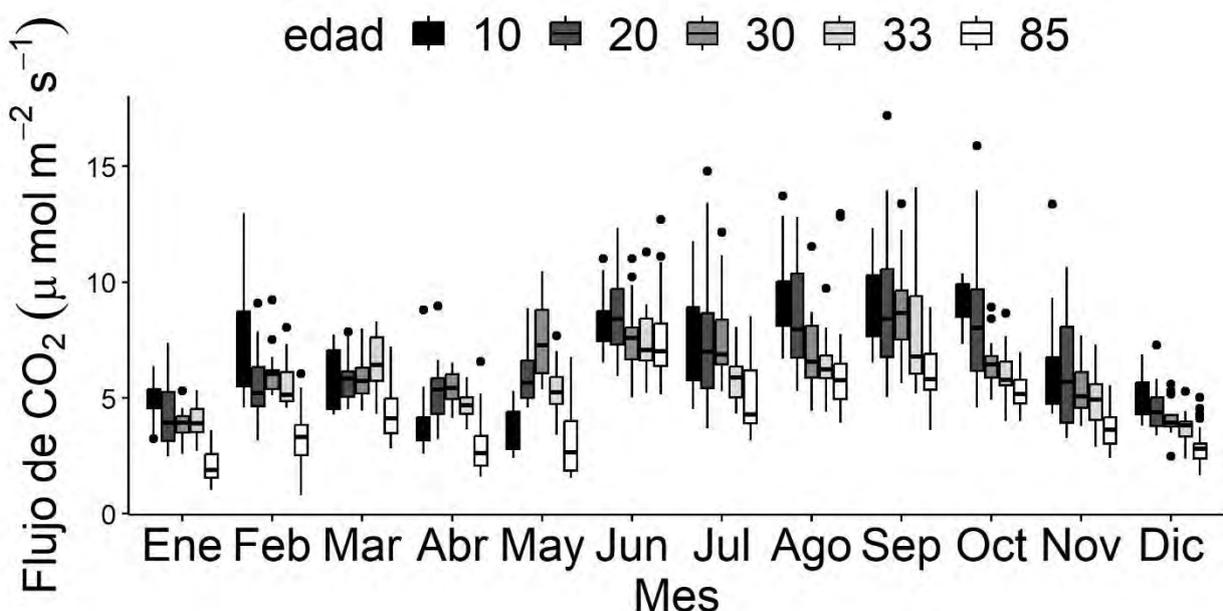


Figura 1. Variación mensual del flujo de CO₂ del suelo en rodales de diferente edad de bosques manejados de *Pinus patula* en el SMIC Atopixco.

El mes de abril fue uno de los que presentó la menor Rs, lo cual puede atribuirse a una posible condición de sequía, ya que abril fue el mes con la menor humedad del suelo registrada. Esta tendencia es consistente con lo reportado por Martínez-Rivas *et al.* (2023), quienes señalaron que la baja Rs en este periodo se debe a la disminución de humedad del suelo. En su estudio, dichos autores encontraron los valores de Rs más bajos en marzo, abril y mayo, cuando la humedad del suelo alcanzó sus valores mínimos.

Los resultados evidencian una marcada estacionalidad en la R_s en el bosque de *Pinus patula*. Se observó una variación estacional de la R_s (Figura 2). Valores menores se registraron en la estación de nortes, la cual coincide con los meses de menor temperatura ambiente en la zona. Los valores más altos se observaron durante la temporada de lluvias, mientras que la R_s fue intermedia en la estación de secas. Este patrón estacional concuerda con diversos estudios que han documentado mayores tasas de R_s durante las temporadas de lluvias, mientras que los flujos más bajos se presentan en épocas de bajas temperaturas, como es el caso de Cruz-Sánchez *et al.* (2021) y Uri *et al.* (2022).

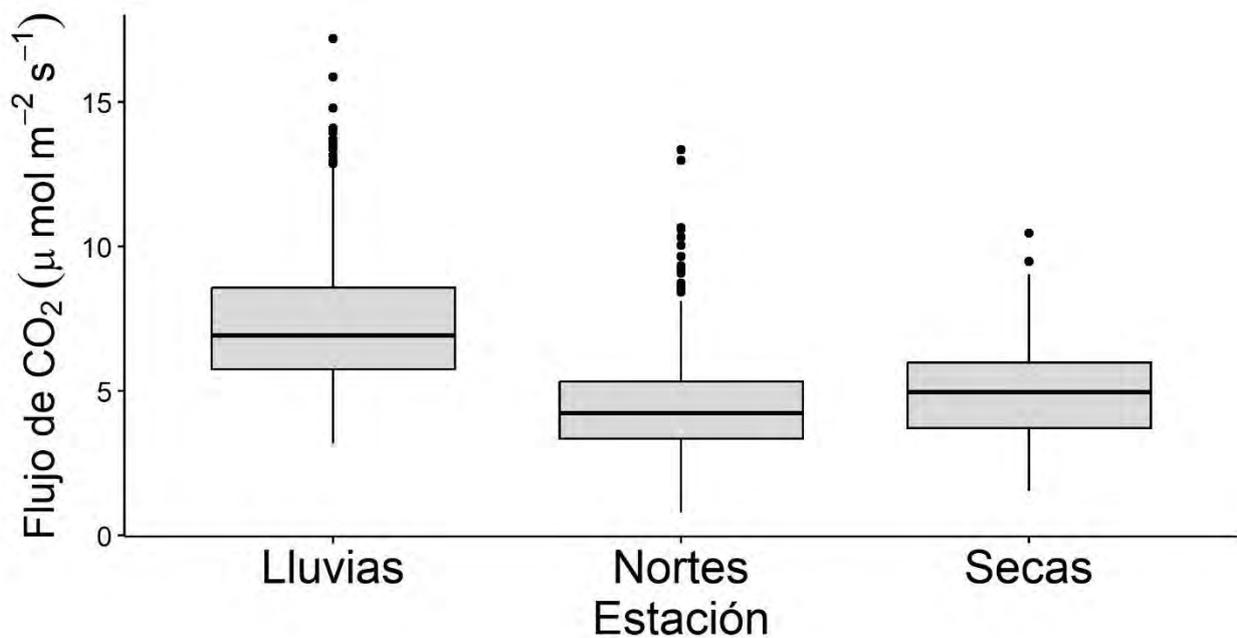


Figura 2. Variación estacional del flujo de CO₂ del suelo en el SMIC Atopixco.

CONCLUSIONES

La dinámica de la R_s en la cronosecuencia de *Pinus patula* en el SMIC Atopixco, mostró estar principalmente regulada por la temperatura del suelo, con variaciones significativas en las tasas anuales de R_s entre rodales de edades diferentes y estaciones del año. Estos resultados subrayan la importancia de la temperatura del suelo como el principal factor que regula la R_s , sugiriendo que las diferencias observadas se deben tanto a las prácticas silviculturales de manejo forestal como a las características inherentes de los rodales, las cuales varían con su edad.

A pesar de las tasas más altas de R_s en los rodales jóvenes, conforme aumenta la edad del rodal el flujo de CO₂ del suelo disminuye, asemejándose a los valores registrados en el rodal de referencia no cosechado. Lo anterior demuestra que a pesar de la modificación del ecosistema por el manejo forestal este tiene una capacidad de resiliencia que le permite recuperar sus condiciones previas al manejo.

BIBLIOGRAFÍA

- Ángeles-Pérez, G., Méndez-López, B., Valdez-Lazalde, R., Plascencia-Escalante, F. O., De-Los-Santos-Posadas, H. M., Chávez-Aguilar, G., Maldonado-Montero, V. (2015). Estudio de Caso del Sitio de Monitoreo Intensivo del Carbono en Hidalgo. Montecillo, México: Proyecto México-Noruega-Colegio de Postgraduados.
- Balogh, J., Pintér, K., Fóti, S., Cserhalmi, D., Papp, M., & Nagy, Z. (2011). Dependence of soil respiration on soil moisture, clay content, soil organic matter, and CO₂ uptake in dry grasslands. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(5), 1006–1013. DOI: 10.1016/j.soilbio.2011.01.017
- Chiang, Yu, J.-C., & Lai, Y.-J. (2021). Soil Respiration Variation among Four Tree Species at Young Afforested Sites under the Influence of Frequent Typhoon Occurrences. *Forests*, 12(6), 787. DOI: 10.3390/f12060787
- Cruz-Sánchez, Y., López-Teloxa, L.C., Gómez-Díaz, J.D., Monterroso-Rivas, A.I. (2021). Respiración del suelo en un bosque templado de México y su relación con el carbono orgánico. *Madera y Bosques*, 27(2), e2722153. DOI: 10.21829/myb.2021.2722153
- Cruz-Sánchez, Y., López-Teloxa, L.C., Gómez-Díaz, J.D., Monterroso-Rivas, A.I. (2022). Respiración de CO₂ desde el suelo en bosques templados del Parque Nacional Iztaccihuatl-Popocatepetl, centro de México. *Bosques*, 43(2), 125-133. DOI: 10.4067/S0717-92002022000200125
- Diochon, A., Kellman, L., & Beltrami, H. (2009). Looking deeper: An investigation of soil carbon losses following harvesting from a managed northeastern red spruce (*Picea rubens* Sarg.) forest chronosequence. *Forest Ecology and Management*, 257(2), 413–420. DOI:10.1016/j.foreco.2008.09.015
- Du, Y., Wang, Y.-P., Hui, D., Su, F., Yan, J. (2022). Significant effects of precipitation frequency on soil respiration and its components—A global synthesis. *Global Change Biology*, 00, 1–18. DOI: 10.1111/gcb.16532
- Lei, N., Wang, H., Zhang, Y., Chen, T. (2022). Components of respiration and their temperature sensitivity in four reconstructed soils. *Scientific reports*, 12, 6107. DOI: 10.1038/s41598-022-09918-y
- Machimura, T., Kobayashi, Y. Iwahana, G., Hirano, T., Lopez, L., Fukuda, M., Fedorov, A.N. (2005). Change of Carbon Dioxide Budget during three years after deforestation in eastern Siberian larch forest. *Journal of agricultural meteorology*. 60(5):653-656.
- Martínez-Rivas, J.A., Vargas-Larreta, B., López-Martínez, J.O., Aguirre-Calderón, C.G., Hernández, F.J., Ángeles-Pérez, G. (2023). Understanding Soil Respiration Dynamics in Temperate Forests in Northwestern Mexico. *Forests*, 14, 1763. DOI: 10.3390/f14091763
- Nave, L. E., Vance, E. D., Swanston, C. W., Curtis, P. S. (2010). Harvest impacts on soil carbon storage in temperate forests. *Forest Ecology and Management*, 259(5), 857–866. DOI:10.1016/j.foreco.2009.12.009
- Thorne, R., Khomik, M., Hayman, E., & Arain, A. (2020). Response of soil CO₂ efflux to shelterwood harvesting in a mature temperate pine forest. *Forests*, 11(3), 304. DOI:10.3390/f11030304

- Uri, V., Kukumägi, M., Aosaar, J., Varik, M., Becker, H., Aun, K., Lõhmus, K., Soosaar, K., Astover, A., Uri, M., Buht, M., Sepaste, A. and Padari, A. (2022). The dynamics of the carbon storage and fluxes in Scots pine (*Pinus sylvestris*) chronosequence. *Science of the Total Environment*, 817:152973. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.152973
- Wei, X., Giles-Hansen, K., Spencer, S.A., Ge, X., Onuchin, A., Li, Q., Burenina, T., Ilintsev, A., Hou, Y. (2022) Forest harvesting and hydrology in boreal Forests: Under an increased and cumulative disturbance context. *Forest Ecology and Management*. 522, 120468. DOI: 10.1016/j.foreco.2022.120468



EVALUACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PEPINO (*Cucumis sativus* L.) EN CASA SOMBRA EN SUELO DEFICIENTE DE B Y Zn

Pedro Alberto Rojas Rojas^{1*}; Martha L. Gutiérrez Pérez¹;
Luis Alberto Lightbourn Rojas².

¹Universidad Tecnológica de Culiacán. Carr. A Imala Km. 2.5, Culiacán, Sinaloa, México. C.P. 80014.

²Instituto de Investigación Lightbourn A.C. Carr. Las Pampas Km. 2.5, Jiménez Chihuahua C.P. 33980. *ingpedro_rojas@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de boro (B) y zinc (Zn) aplicado en dos niveles de concentración: dosis alta y dosis baja, en aplicaciones foliares cada 15 días, se midió el rendimiento de fruto y los parámetros de crecimiento de pepino cultivado en suelo en condiciones de casa sombra. Se utilizó un diseño de análisis de varianza en bloques al azar con variable nutrición vegetal, se probaron dos niveles de Boro: 0.3 y 0.6 ml L⁻¹ de agua y dos niveles de Zinc 0.3 y 0.6 ml L⁻¹ de agua. Adicionalmente se evaluó al testigo del suelo deficiente de estos dos elementos de acuerdo con el análisis de suelo. En total fueron nueve tratamientos. A los 30 días después de plantados, se iniciaron las aplicaciones foliares y continuaron cada 15 días durante tres meses. El tratamiento 7 que consistía en dosis alta de Zn y dosis baja de B provocó mayor producción de fruta de calidad comercial. El tratamiento 3 con la aplicación de B solo con la dosis baja provocó el mayor rendimiento de tamaños large, en tabla de los efectos principales mostraron un menor rendimiento con diferencia significativa en la dosis baja. El costo beneficio se incrementó en el tratamiento 7 con la dosis baja de B y la dosis alta de Zn incrementó la utilidad del cultivo con lo que se concluye que el uso de estos microelementos le confiere al cultivo de pepino una ventaja comercial sobre los pepinos sin tratar.

PALABRAS CLAVE

Suelo sano; Nutrición vegetal; Cambio climático.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de pepino en Sinaloa es el mayor productor nacional con una superficie de 3,875 ha (SIAP, 2022), sin embargo, la importancia económica de esta hortaliza se debe a la rapidez de recuperación del costo de la producción ya que se pueden producir tres etapas de cultivo en un solo ciclo agrícola. El manejo nutricional de macroelementos del cultivo pepino en Sinaloa tanto en campo abierto como en sistema protegido a sido ampliamente estudiado, pero los microelementos y en especial el Boro (B) y Zinc (Zn) tienen pocos estudios a pesar de que se presentan deficiencias en suelos alcalinos del valle de Culiacán. El Zn es un micronutriente que controla la síntesis del ácido indolacético, regula el crecimiento de las plantas, participa en la síntesis de

clorofila y carbohidratos (Vitosh *et al*, 94). Por su parte el B participa en la síntesis de proteínas, formación de frutos y semillas, en la asimilación de calcio, calidad del polen entre otros (Barker y Pilbeam, 2007). La deficiencia de estos elementos puede causar baja en la producción y algunos defectos de calidad en la fruta (Bergmann, 1992). El B es absorbido como H_3BO_3 por flujo de masas y es poco móvil dentro de la planta (Marschner, 1986). El Zn se aplica como $ZnSO_4$ y se ha encontrado que los iones Zn interfieren en los movimientos estomáticos, perturbando los flujos de agua a través de las membranas (Yang *et al.*, 2004) que junto con información referente al cambio climático demuestra la reciente demanda de nutrientes que no eran demandantes en el pasado (Pengue, 2009). por lo anterior se estableció el objetivo de Instalar una parcela demostrativa en casa sombra para evaluar la producción de pepino agregando B y Zn foliar como complemento a las reservas del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la agrícola Paralelo 38 ubicada en el municipio de Navolato, Sinaloa con una latitud de $24^{\circ}58'36''$, una longitud de $107^{\circ}51'57''$ y 4 msnm; se utilizó el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), variedad paraíso (Syngenta®). La temperatura media anual osciló entre 24-25 °C, con máxima extrema de 44 a 47 °C y mínima de 1 a 2 °C. Se fertilizó al suelo de manera tradicional, se midió área foliar, grosor de tallo y altura de planta. En el caso de la producción de fruto se clasificó en calidad y rendimiento, el diseño experimental fue de bloques al azar con 4 repeticiones y 10 réplicas por tratamiento, se usó el paquete estadístico "SPSS" Statistic. El factor nutrición foliar fue modificado en dos niveles para B y dos niveles para Zn, la unidad experimental fue una planta con 6 réplicas por tratamiento en dos bloques, los tratamientos fueron 9 en total considerando el testigo comercial, los tratamientos evaluados fueron Zn y B en la dosis baja y alta, así como la interacción entre ellos en un arreglo factorial de 2×2 . Cuadro 1.

Cuadro 1. Dosis Zn y B en $ml L^{-1}$ de agua en frecuencia quincenal.

Quincena	1		2		3		4		5	
Tratamiento	hyper zinc	hyper bmo								
1	0.3		0.3		0.3		0.3		0.3	
2	0.6		0.6		0.6		0.6		0.6	
3		0.3		0.3		0.3		0.3		0.3
4		0.6		0.6		0.6		0.6		0.6
5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
6	0.3	0.6	0.3	0.6	0.3	0.6	0.3	0.6	0.3	0.6
7	0.6	0.3	0.6	0.3	0.6	0.3	0.6	0.3	0.6	0.3
8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tratamiento 7 con dosis baja de B y dosis alta de Zn, provocó el mayor rendimiento en plantas aunque no mostró diferencia estadística, los tratamientos con ambos micronutrientes mostraron mejor desarrollo lo que coincide con la importancia de estos en el desarrollo de los cultivos (Barker y Pilbeam, 2007), el tratamiento 3 provocó la mayor producción de tamaños Large (L), fruto de alto valor comercial para

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

el mercado internacional, en contraste se observó que la dosis alta de los dos nutrientes evaluados mostró el menor rendimiento del mismo tamaño, lo cual nos indica que la interacción con el Zn afectó el aprovechamiento del B, en la dosis baja de Zn (0.3 ml/lit de agua) se observa el mayor rendimiento de fruta de tamaño L y Medium(M) estas diferencias se deben únicamente al balance entre Zn y B para este estudio lo que concuerda con Bergmann,(1992). En el análisis de la interacción no muestra diferencia significativa entre los tratamientos, sin embargo, al analizar los efectos principales si se observa el efecto del boro en la dosis baja como incrementa el rendimiento de pepino Cuadro 2.

Cuadro 2. Efecto de la aplicación de B y Zn sobre la calidad de fruto de pepino.

Tratamiento	Largos/ha	Mediano/ha	Chicos/ha	Rend. Ton
1	72,150 bc *	263,250 a	42,250 a	139 a
2	74,100 bc	275,600 a	50,700 a	140 a
3	109,850 a	256,750 a	44,850 a	148 a
4	66,950 bc	236,600 a	50,050 a	131 a
5	91,000 ab	268,450 a	49,400 a	145 a
6	88,400 a-c	240,500 a	55,900 a	134 a
7	84,500 a-c	287,950 a	46,150 a	152 a
8	68,900 bc	225,550 a	53,300 a	123 a
9	57,200 c	289,250 a	44,850 a	137 a
Boro	Largos/ha	Mediano/ha	Chicos/ha	Rend. Ton
0	813,800 b	3,312,400 a	551,200 a	139 b
0.3	1,141,400 a	3,252,600 a	561,600 a	148 a
0.6	897,000 b	2,810,600 b	637,000 a	129 b

* Resultados con la misma letra son estadísticamente iguales Tukey ($p \leq 0.05$).

En el análisis de costos se determinó que el mejor tratamiento fue el 7, el cual arrojó un volumen de producción de 152 toneladas por hectárea (Cuadro 3), con una inversión de \$25.00 por hectárea, lo cual, en el análisis nos arrojó una ganancia de \$69,398 adicionales al costo del manejo en comparación del testigo que no se aplicó ningún producto de acuerdo con costos de la Secretaría de Economía (SE, 2020). Se observa en el cuadro 2, que la calidad de la producción arroja datos de ingreso por concepto de fruta de primera calidad posicionando mejor al testigo a los tratamientos 1, 2, 3, 5 y 7 tratado con B y Zn, vale la pena mencionar que los tratamientos de aplicación de B y Zn se instalaron a petición del productor en la parte trasera de la casa sombra, en la zona de mayor sombreado, problemas de compactación de suelo por ser la

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

parte de retorno de la maquinaria provocando mayor encharcamiento por fugas del riego por goteo y los tratamientos testigo se colocaron en el centro del surco con las condiciones de ventaja que eso representó por lo que estos datos todavía deben ser de mayor rendimiento y calidad en los tratamientos presentados en el cuadro 3, lo que asemeja a las condiciones del efecto por cambio climático por exceso de maquinaria e insumos (Pengue, 2009).

Cuadro 3 análisis del costo de la aplicación de B y Zn.

Trat.	Zn	B	Zn lt/ha	B lt/ha	\$/ha	Ton	\$ Bruto	Costo beneficio
1	0.3	0	0.12	0	7	139	\$665,993	\$7,694
2	0.6	0	0.24	0	13	140	\$670,566	\$12,268
3	0	0.3	0	0.12	12	148	\$711,486	\$53,187
4	0	0.6	0	0.24	24	131	\$627,719	-\$30,580
5	0.3	0.3	0.12	0.12	19	145	\$694,434	\$36,136
6	0.3	0.6	0.12	0.24	31	134	\$643,567	-\$14,732
7	0.6	0.3	0.24	0.12	25	152	\$727,697	\$69,398
8	0.6	0.6	0.24	0.24	37	123	\$588,350	-\$69,949
9	0	0	0	0	0	137	\$658,299	\$-

CONCLUSIONES

La aplicación de B en dosis alta solo y en combinación con Zn provoca un menor rendimiento y calidad de fruto de pepino. La producción de pepino fue mayor en el tratamiento con la dosis de B (0.3 ml/Lt de agua) con respecto al testigo. Aplicar B en dosis de 0.3 ml/Lt de agua genera un ingreso extra al productor de pepino. La aplicación de boro y zinc no mostró diferencia significativa en los parámetros de crecimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Barker, A. y D. Pilbeam. 2007. Handbook of Plant Nutrition. CRC, Taylor & Francis Group. 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL 33487-2742, U.S.A.
- Bergmann, W. 1992. Nutritional disorders of plants. Gustav Fischer. Verlas Jena.
- Marschner, H. 1986. Mineral Nutrition in Higher Plants. Academic Press, Inc., New York.
- Pengue, Walter A. 2009. Cuestiones económico-ambientales de las transformaciones agrícolas en las pampas. Problemas del desarrollo, 40(157), 137-161.
- SE, 2020, Secretaría de Economía. Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados. <http://www.economia-sniim.gob.mx/Nuevo/Home.aspx?opcion=../SNIIM-MercadosExterior/fruthort/me.htm>
- SIAP. 2024. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en <http://www.siap.gob.mx>.
- Vitosh, M., D. Warncke y R. Lucas. 1994. Secondary and Micronutrients for Vegetables and Field Crops. E-486. Department of Crop and Soil Sciences. Michigan State University Extension.
- Yang, H.M., X.Y. Zhang y G.X. Wang. 2004. Effects of heavy metals on stomatal movements in broad bean leaves. J. Plant Physiol. 51(4), 464-468.

PROPIEDADES DEL SUELO EN ÁREAS SILVESTRE Y CULTIVADA DE ORÉGANO (*Lippia graveolens*) EN SAUCILLO, CHIHUAHUA

Daniel Triana Anzures¹; Nora Aideé Salas Salazar²; Celia Chávez Mendoza³; Mayra Cristina Soto Caballero²; María Janeth Rodríguez Roque²; María Antonia Flores Córdoba²

¹Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua. Avenida Universidad y, Avenida Pascual Orozco s/n, Universidad, 31110 Chihuahua, Chih.

²Facultad de Ciencias Agrotecnológicas campus Cuauhtémoc, Universidad Autónoma de Chihuahua, Presa de La Amistad 2015, La Presa, 31510 Cuauhtémoc, Chih.

³Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) Sede Delicias Av. 4 Sur 3828, Pablo Gómez, 33088 Delicias, Chih.

RESUMEN

El análisis de las propiedades del suelo es clave para optimizar la producción agrícola, permitiendo a los productores mejorar el rendimiento de los cultivos. Este estudio comparó las propiedades del suelo en áreas donde el orégano crece de forma silvestre y donde se ha comenzado a cultivarlo. Los indicadores evaluados incluyen propiedades físicas como la textura y la densidad aparente, y propiedades químicas como la materia orgánica, pH, y niveles de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio. Los resultados proporcionan información valiosa para mejorar el manejo de suelos en el cultivo de orégano y representan información relevante para la Asociación Oreganeros del Conchos S.P. de R.L. de C.V. quienes podrán tomar decisiones que incrementen la producción y mejoren la calidad del cultivo del orégano tanto silvestre como cultivado.

PALABRAS CLAVE

Análisis de suelo; Análisis fisicoquímicos; Materia orgánica; Minerales; pH de suelo.

INTRODUCCIÓN

Identificar las propiedades del suelo para uso agrícola representa una herramienta relevante para los productores, ya que se conoce la situación nutricional y las áreas de oportunidad que permitan incrementar la producción de los cultivos (Castillo *et al.*, 2021).

El análisis de suelos comprende indicadores físicos, químicos y biológicos que son un conjunto mínimo de datos que conforman la calidad del suelo (Núñez *et al.*, 2023). Los indicadores físicos incluyen la textura, densidad aparente, humedad y profundidad del suelo. Los indicadores químicos son la materia orgánica, pH, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Los indicadores biológicos se componen del carbono en la biomasa microbiana, respiración del suelo, ureasa, fosfatasa, entre otros (Núñez *et al.*, 2023).

Los agricultores emplean esta herramienta ya que es de bajo costo y permite tomar decisiones de una manera más acertada y en poco tiempo. Tal es el caso de los

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

ejidatarios que conforman la Asociación Oreganeros del Conchos S.P. de R.L. de C.V., la cual se compone de siete ejidos, en los que la producción de orégano se genera principalmente de manera silvestre (Rodríguez, 2023), sin embargo, están interesados en comparar las propiedades del suelo donde se encuentra el orégano silvestre, con las propiedades del suelo de un área que han destinado para experimentar con orégano cultivado. Es por ello que se realizó la presente investigación en la que el objetivo general fue comparar los resultados con los parámetros establecidos en manuales de suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en Saucillo, Chihuahua, México, con el área silvestre ubicada en 28°03'16"N, 105°13'52"W a 1249 msnm (1.62 ha y perímetro de 1.28 km) y el área cultivada en 28°05'28"N, 105°16'16"W a 1194 msnm (4.93 ha y perímetro de 0.94 km). El suelo en el área silvestre fue chernozem y en el cultivado vertisol. La zona de investigación fue de clima es seco y semicálido, con precipitación anual de 200-400 mm y temperaturas de 16-20°C (INEGI, 2010). Las muestras se recolectaron en octubre de 2023, se tomaron diez muestras de suelo de cada área siguiendo la NOM 021 (SEMARNAT, 2002), utilizando pala recta a una profundidad de 30 cm en patrón de zigzag, se almacenaron en bolsas Ziploc con un peso seco de aproximadamente un kilogramo.

Para medir la textura, se pesaron 50 g de suelo y se mezclaron con hexametáfosfato de sodio y agua destilada. Se tomaron lecturas del hidrómetro a los 40 segundos y a las dos horas (Richards, 1964). La densidad aparente (DA) se calculó usando el método del terrón cubierto de parafina: los terrones se pesaron, se sumergieron en parafina líquida a 60°C y se pesaron en agua (Blake & Hartge, 1986). La materia orgánica se determinó pesando 0.5 g de suelo, añadiendo dicromato de potasio y ácido sulfúrico, agitando, reposando, añadiendo agua, ácido fosfórico y difenilamina, y titulando con sulfato ferroso hasta obtener un color verde claro (Aguilar, 1987). El pH pasta se midió en un potenciómetro (Hanna Instruments HI5521-01, Hanna Instruments, Cluj-Napoca, Rumanía) saturando 400 g de suelo seco con agua desionizada, filtrando la mezcla y añadiendo fosfato de sodio al 0.1% (Richards, 1964). La conductividad eléctrica (CE) se midió utilizando un medidor multiparámetro (Thermo Scientific Orion Star A215, Thermo Fisher Scientific Massachusetts, EUA), calibrado según las indicaciones del fabricante (Richards, 1964). Los carbonatos totales se determinaron añadiendo HCl 0.5 N a 1 g de suelo, calentando, enfriando, añadiendo agua y fenolftaleína, y titulando con NaOH hasta obtener un color rosado. Los cationes intercambiables se determinaron usando un espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer Analyst 200., Perkin Elmer Massachusetts, EUA) se extrajeron de 5 g de suelo con NH₄OAc, centrifugando y midiendo Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y Na⁺ (Aguilar, 1987). Los carbonatos y bicarbonatos se calcularon disolviendo 10 g de suelo en agua, filtrando, añadiendo HCl y registrando el volumen de ácido utilizado (Aguilar, 1987).

Los cloruros se determinaron disolviendo suelo en agua, filtrando, añadiendo cromato de potasio y titulando con nitrato de plata hasta observar un cambio de color rojo (Aguilar, 1987). Los sulfatos se midieron disolviendo la muestra en agua, filtrando, añadiendo cloruro de bario y midiendo la turbidez con un turbidímetro (Hach 2100Q, Hach Company, Colorado, EUA). El fósforo se determinó mezclando 2.5 g de suelo

con bicarbonato de sodio, filtrando, añadiendo una solución reductora y leyendo la absorbancia a 882 nm (Olsen *et al.*, 1954). Los nitratos se midieron disolviendo suelo en agua, filtrando, añadiendo un reactivo reductor y un reactivo de detección, y midiendo el color a 540 nm con un espectrofotómetro UV/visible (HACH DR2800, Hach Company, Colorado, EUA.) (Richards, 1964). Los nutrientes aprovechables se extrajeron con acetato de amonio para potasio y con EDTA para hierro, manganeso, zinc y cobre, midiendo las concentraciones por absorción atómica (Aguilar, 1987).

Los análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Nutrición Vegetal y Análisis de Suelos y Agua de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales el 16 de octubre 2023. Las medias de las variables de interés, junto con sus desviaciones estándar (media \pm De), fueron calculadas y analizadas. La comparación de medias entre los suelos cultivados y silvestres se realizó mediante la prueba t de Student para muestras independientes, utilizando el software SPSS, versión 25, con un nivel de significancia de 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se observan los resultados de los parámetros físicos del suelo de orégano silvestre y cultivado además de la interpretación de acuerdo a Cihacek (1985). Destacando que según la clasificación de Bunes (2020), el suelo del silvestre es franco arcilloso mientras que el cultivado es franco arenoso. Ambos suelos tienen una densidad aparente media (Siebe, 2016).

Tabla 1. Parámetros físicos del suelo de orégano silvestre y cultivado.

Parámetro	Silvestre		Cultivado	
	Media \pm De	Interpretación	Media \pm De	Interpretación
Arena %	25.60 \pm 18.47		64.40 \pm 2.54	
Limo %	32.30 \pm 13.59		18.60 \pm 1.64	
Arcilla %	41.00 \pm 7.39		17.10 \pm 1.10	
Densidad Aparente g/cm ³	1.43 \pm 0.09	Media	1.44 \pm 0.0	Media
CaCO ₃ TOTALES %	0.36 \pm 0.04	Muy bajo	0.39 \pm 0.08	Muy bajo
Materia orgánica %	3.78 \pm 0.45	Alto	0.83 \pm 0.33	Bajo
pH Pasta	7.88 \pm 0.14	Alcalino ligero	8.04 \pm 0.11	Alcalino moderado
C.E. mmhos/cm	0.71 \pm 0.04	Muy bajo	0.68 \pm 0.08	Muy bajo

Nota: Medias y Desviación Estándar (De). Se realizó la prueba de t de student para 10 muestras independientes tomadas a 30 cm de profundidad. Las interpretaciones se basan en rangos establecidos para cada parámetro (Cihacek, 1985).

El suelo es alcalino ligero para el silvestre y alcalino moderado para el cultivado, Papachristou (2009) menciona que el orégano prefiere suelos con pH ligeramente ácido a neutro, pues los suelos muy ácidos o muy alcalinos pueden afectar negativamente el crecimiento y la absorción de nutrientes. En cuanto a la textura, el suelo del orégano cultivado es mejor ya que de acuerdo a Mazzola (2008) los suelos arenosos o limosos son ideales para la producción de orégano ya que poseen buena capacidad de drenaje, mientras que los suelos arcillosos aumentan el riesgo de enfermedades radiculares.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

En la Tabla 2 se muestran los parámetros de sales solubles de cationes y aniones (mEq/L) así como su interpretación. En cuanto al análisis de sodio ambos suelos presentaron niveles bajos que representa un parámetro favorable para el cultivo del orégano. El análisis de potasio indicó en el silvestre bajo nivel que es común al ser un suelo natural, mientras que en el cultivado se observó un aumento considerable y una desviación estándar alta que sugiere que se adicionó a través de fertilizantes sin estar distribuido uniformemente en el suelo (Richards, 1980).

Tabla 2. Parámetros de sales solubles del suelo de orégano silvestre y cultivado.

Parámetro	Silvestre		Cultivado	
	Media ± De	Interpretación	Media ± De	Interpretación
Ca ⁺⁺ mEq/L	3.17 ± 0.66	Bajo	3.10 ± 0.47	Bajo
Mg ⁺⁺ mEq/L	0.77 ± 0.22	Medio	0.59 ± 0.24	Medio
Na ⁺ mEq/L	6.06 ± 0.83	Bajo	6.06 ± 0.83	Bajo
K ⁺ mEq/L	0.52 ± 0.12	Medio	2.45 ± 1.84	Muy alto
CO ₃ mEq/L	0.04 ± 0.09	Bajo	0.03 ± 0.11	Bajo
HCO ₃ mEq/L	3.33 ± 0.67	Alto	2.51 ± 0.48	Alto
Cl ⁻ mEq/L	4.13 ± 0.34	Moderado	4.08 ± 0.46	Moderado
SO ₄ mEq/L	3.15 ± 0.67	Bajo	0.32 ± 0.17	Bajo

Nota: Medias y Desviación Estándar (De). Se realizó la prueba de t de student para 10 muestras independientes tomadas a 30 cm de profundidad. Las interpretaciones se basan en rangos establecidos para cada parámetro (Richards, 1980).

En la Tabla 3 se encuentran los parámetros de nutrientes aprovechables (ppm). Destacó la variación de las medias de Mn, en el suelo silvestre es alto mientras que en el cultivado es moderado. Las medias de potasio varían considerablemente lo que indica que no existe una distribución uniforme en ambos suelos (Cihacek, 1985).

Tabla 3. Parámetros de nutrientes aprovechables del suelo de orégano silvestre y cultivado.

Parámetro (ppm)	Silvestre		Cultivado	
	Media ± De	Interpretación	Media ± De	Interpretación
NO ₃ ppm	11.04 ± 8.11	Moderado	18.97 ± 5.18	Moderado
P ppm	6.16 ± 0.76	Muy bajo	3.31 ± 0.66	Muy bajo
K ppm	867.50 ± 49.46	Alto	1045.50 ± 40.02	Alto
Fe ppm	2.009 ± 0.37	Bajo	1.10 ± 0.03	Bajo
Zn ppm	0.878 ± 0.76	Moderado	0.27 ± 0.04	Bajo
Cu ppm	0.29 ± 0.03	Bajo	0.23 ± 0.03	Bajo
Mn ppm	2.31 ± 0.16	Alto	1.28 ± 0.12	Moderado

Nota: Medias y Desviación Estándar (De). Se realizó la prueba de t de student para 10 muestras independientes tomadas a 30 cm de profundidad. Las interpretaciones se basan en rangos establecidos para cada parámetro (Cihacek, 1985).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Renaud (2001) menciona que el Nitrógeno (N) es esencial para el crecimiento del orégano, el parámetro adecuado para esta planta es entre 50-100 kg/ha, ambos suelos tienen deficiencia de Nitrógeno. Por otra parte, un nivel adecuado de fósforo mejora la floración, en el caso del orégano el suelo debe contener al menos 15-25 ppm, estando ambos suelos por debajo de lo indicado (Aguilar, 1987). En cuanto a la cantidad de potasio, Renaud (2001) menciona que se deben tener niveles de entre 100 y 200 ppm, presentando ambos suelos niveles superiores.

CONCLUSIONES

El suelo silvestre presenta un mejor contenido de materia orgánica y un pH más cercano a lo adecuado para el cultivo de orégano. En cambio, el suelo cultivado, aunque tiene una textura más favorable, muestra deficiencias en materia orgánica y un manejo inadecuado de la fertilización, lo que se refleja en los altos niveles de potasio y la falta de uniformidad en su distribución. Ambos suelos muestran deficiencia en nutrientes clave como nitrógeno y fósforo, lo que sugiere la necesidad de un mejor manejo de la fertilidad para optimizar la producción de orégano. Al solucionar las áreas de oportunidad para ambos suelos, se mejorará la producción y calidad del cultivo y una producción óptima de aceites esenciales.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, S. (1987). Fertilidad del suelo y manejo de nutrientes en plantas aromáticas. Universidad de Córdoba.
- Blake, G. R. and K.H. Hartge. 1986. Particle density. In: Klute, A. (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods: Agronomy Monograph no. 9* (2nd ed.). 377-382.
- Buness, V., Schad, P., Rau, M. y García-Franco, N. (2020). *Flujograma definitivo de la textura de suelos*. Múnich: Universidad Técnica de Múnich.
- Castillo-Valdez, Ximena, Etchevers, J. D., Hidalgo-Moreno, Claudia Ma. I., & Aguirre-Gómez, Arturo. (2021). Evaluación de la calidad de suelo: generación e interpretación de indicadores. *Terra Latinoamericana*, 39, e698. Epub 05 de abril de 2021. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.698>
- Cihacek L.J. 1985. *Interpreting Soil Analysis*. Cooperative Extension Service. Guide A-126. New Mexico State University
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010: Saucillo, Chihuahua*.
- Núñez-Peñaloza, J. L., Pérez-Nieto, J., & Prado-Hernández, J. V. (2023). Análisis de indicadores e índices de calidad de suelos en México. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 14(6), e3148. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i6.3148>
- Mazzola, M. (2008). Soil-borne pathogens and root diseases in crops with heavy soils. *Phytopathology*, 98(5), 523-530.
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., & Dean, L. A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circular*, 939.
- Papachristou, E. (2009). Soil pH and its influence on the cultivation of oregano. *Journal of Agricultural Research*, 45(4), 78-82.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Renaud, E. N., & Charles, D. J. (2001). Essential oil production and nutrient management in oregano cultivation. *Horticultural Science*, 36(4), 743-748.
- Richards, L. (Ed.) (1964). Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 3a. edición. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.
- Richards, L. A. (1980). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. U.S. Department of Agriculture.
- Rodríguez A. C. (2023) Presidente de la Asociación de Oreganeros del Conchos S.P. de R.L. de C.V. Entrevista personal
- SEMARNAT, (2000). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 31 de diciembre de 2002
- Siebe, C., Jahn, R. y Stahr, K. (2016). *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo*. 3° Edición
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38.



PROMOCIÓN DE CRECIMIENTO DE MAÍZ POR EFECTO DE FUENTES DE CARBONO EN COMUNIDADES DE PGPR

Guadalupe Medina de la Rosa^{1,2}; Abraham Saavedra Bermúdez¹; Lucía López Reyes^{1*}; Moisés Graciano Carcaño Montiel¹; Refugio Armando Tapia Hernández¹

¹Centro de Microbiología-Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. CP. 72570. Puebla, Pue., México.

²Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología.

* Correo electrónico: lucia.lopez@correo.buap.mx

RESUMEN

El uso de alternativas biológicas a base de microorganismos en la agricultura, es una práctica de gran interés en la actualidad. Las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR) se encuentran de manera natural en el suelo y poseen mecanismos que favorecen el crecimiento de la planta, su protección contra patógenos e incluso la tolerancia a estrés ambiental, sin embargo, factores como la disponibilidad de fuentes de carbono, propiedades del suelo y otras variables inherentes a los hospederos, influyen en su presencia y actividad enzimática. En este trabajo se buscó estimular el crecimiento de plantas de maíz a través del incremento en la actividad enzimática de las PGPR en suelo como respuesta a la aplicación de diferentes fuentes de carbono, para lo que se utilizaron suelos agrícolas de los municipios de San Nicolás de los Ranchos (Puebla) y San José Teacalco (Tlaxcala). Se observó que la aplicación de aminoácidos, ácidos orgánicos y azúcares favorecieron la actividad microbiana del suelo, especialmente de la enzima deshidrogenasa. El tratamiento con la mezcla de ácidos cítrico y málico aumentó la altura de las plantas de maíz y junto con la mezcla de aminoácidos (arginina y metionina), redujo el daño en tallo por lesiones fúngicas. En el suelo, la aplicación de aminoácidos disminuyó el pH, el cual tuvo un efecto significativo sobre la actividad enzimática. El uso de fuentes de carbono, podría favorecer la presencia y actividad de grupos específicos de PGPR en el suelo y mejorar el desarrollo de las plantas.

PALABRAS CLAVE

Actividad enzimática; Arginina; Metionina; Rizósfera; *Zea mays* L.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cereales con mayor demanda en todo el mundo y en México es el cultivo de mayor extensión de siembra (SIAP, 2023). Sin embargo, su producción se basa en el uso de fertilizantes y pesticidas sintéticos que generan contaminación en el ecosistema y pueden tener un efecto negativo en la salud (Rani *et al.*, 2021). Las alternativas basadas en la aplicación de inoculantes microbianos buscan aprovechar los mecanismos para el control de enfermedades y la disponibilidad de nutrientes de las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés) (Babalola, 2010). Entre los mecanismos más sobresalientes, se encuentra la fijación de nitrógeno (Montezano *et al.*, 2019), la mineralización y

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

solubilización de fósforo (Zhang *et al.*, 2020), la producción de hormonas, enzimas líticas y otros metabolitos que intervienen en la activación de la respuesta inmune de la planta o actúan como inhibidores de otros microorganismos (Santoyo *et al.*, 2021).

En la rizósfera, el reclutamiento de las PGPR depende de la influencia del hospedero, el cual libera una gran variedad de compuestos (ácidos orgánicos, aminoácidos, azúcares, etc.) que generan un ambiente único que permite el establecimiento de organismos benéficos (Lareen *et al.*, 2016). Estos compuestos sirven como fuentes de carbono que pueden ser aprovechados por los microorganismos, por ejemplo, la presencia de arginina y metionina en la rizósfera de *Agave lechuguilla* T., se relacionó con un aumento en la abundancia y actividad enzimática de bacterias fijadoras de nitrógeno y mineralizadoras de fosfatos (Medina-de la Rosa *et al.*, 2023b). Los ácidos cítrico, málico, oxálico, entre otros, son fuentes ricas de energía para el crecimiento microorganismos (Babalola, 2010); mientras que azúcares como la xilosa, ribosa, melobiosa y maltosa están relacionados con suelos sanos que aumentan la tolerancia a enfermedades (Wen *et al.*, 2023).

Como se puede observar, el uso de metabolitos específicos podría favorecer comunidades específicas de bacterias que ayuden al crecimiento y protección de las plantas, por ello en este trabajo, se propuso evaluar mezclas de ácidos orgánicos, aminoácidos y azúcares sobre la actividad enzimática de bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN), mineralizadoras de fosfatos orgánicos (BMFO) y quitinolíticas (BQ) del suelo, para determinar si esta variación se reflejaba en el desarrollo de plantas de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

La prueba con metabolitos se realizó con suelos agrícolas que se colectaron en los municipios de San Nicolás de los Ranchos (SNR), Puebla (19°04'13"N 98°27'49"O) y San José Teacalco (SJT), Tlaxcala (19°21'06"N 98°02'11"O). El muestreo se realizó de manera aleatoria en un campo de cultivo de cada municipio hasta una profundidad de 30 cm, de donde se tomó aproximadamente 1 kg de suelo hasta coleccionar alrededor de 50 kg. Se realizó un análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo de cada una de las zonas de muestreo y posterior a la aplicación de los tratamientos, se midió el pH y conductividad eléctrica, según la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000.

Con el suelo homogenizado y tamizado (2mm), se llenaron macetas de 6 pulgadas y se sembró maíz blanco criollo (humedad ~60%). Con 20 cm de altura de las plantas, se raleo para dejar una sola planta por maceta, se fertilizó con fosfato diamónico y tres días después se aplicaron las mezclas de metabolitos en solución (600 $\mu\text{g g}^{-1}$ suelo seco): ácidos orgánicos (cítrico+málico), aminoácidos (arginina+metionina) y azúcares (melobiosa+xilosa). Al testigo se aplicó agua destilada estéril (n=5). Treinta días después, las plantas se colectaron y se midió: altura, diámetro de tallo, número de hojas, porcentaje de daño foliar y en tallo y masa seca (IPO, 1986). Los cambios en la actividad microbiana del suelo se registraron con la actividad de la enzima deshidrogenasa, donde se midió la cantidad de trifenílformazan liberado a partir de cloruro de 2,3,5-trifeníltetrazolio (Sigma-Aldrich T8877) (Lorch *et al.*, 1995). La actividad de fosfodiesterasa alcalina (FDE) se cuantificó con la cantidad de p-nitrofenol liberado a partir de bis(p-nitrofenol) fosfato (Sigma-Aldrich N3002) (Eivazi

and Tabatabai, 1977). La fijación de nitrógeno se midió con la técnica de reducción de acetileno (López-Lozano *et al.*, 2016). Por último, la actividad de la quitinasa se cuantificó con la cantidad de N-acetil-D-glucosamina (NAG) producida a partir de 4-nitrofenil N-acetil-β-D-glucosaminida (Sigma Aldrich N9376) (Castro *et al.*, 2011).

Los resultados se analizaron con el programa R (versiones 4.3.3) en la plataforma Rstudio (2024.04.0.735) (R Core Team, 2020). Se evaluó la normalidad de los datos (Shapiro-Wilk) y se realizaron las pruebas de Kruskal-Wallis y Dunn, para identificar diferencias entre las medias. Con los paquetes FactoMineR y factoextra (V. 1.0.7) se hizo un análisis de componentes principales (PCA) para identificar la influencia de los metabolitos sobre las variables de la planta y las enzimas.

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas de los suelos de San Nicolás de los Ranchos, Puebla y San José Teacalco, Tlaxcala utilizados en la prueba de invernadero.

Municipio	pH	CE dS m ⁻¹	Materia orgánica %	N total	P mg kg ⁻¹	CIC	Ca	Mg	Na	K	DA g m ⁻¹	Arena:Limo:Arcilla Textura
San Nicolás de los Ranchos	6.5	0.22	1.97	0.11	213.9	9.6	5.6	2.0	1.0	0.3	1.36	80:14:16 Franco arenoso
San José Teacalco	5.5	0.55	0.29	0.06	6.9	9.3	4.0	1.6	0.2	0.2	1.96	70:24:06 Franco arenoso

* CE= Conductividad eléctrica, CIC= Capacidad de intercambio catiónico, DA= Densidad aparente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos de ambos municipios mostraron una textura franco arenosa, con un mayor porcentaje de materia orgánica (1.97%, Cuadro 1) en SNR y sin embargo en promedio tuvo una menor actividad la enzima deshidrogenasa ($228.54 \pm 16.18 \mu\text{g TPF g}^{-1}$) comparado con el tratamiento testigo de SJT ($506.15 \pm 17.20 \mu\text{g TPF g}^{-1}$; Cuadro 2).

La actividad de la enzima deshidrogenasa presentó un incremento similar en todos los tratamientos con metabolitos y en ambos municipios ($p < 0.05$; Cuadro 2), probablemente como respuesta al incremento de la disponibilidad de carbono y energía por los compuestos aplicados (Macias-Benitez *et al.*, 2020). La actividad de la enzima deshidrogenasa es utilizada para evaluar la fertilidad de los suelos, por ejemplo, una es posible registrar una disminución gradual de la actividad conforme avanza el deterioro en suelos erosionados (Kumar *et al.*, 2013).

La actividad FDE en los suelos de SNR disminuyó con la mezcla de ácidos orgánicos a $64.22 \pm 4.33 \mu\text{NP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ comparado con el testigo $84.58 \pm 2.44 \mu\text{NP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ($p < 0.05$). En contraste, el testigo de SJT tuvo una actividad de $31.61 \pm 1.60 \mu\text{NP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ que mostró una tendencia a incrementarse con la aplicación de metabolitos ($p < 0.05$, Cuadro 2). Esta respuesta podría atribuirse a la gran cantidad de fósforo en el suelo de SNR (213.9 mg kg^{-1}) que, junto con la disminución en el pH por la aplicación de los metabolitos, pudo favorecer la solubilización del fosfato mineral y reducir la actividad de la FDE; tal como se ha observado con los ácidos cítrico, málico y oxálico presentes en los exudados radicales que favorecen la movilización de fósforo en el suelo (Wu *et al.*, 2013).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cuadro 2. Actividad enzimática en suelo de los municipios San Nicolás de los Ranchos (Puebla) y San José Teacalco (Tlaxcala) sembrado con maíz tratado con mezclas de ácidos orgánicos, aminoácidos y azúcares.

Municipio	Tratamiento	Deshidrogenasa $\mu\text{g TPF g}^{-1}$	Fosfodiesterasa $\mu\text{NP g}^{-1} \text{h}^{-1}$	Quitinasa $\mu\text{mol NAG g}^{-1} \text{h}^{-1}$	Nitrogenasa $\mu\text{M C}_2\text{H}_4 \text{día}^{-1} \text{kg}^{-1}$
San Nicolás de los Ranchos, Puebla	Ácidos	383.05 \pm 35.90 a	64.93 \pm 17.15 ab	87.47 \pm 4.98 a	27.35 \pm 5.46 a
	Aminoácidos	359.64 \pm 17.92 a	64.22 \pm 4.33 a	84.83 \pm 4.44 a	15.16 \pm 3.31 a
	Azúcares	363.23 \pm 11.71 a	92.08 \pm 5.30 b	84.75 \pm 3.37 a	10.88 \pm 1.18 a
	Testigo	228.54 \pm 16.18 b	84.58 \pm 2.44 b	68.22 \pm 4.95 b	36.27 \pm 7.32 b
San José Teacalco, Tlaxcala	Ácidos	649.15 \pm 50.70 ab	70.98 \pm 25.73 ab	103.00 \pm 1.70 ab	17.20 \pm 1.93 ab
	Aminoácidos	760.65 \pm 55.80 a	61.29 \pm 3.57 ab	95.76 \pm 1.80 a	32.41 \pm 3.47 a
	Azúcares	531.15 \pm 54.88 bc	70.62 \pm 10.19 a	107.92 \pm 6.26 b	9.65 \pm 1.10 b
	Testigo	506.15 \pm 17.20 c	31.61 \pm 1.60 b	98.47 \pm 2.89 ab	9.34 \pm 1.56 ab

* TPF= Trifenilformazan, NP= p-Nitrofenol, NAG= 4-nitrofenil N-acetil- β -D-glucosaminida, C₂H₄= Etileno.

La actividad quitinolítica en el suelo de SNR incrementó de manera similar en los tres tratamientos con soluciones de metabolitos 84.75 \pm 3.37 a 87.47 \pm 4.98 $\mu\text{mol NAG g}^{-1} \text{h}^{-1}$, mientras que, en el suelo de SJT, los tratamientos se mantuvieron con una actividad similar al testigo, pero con diferencia entre aminoácidos (95.76 \pm 1.80 $\mu\text{mol NAG g}^{-1} \text{h}^{-1}$) y azúcares (107.92 \pm 6.26 $\mu\text{mol NAG g}^{-1} \text{h}^{-1}$) ($p < 0.05$, Cuadro 2). Este cambio se puede relacionar con la tendencia a la disminución en el daño en tallo de 11.50 a 4.25% en SNR y de 17.50 % (SJT) a 3.00% ($p < 0.05$), con la aplicación de ácidos orgánicos. Las enzimas quitinolíticas tienen el potencial de control de organismos dañinos como los hongos que cuentan con una pared celular con quitina (Karthik *et al.*, 2015).

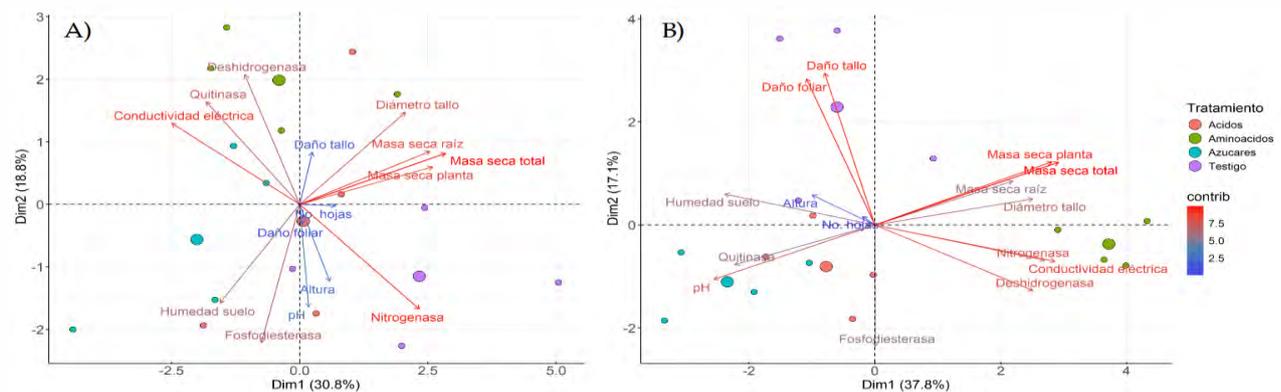


Figura 1. Análisis de componentes principales con características fenológicas de la planta y actividad enzimática por municipio. A) San Nicolás de los Ranchos, Puebla y B) San José Teacalco, Tlaxcala.

La actividad nitrogenasa en el suelo de SNR tratado con los metabolitos disminuyó con respecto al testigo ($p < 0.05$) y para SJT se registró un incremento con la mezcla de aminoácidos (32.41 \pm 3.47 $\mu\text{M C}_2\text{H}_4 \text{día}^{-1} \text{kg}^{-1}$) con respecto a la de azúcares (9.65 \pm 1.10 $\mu\text{M C}_2\text{H}_4 \text{día}^{-1} \text{kg}^{-1}$) ($p < 0.05$, Cuadro 2). Esta diferencia en el comportamiento entre ambos suelos podría atribuirse al porcentaje de materia orgánica y N, de los cuales tiene una mayor proporción el suelo de SNR (Cuadro 1), cabe recordar que la reacción

de fijación de nitrógeno es costosa para los microorganismos por lo que se aprovecharían otras fuentes orgánicas disponibles (Medina-de la Rosa *et al.*, 2023a). Son justamente los cambios observados en las actividades enzimáticas las cuales determinan la agrupación de las muestras de acuerdo a los metabolitos aplicados, especialmente en el tratamiento con aminoácidos, mientras que los ácidos orgánicos y azúcares tienen patrones un poco más similares en su respuesta (Figura 1). Sin embargo, es posible que falte explorar otros mecanismos de las PGPR que influyan en el crecimiento de la planta, puesto que se observó el incremento en la altura de las plantas bajo el tratamiento con ácidos orgánicos, sembradas en el suelo de SNR (129.63 ± 2.59 cm), con respecto al resto de los tratamientos y el testigo (116.38 ± 3.80 cm; $p < 0.05$); aunque parece tener poca relación con las actividades enzimáticas evaluadas.

CONCLUSIONES

La aplicación de fuentes de carbono, incrementó la actividad enzimática del suelo, mientras que en las plantas de maíz se observó el incremento en la altura y la reducción en el porcentaje de daño producido por síntomas de hongos fitopatógenos. Por lo que se concluye que el uso de ácidos orgánicos, aminoácidos y azúcares puede favorecer el desarrollo de la planta a través del incremento en la actividad microbiana del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Al apoyo otorgado por CONAHCyT en el marco de la Convocatoria Estancias Posdoctorales por México 2022 (1), CUV 626209. Los gastos de la investigación fueron cubiertos por la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado (VIEP-BUAP2024 100155588) y el programa BIOFERTIBUAP® de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

BIBLIOGRAFÍA

- Babalola, O. O. (2010). Beneficial bacteria of agricultural importance. *Biotechnol. Lett.* 32, 1559–1570. doi: 10.1007/s10529-010-0347-0
- Castro, R., Álvarez, A., Machado, E., Mendoza, M., Gómez, R., and García, P. (2011). Caracterización de una quitinasa extracelular producida por *Serratia* sp. BIOMI-363706 usando quitina coloidal como sustrato. *Rev. la Soc. Química Perú* 77, 101–108.
- Eivazi, F., and Tabatabai, M. A. (1977). Phosphatases in soils. *Soil Biol. Biochem.* 9, 167–172. doi: 10.1016/0038-0717(77)90070-0
- IPO (1986). *Rust scoring guide.*, 1º, ed. CIMMYT. México, D.F.: CIMMYT. Available at: <http://repository.cimmyt.org/xmlui/handle/10883/1109>
- Karthik, N., Binod, P., and Pandey, A. (2015). Purification and characterisation of an acidic and antifungal chitinase produced by a *Streptomyces* sp. *Bioresour. Technol.* 188, 195–201. doi: 10.1016/j.biortech.2015.03.006

- Kumar, S., Chaudhuri, S., and Maiti, S. K. (2013). Soil dehydrogenase enzyme activity in natural and mine soil - A review. *Middle East J. Sci. Res.* 13, 898–906. doi: 10.5829/idosi.mejsr.2013.13.7.2801
- Lareen, A., Burton, F., and Schäfer, P. (2016). Plant root-microbe communication in shaping root microbiomes. *Plant Mol. Biol.* 90, 575–587. doi: 10.1007/s11103-015-0417-8
- López-Lozano, N. E., Carcaño-Montiel, M. G., and Bashan, Y. (2016). Using native trees and cacti to improve soil potential nitrogen fixation during long-term restoration of arid lands. *Plant Soil* 403, 317–329. doi: 10.1007/s11104-016-2807-3
- Lorch, H., Benckieser, G., and Ottow, J. (1995). “Basic methods for counting microorganisms in soil and water,” in *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*, eds. K. Alef and P. Nannipieri (Great Britain: Academic press), 146–161.
- Macias-Benitez, S., Garcia-Martinez, A. M., Caballero Jimenez, P., Gonzalez, J. M., Tejada Moral, M., and Parrado Rubio, J. (2020). Rhizospheric Organic Acids as Biostimulants: Monitoring Feedbacks on Soil Microorganisms and Biochemical Properties. *Front. Plant Sci.* 11, 1–16. doi: 10.3389/fpls.2020.00633
- Medina-de la Rosa, G., García-Oliva, F., and López-Lozano, N. E. (2023a). Arginine and methionine increase the enzymatic activity of microbes involved in N and P cycles in arid soil from the Chihuahuan desert. *Eur. J. Soil Biol.* 117, 103517. doi: 10.1016/j.ejsobi.2023.103517
- Medina-de la Rosa, G., García-Oliva, F., Ovando-Vázquez, C., Celis-García, L. B., López-Reyes, L., and López-Lozano, N. E. (2023b). Amino Acids in the Root Exudates of *Agave lechuguilla* Torr. Favor the Recruitment and Enzymatic Activity of Nutrient-Improvement Rhizobacteria. *Microb. Ecol.* 86, 1176–1188. doi: 10.1007/s00248-022-02162-x
- Montezano, J., Rossetti, J., Freitas, T., Rattes de Almeida, C., Fitzgerald, A., and Seldin, L. (2019). Nitrogen Fixing and Phosphate Mineralizing Bacterial Communities in Sweet Potato Rhizosphere Show a Genotype-Dependent Distribution. *Diversity* 11, 1–11. doi: 10.3390/d11120231
- R Core Team, _ (2020). R: A language and environment for statistical computing. Available at: <https://www.r-project.org/>
- Rani, L., Thapa, K., Kanojia, N., Sharma, N., Singh, S., Grewal, A. S., et al. (2021). An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. *J. Clean. Prod.* 283, 124657. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124657
- Santoyo, G., Urtis-Flores, C. A., Loeza-Lara, P. D., Orozco-Mosqueda, M. del C., and Glick, B. R. (2021). Rhizosphere Colonization Determinants by Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR). *Biology (Basel)*. 10, 475. doi: 10.3390/biology10060475
- SIAP (2023). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola.
- Wen, T., Xie, P., Liu, H., Liu, T., Zhao, M., Yang, S., et al. (2023). Tapping the rhizosphere metabolites for the prebiotic control of soil-borne bacterial wilt disease. *Nat. Commun.* 14, 4497. doi: 10.1038/s41467-023-40184-2

- Wu, Y., Zhou, J., Yu, D., Sun, S., Luo, J., Bing, H., *et al.* (2013). Phosphorus biogeochemical cycle research in mountainous ecosystems. *J. Mt. Sci.* 10, 43–53. doi: 10.1007/s11629-013-2386-1
- Zhang, L., Peng, Y., Zhou, J., George, T. S., and Feng, G. (2020). Addition of fructose to the maize rhizosphere increases phosphatase activity by changing bacterial community structure. *Soil Biol. Biochem.* 142, 107724. doi: 10.1016/J.SOILBIO.2020.107724



PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUELOS EN PARQUES DE CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA

**Juan Pedro Flores Margez^{1†}; Francisco Javier Núñez Sanchez²,
Pedro Osuna Avila¹**

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, UACJ, Av. Plutarco Elías Calles no. 1210, Foviste Chamizal, 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua, México

² Junta Municipal de Agua y Saneamiento, Ciudad Juárez, Chihuahua.

† Autor para correspondencia (juflores@uacj.mx) tel. 656-395-9420

RESUMEN

La falta de información sobre las propiedades físicas y químicas del suelo en parques urbanos es una limitante técnica para la toma de decisiones en el manejo adecuado de los recursos agua, suelo y vegetación, tal como lo presentan los parques en Ciudad Juárez, Chihuahua. El objetivo fue identificar los parques principales del norte de la Ciudad para muestreo de suelos y analizar la textura, densidad aparente, pH, conductividad eléctrica, nitrógeno inorgánico, nitrógeno total, fósforo inorgánico y materia orgánica del suelo. Se colectaron tres muestras compuestas en seis parques, a profundidades de 0 a 30 y 30 a 60 cm mediante un método de muestreo en zig-zag, el suelo fue secado y tamizado a 2 mm. Los métodos de análisis físicos y químicos se realizaron conforme la norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Los resultados mostraron un pH de los suelos que vario de 7.02 a 8.47, neutro a ligeramente alcalino. La concentración de nitrógeno en forma de amonio vario de 0 a 113 mg/kg, en forma de nitratos fue 11.7 a 128 mg/kg, es decir una suma del N inorgánico de 15 a 241 mg/kg. La cantidad de N total que en su mayoría incluye N orgánico estuvo entre 382 y 2982 mg/kg. La concentración de fósforo inorgánico (Olsen) en el suelo vario de 0 a 297 mg/kg. El porcentaje de carbono orgánico vario de 0.08 a 2.07, mientras que para el contenido de materia orgánica fue de 0.13 a 3.55%. Con respecto a parámetros físicos del suelo, las texturas variaron de franca a franca-arenosa en su mayoría, con rangos para el contenido de arena, limo y arcilla de 15 a 73%, 20 a 52% y 6 a 37%, respectivamente. La densidad aparente de los suelos vario de 1.25 a 1.81 g/cm³, mientras que los contenidos de humedad al momento del muestreo también fueron muy variables, de 7.4 a 22.5%. Los parámetros analizados en este estudio se consideran estratégicos para la toma de criterios en el manejo de los suelos y del agua de riego, ya que las áreas varían considerablemente debido al uso social recreativo.

PALABRA CLAVE

Granulometría; Nutrientes; Materia orgánica; pH; Salinidad.

INTRODUCCIÓN

El desconocimiento de las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos en parques urbanos es uno de los problemas comunes que limitan su manejo adecuado tanto a nivel mundial como en México. Tanto el agua como los fertilizantes y residuos orgánicos se aplican sin conocimiento técnico, lo que ocasiona problemas de calidad

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

edáfica, baja eficiencia del uso del agua y como consecuencia vegetación raquítica. Por ello, la necesidad de generar información que sirva de base a quienes toman decisiones en los parques y jardines de los grandes centros urbanos, tales como los que se encuentra ubicados en la zona norte de Ciudad Juárez, Chihuahua, que colinda con el Río Bravo, frontera internacional con la ciudad de El Paso, Texas. Estos parques tienen un intenso uso social y representan el pulmón principal de la ciudad, sin embargo, no se cuenta con su caracterización edáfica. Con relación a estudios previos en estos parques, el Instituto Municipal de Investigación y Planeación (IMIP, 2017) propuso un plan maestro para mejorar las condiciones e imagen de estas áreas recreativas, pero no se consideraron detalles de áreas verdes y condiciones de suelo. Otro Proyecto fue el “Plan Maestro Mega Parque el Chamizal, realizado por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología del Municipio de Juárez, donde se proponen las investigaciones, diagnósticos, metas, objetivos, estrategias, esquemas y demás para lograr recuperar los parques (SEDUE, 2022; Martínez, 2022; Sánchez, 2020). Recientemente, se planteó implementar un plan de manejo en el parque de manera interinstitucional para determinar la situación actual de las áreas verdes, pero sin resultados (Villalpando, 2022). Los ecosistemas de parques y jardines urbanos se caracterizan por el efecto antropogénico de la descarga de todo tipo de materiales durante las actividades recreativas que finalmente llegan al suelo como reservorio, lo cual impacta en la calidad del suelo, por ejemplo, las concentraciones de nutrientes como el nitrógeno puede exceder las tasas de absorción por las plantas. Cuando se utilizan aguas residuales tratadas para el riego de parques, se ha detectado aumentos en el contenido de materia orgánica, nitrógeno total y fósforo disponible, mejora actividad de microorganismos, pero no efectos en la salinidad del suelo y solo ligeros aumentos de alcalinidad (Chen et al., 2015). También el uso de aguas residuales tiene efecto en las propiedades físicas del suelo, ya que aumenta la estabilidad de micro-agregados en la parte superficial debido al aumento de materia orgánica, así como efectos en tasas de infiltración y porosidad (Salacain et al., 2019). La falta de información sobre las propiedades del suelo no permite establecer técnicas apropiadas para el manejo del agua y nutrientes, así como de la vegetación fue lo que motivo el presente estudio, el cual tuvo como objetivo llevar a cabo una caracterización física y química de los suelos de parques, de tal manera que se pueda contar con información edáfica actualizada que permita estimar dosis de aplicación de fertilizantes y abonos orgánicos, así como para un uso eficiente del agua, lo cual repercute en mejoras de la vegetación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se localizó en la parte norte de Ciudad Juárez, Chihuahua, a 31° 45' 26" de Latitud Norte y 106° 27' 31" de Longitud Oeste, altitud promedio de 1 200 metros sobre el nivel medio del mar. Google earth® (Figura 1). Los suelos de los seis parques estudiados conforme a la clasificación mundial WRB corresponde al grupo Calcisoles (del latín *calx*, cal), son suelos con acumulación sustancial de material calcáreo (carbonato cálcico), ricos en bases, que están muy extendidos en ambientes áridos y semiáridos (WRB, 2015; INEGI, 2017). Estos suelos provienen de depósitos aluviales, coluviales y eólicos de material meteorizado, con un horizonte subsuperficial Cábmico o Árgico, por sus cambios en contenidos de arcilla. De manera más específica, la clasificación del suelo a nivel Serie, se ubica en la *Serie Juárez*, esto de

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

acuerdo con la clasificación de suelos del Distrito de riego del Valle de Juárez realizado en 1969 por la Secretaría de Recursos hidráulicos (CIEPS, 1970). Son suelos jóvenes, mixtos (aluvial-eólico) y originados de rocas ígneas, calizas y areniscas; profundos de color café claro a café, de textura pesada y semipesada hasta 90 cm y descansan sobre un lecho arenoso. Presentan una topografía sensiblemente plana, su desagüe superficial es eficiente y su drenaje interno varía de eficiente a deficiente. Las mediciones de pH se realizaron al pesar 10 g de muestra en una balanza electrónica (Scout™ Pro, OHAUS®), se colocó en frasco de plástico de 100 mL. A la muestra donde se midió el pH, se agregó 20 mL de agua desionizada, se agito durante 15 minutos y se dejó reposar 24 horas, luego se midió la conductividad eléctrica con un conductivímetro marca Thermo electron Co. Orion 3). El valor obtenido de conductividad se multiplico por el factor 2.6 para aproximar al valor real en pasta de saturación. El porcentaje de nitrógeno total se obtuvo con el método Kjeldahl al pesar 0.1 g de muestra seca molida y tamizada, digestión y titulación con ácido sulfúrico utilizando un equipo Labconco (Labconco Co., Kansas City) conforme el procedimiento descrito por Bremner (1996) y Aguilar et al. (1987). Al utilizar el método por calcinación, %M.O. = % cenizas-100, indicado en la Norma NMX-FF-109-SCFI-2008.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 1 muestra que el pH de los suelos de los parques vario de 7.02 a 8.47, neutro a ligeramente alcalino. La concentración de nitrógeno en forma de amonio vario de 0 a 113 mg/kg, en forma de nitratos fue 11.7 a 128 mg/kg, es decir una suma del N inorgánico de 15 a 241 mg/kg. La cantidad de N total que en su mayoría incluye N orgánico estuvo entre 382 y 2982 mg/kg. La concentración de fósforo inorgánico (Olsen) en el suelo vario de 0 a 297 mg/kg. El porcentaje de carbono orgánico vario de 0.08 a 2.07, mientras que para el contenido de materia orgánica fue de 0.13 a 3.55%. Con respecto a parámetros físicos del suelo, las texturas variaron de franca a franca-arenosa en su mayoría, con rangos para el contenido de arena, limo y arcilla de 15 a 73%, 20 a 52% y 6 a 37%, respectivamente. La densidad aparente de los suelos vario de 1.25 a 1.81 g/cm³, mientras que los contenidos de humedad al momento del muestreo también fueron muy variables, de 7.4 a 22.5%. La variabilidad detectada en parámetros físicos y químicos del suelo es normal por tratarse de áreas recreativas donde los suelos reciben diversidad de residuos líquidos y sólidos que alteran su estado natural, por ello la especificación de la clasificación para cada parámetro es descrito en la Norma Mexicana sobre suelos (NOM-021-RECNAT-2000).

Esta información es útil para definir la dosis de fertilización orgánica o inorgánica, manejo de riegos, entre otros. De acuerdo con el estudio de CIEPS (1970), a los suelos cercanos a estos parques se les clasificó como pobres en nitrógeno materia orgánica, medios en fósforo, muy ricos en potasio, calcio y magnesio, con pH que varía de 7.4 a 8.3. La mayoría de los suelos estaban indicados como afectados por sales, se recomendaba aplicar sobre riegos y mejoradores de suelo.

El uso frecuente del parque por la ciudadanía trae como resultado la contaminación por basura sólida y líquida, deterioro de jardines y árboles, en el mantenimiento de las áreas verdes, las podas de pastos no se incorporan al suelo o junto a los troncos de árboles para retención de humedad, es escasa a nula aplicación de abonos orgánicos

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

como compostas y estiércoles, sin embargo, se riega con agua residual tratada que en corto plazo puede enriquecer el suelo con exceso de algunos nutrientes como el amonio, nitratos y fosfatos. Estas circunstancias a largo plazo pueden causar un deterioro en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, especialmente las concentraciones de sales solubles, de nutrientes como el nitrógeno y fósforo, que son macronutrientes importantes para la vegetación.

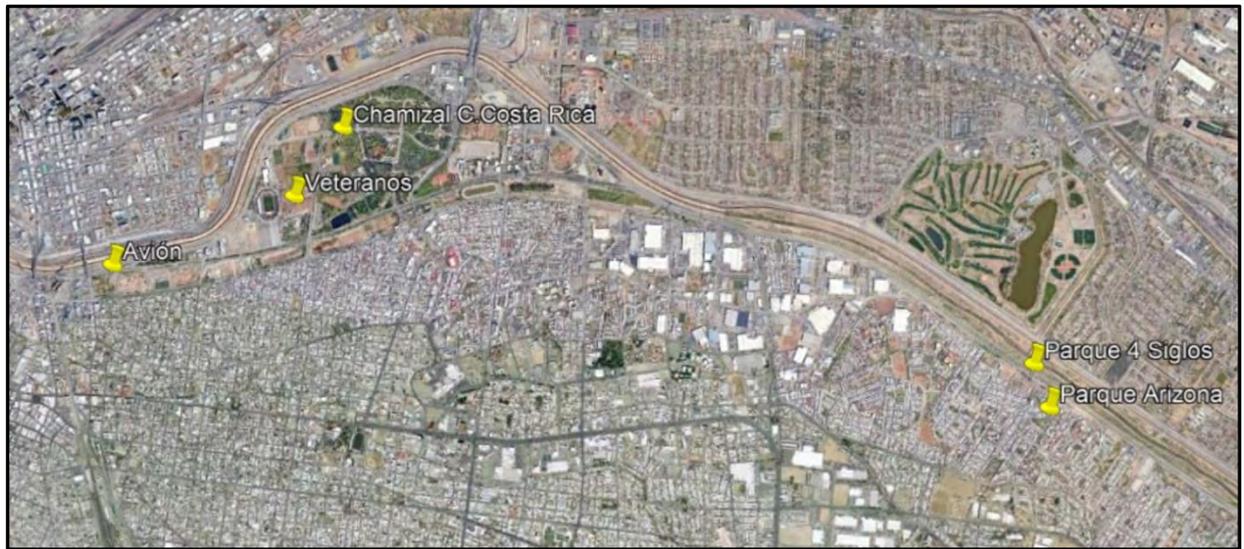


Figura 1. Localización de los cinco sitios de parques al norte de Ciudad Juárez, Chihuahua.

CONCLUSIONES

Los suelos de los parques estudiados presentan mayor variabilidad en sus propiedades químicas que en las físicas, lo cual resulta evidente por la cantidad y diversidad de productos líquidos y sólidos que son vertidos por la ciudadanía al utilizar estas áreas con fines recreativos. Esta información es de utilidad para apoyar el manejo apropiado de los suelos de parques y jardines en Ciudad Juárez, Chihuahua.

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas de los suelos en parques de Ciudad Juárez, Chihuahua.

Sitio de muestreo	Profundidad (cm)	pH	N-NH4 (mg/kg)	N-NO3 (mg/kg)	N inorg. (mg/kg)	Fósforo (mg/kg)	Nitrógeno Total (mg/kg)	Humedad (%)	Densidad ap. (g/cm3)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clasificación textural	Carbono Org. (%)	Materia Org. (%)
Parque Jardín	0-30	7.43	0.00	15.59	15.59	15.87	811.54	19.12	1.510	15.18	30.36	37.64	Franco-arenosa	0.856	1.474
Chamizal C. Rica	30-60	7.47	0.00	15.59	15.59	12.77									
Chamizal C. Rica	0-30	7.62	7.80	23.39	31.18	10.22	989.68	18.09	1.550	15.18	30.36	37.64	Franco-arenosa	0.856	1.474
Chamizal C. Rica	30-60	7.51	3.90	19.49	23.39	44.73									
Chamizal C. Rica	0-30	8.12	3.90	15.59	19.49	4.21	794.74	14.48	1.721	15.18	30.36	37.64	Franco-arenosa	0.856	1.474
Chamizal C. Rica	30-60	7.90	3.90	15.59	19.49	3.36									
Parque Veteranos	0-30	8.04	11.69	27.28	38.98	12.76	529.35	9.52	1.472	51.64	30	18.36	Franca	0.078	0.134
Parque Veteranos	30-60	8.14	15.59	31.18	46.77	25.03									
Parque Veteranos	0-30	8.07	27.28	38.98	66.26	18.15	661.95	11.11	1.542	51.64	30	18.36	Franca	0.078	0.134
Parque Veteranos	30-60	8.06	38.98	50.67	89.64	101.28									
Parque Veteranos	0-30	7.61	109.13	124.72	233.86	59.10	1279.86	8.19	1.807	51.64	30	18.36	Franca	0.078	0.134
Parque Veteranos	30-60	7.74	27.28	42.87	70.16	14.77									
Sitio Avión	0-30	8.08	7.80	27.28	35.08	72.34	795.69	8.41	1.760	73.64	20	6.36	Arenosa franca	0.624	1.072
Sitio Avión	30-60	7.88	42.87	50.67	93.54	31.63									
Sitio Avión	0-30	8.22	11.69	23.39	35.08	49.90	1146.95	14.55	1.659	73.64	20	6.36	Arenosa franca	0.624	1.072
Sitio Avión	30-60	8.47	11.69	19.49	31.18	3.36									
Sitio Avión	0-30	8.07	11.69	11.69	23.39	297.08	2982.92	22.50	1.246	73.64	20	6.36	Arenosa franca	0.624	1.072
Sitio Avión	30-60	7.79	35.08	38.98	74.05	95.58									
Parque C. Arizona	0-30	7.70	38.98	46.77	85.75	3.64	599.16	15.34	1.472	35.64	52	12.36	Franco limosa	1.753	3.015
Parque C. Arizona	30-60	7.66	54.57	58.46	113.03	3.65									
Parque C. Arizona	0-30	8.05	7.80	15.59	23.39	4.80	382.41	9.95	1.566	35.64	52	12.36	Franco limosa	1.753	3.015
Parque C. Arizona	30-60	7.98	3.90	11.69	15.59	5.35									
Parque C. Arizona	0-30	7.87	19.49	50.67	70.16	10.19	527.83	9.22	1.605	35.64	52	12.36	Franco limosa	1.753	3.015
Parque C. Arizona	30-60	7.77	35.08	35.08	70.16	4.51									
Parque Lineal 4 siglos	0-30	7.57	35.08	35.08	70.16	13.36	1080.84	11.00	1.628	67.64	22	10.36	Franca arenosa	2.065	3.551
Parque Lineal 4 siglos	30-60	7.67	113.03	128.62	241.65	9.05									
Parque Lineal 4 siglos	0-30	7.32	50.67	74.05	124.72	26.48	462.91	7.44	1.675	67.64	22	10.36	Franca arenosa	2.065	3.551
Parque Lineal 4 siglos	30-60	7.59	46.77	70.16	116.93	11.36									
Parque Lineal 4 siglos	0-30	7.19	50.67	70.16	120.83	20.70	1120.95	13.33	1.519	67.64	22	10.36	Franca arenosa	2.065	3.551
Parque Lineal 4 siglos	30-60	7.07	77.95	93.54	171.49	18.15									
Chamizal curva C.Rica	0-30	7.02	35.08	50.67	85.75	48.04	865.32	14.29	1.472	15.18	30.36	37.64	Franco-arenosa	0.856	1.474
Chamizal curva C.Rica	30-60	7.05	46.77	62.36	109.13	33.63									
Chamizal curva C.Rica	60-90	7.03	0.00	15.59	15.59	0.00									
	mínimo	7.02	0.00	11.69	15.59	0.00	382.41	7.44	1.25	15.18	20.00	6.36		0.08	0.13
	máximo	8.47	113.03	128.62	241.65	297.08	2982.92	22.50	1.81	73.64	52.00	37.64		2.07	3.55

AGRADECIMIENTOS

Gracias al Banco de Desarrollo de América del Norte y Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Ciudad Juárez por el financiamiento del estudio; a la Dirección de parques y jardines del Municipio de Juárez, Chihuahua; Ing. Edmundo Urrutia Beall; Biol. José Francisco López Morales, M.C. María Zulema Poncio Acosta, M.C. Luz del Carmen Agüero Reyes, a los alumnos tesistas incluidos en el proyecto: Daniela Gutiérrez Herrera, Miguel Hidrogo Cardona, María Paula Torres de la O y Rafael Rosado Nieto.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, A., Etchevers, J.D., y Castellanos, J.Z. 1987. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. 1a edición. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, Estado de México, 215 p.
- Bremner, J. M. 1996. Nitrogen-Total. p. 1085-1121. In: D. L. Sparks (ed.). Methods of soil analysis, part 3. Chemical methods. Soil Science Society of America. Madison, WI.
- CIEPS, s.c. 1970. Estudio de Factibilidad para la rehabilitación del Distrito de Riego (Valle de Juárez, Chihuahua), Secretaria de Recursos hidráulicos, Irrigación y Control de Ríos. CONAGUA, número 325. México, D.F.
- Chen, W., Lu S., Pan N. Wang Y. and Wu L. 2015. Impact of reclaimed water irrigation on soil health in urban green areas. Chemosphere Jan; Vol. 119, pp. 654-661.
- Instituto Municipal de Investigación y Planeación [IMIP]. (2017). *Plan maestro para el parque "El Chamizal"*. <https://www.imip.org.mx/imip/node/137>. Consultado 17 de abril de 2024.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2017. Superficie por tipo de uso de suelo en México. <https://www.inegi.org.mx/temas/suelo/> (Consulta: 30 marzo 2024).
- SEDUE, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. (2022). *Plan Maestro Mega Parque El Chamizal. Análisis Costo-Beneficio Megaparque El Chamizal, Cd. Juárez Chihuahua.*
- Martínez, J. (2022). *Parque 'El Chamizal' en Ciudad Juárez, área histórica convertida en basurero.* Milenio. <https://www.milenio.com/estados/parque-chamizal-ciudad-juarez-area-convertida-basurero>. Consultado el 10 de abril de 2024.
- Sánchez Soledad, J. M. (2020). *El Chamizal, su historia y una oportunidad.* La verdad. <https://laverdadjuarez.com/2020/06/21/el-chamizal-su-historia-y-una-oportunidad/>. Consultado el 5 de abril de 2024.
- Villalpando, R. (2022). *Gobierno de Ciudad Juárez presenta estudio sobre El Chamizal.* La jornada. <https://www.jornada.com.mx/notas/2022/09/04/estados/gobierno-de-ciudad-juarez-presenta-estudio-sobre-el-chamizal/>. Consultado el 30 de marzo de 2024.
- WRB (Base Referencial Mundial del Recurso Suelo). 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, Italia. Consultado el 16 de abril, 2024, <https://www.iec.cat/mapasols/DocuInteres/PDF/Llibre59.pdf>.
- Zalacáin, D., Bienes R., Sastre M.A., Martínez P. S. and García D.A., 2019. Influence of reclaimed water irrigation in soil physical properties of urban parks: A case study in Madrid. *Catena*. 180:333-340.

CRECIMIENTO EN AVENA (*Avena sativa* L.) DE TEMPORAL INOCULADA CON MICROORGANISMOS

Pablo Lozano-Ruíz¹; Miguel Ángel Valdez-García¹; Luis Fernando Sánchez-Estrada¹; Alfredo Lara-Herrera¹; Rodolfo de la Rosa-Rodríguez^{2*}; Luis Octavio Solís-Sánchez²

¹Unidad Académica de Agronomía de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Carretera Zacatecas-Guadalajara Km. 15.5 C.P. 98170 Zacatecas, Zac. México

²Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Avenida Ramón López Velarde 801, Colonia Centro, C.P. 98000 Zacatecas, Zac. México

*Autor responsable: rodox116@hotmail.com; Tel. +52(492)-161-7491

RESUMEN

La avena es una especie perteneciente al grupo de las gramíneas anual que tolera la sequía. El uso de microorganismos ha demostrado tener incrementos en el rendimiento de cereales. El objetivo de esta investigación fue: Evaluar el crecimiento y rendimiento de avena en respuesta a la inoculación de microorganismos en sistema de producción de temporal. Se establecieron cinco tratamientos con cuatro repeticiones consistentes en la aplicación de microorganismos en consorcio (CS) y la bacteria *Gluconactobacter sp.* (Glu), estos fueron: 1 Testigo, 2 Inoculación de semilla con CS, 3 Aplicación en drench de CS a semilla inmediatamente, 4 Inoculación de semilla con CS y Glu y finalmente un tratamiento 5 Inoculación de semilla con Glu. Las variables determinadas fueron: Volumen de raíz, Peso fresco de raíz, Peso seco de raíz, Peso fresco de parte aérea, Peso seco aéreo y Numero de hojas. Los cinco tratamientos ensayados no mostraron ninguna diferencia estadística en todas las variables estudiadas. El cultivo de avena muestra bajo rendimiento en condiciones de temporal. Además, la condición de baja humedad en suelo también provoca una baja actividad microbiana mostrándose así una nula diferencia estadística significativa.

PALABRAS CLAVE

Consorcio microbiano; Biomasa; *Gluconactobacter*.

INTRODUCCIÓN

La avena es una especie perteneciente al grupo de las gramíneas anual que tolera la sequía. En la producción de cereales, la avena es uno de los más importantes del mundo, ocupa el quinto lugar en cereales a nivel mundial, siendo el cereal de mayor importancia en climas templados y fríos y su principal forma de utilización es como alimento de ganado en diferentes modalidades (forraje verde, heno, grano o mezclas alimenticias) (Álvarez, 2017). La producción de este, otros granos, así como de alimentos de consumo humano se ha visto afectada por las condiciones climáticas actuales como, altas temperaturas, intensa sequía y el deterioro del recurso suelo por un uso intensivo, siendo este último uno de los factores importantes que afectan el

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

rendimiento del cultivo (Concilco-Alberto *et al.*, 2018). Debido a estas condiciones es cada vez más difícil mantener o aumentar los rendimientos de avena por lo que los productores de este cereal recurren a los fertilizantes convencionales en cantidades elevadas para satisfacer la demanda de este grano trayendo como consecuencia afectaciones negativas al suelo (García *et al.*, 2010). Por estas razones es necesario utilizar alternativas que apoyen a satisfacer la demanda nutrimental de los cultivos y además sean sustentables con el medio ambiente.

El uso de microorganismos ha demostrado tener incrementos en el rendimiento de cereales de más del 50 %, principalmente cuando son inoculados desde el momento de la siembra (Ruíz *et al.*, 2015). El uso de microorganismos puede traer múltiples beneficios aportando parte de la demanda nutrimental del cultivo (Campos *et al.*, 2016) o bien mejorando características fisicoquímicas del suelo o aumentando su volumen y así tener más exploración, que en gramíneas esta característica es muy importante (Rosales *et al.*, 2017). En varias investigaciones se ha encontrado aumento de crecimiento y rendimiento de avena con el uso de hongos micorrícicos (Flores-Juárez *et al.*, 2019) y bacterias (Mimmo *et al.*, 2018); sin embargo, es necesario conocer más sobre el comportamiento de este cultivo a la inoculación de microorganismos por esta razón se planteó el siguiente objetivo: Evaluar el crecimiento y rendimiento de avena en respuesta a la inoculación de microorganismos en sistema de producción de temporal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El presente trabajo se desarrolló en una nave de invernadero con dos túneles de manejo pasivo del clima en la Unidad Académica de Agronomía de la Universidad Autónoma de Zacatecas, en el km 15.5 de la carretera Zacatecas Guadalajara. Las coordenadas geográficas de su ubicación son 22° 43' 42" de Latitud Norte y 102° 40' 58" de Longitud Oeste.

Material vegetal

Semilla de avena variedad Cuauhtémoc, tipo forrajera de grano grande, días a floración 65-90 y madurez de 125-135 días bien adaptada a Zacatecas y otros estados vecinos de acuerdo a la casa comercial Semillas Lideres.

Tratamientos y Diseño experimental

Se diseñó un experimento con cinco tratamientos consistentes en la aplicación de microorganismos pertenecientes a la empresa Biogea®, en consorcio (CS) con tres especies (*Bacillus subtilis* y *Azospirillum brasilense* y *Serendipita indica*) y la *Gluconactobacter* sp. (Glu) aplicada de forma individual y en combinación con el CS, dando como resultado 5 tratamientos: 1 Testigo, 2 Inoculación de semilla con CS, 3 Aplicación con CS en drench a semilla inmediatamente sembrada, 4 Inoculación de semilla con CS y Glu y finalmente un tratamiento 5 Inoculación de semilla con Glu. En cada túnel utilizado se conformaron veinte camas de diez metros de longitud y 0.60m de ancho, para tener cuatro repeticiones en cada tratamiento.

VARIABLES MEDIDAS

Volumen de raíz. Se midió el volumen de la raíz sumergiéndola en agua dentro de una probeta graduada y registrando el incremento del nivel.

Peso fresco de raíz. Esta variable se midió pesando la raíz de la avena inmediatamente después de ser cosechada. Para esta determinación se utilizó una balanza digital modelo Kern AES 200-4N.

Peso seco de raíz. Una vez determinada la variable peso fresco de raíz, la raíz fue deshidratada en una estufa de resistencia eléctrica a una temperatura de 70 ± 2 °C por 48 horas o hasta que los tejidos presentaran un peso constante, una vez ocurrido esto, los tejidos fueron pesados nuevamente con una balanza digital modelo Kern AES 200-4N y se registró el dato.

Peso fresco de parte aérea. Esta variable se midió pesando la parte aérea inmediatamente después de ser cosechada. Para esta determinación se utilizó una balanza digital modelo Kern AES 200-4N.

Peso seco aéreo. Una vez determinada la variable peso fresco, las plantas fueron deshidratadas en una estufa de resistencia eléctrica a una temperatura de 70 ± 2 °C por 48 horas o hasta que los tejidos presentaran un peso constante, una vez ocurrido esto, los tejidos fueron pesados de nuevo una balanza digital modelo Kern AES 200-4N.

Numero de hojas. Se llevó a cabo un conteo manual individualizado de cada elemento con el fin de obtener un registro lo más exacto posible.

Diseño y Análisis. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar, con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, teniéndose 20 unidades experimentales. Los datos de las variables evaluadas se les aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) y una prueba de medias bajo el criterio Tukey al 0.05 de probabilidad en el error. Estos análisis fueron realizados en el programa SAS en su versión 9.4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Volumen de raíz

No hubo diferencias estadísticas en esta variable, los tratamientos tuvieron el mismo comportamiento que el testigo (Cuadro 1). Probablemente la respuesta de los microorganismos no tuvo efectos en las variables medidas debido a que los beneficios de estos pueden verse suprimidos por condiciones de humedad desfavorables (Grageda-Cabrera *et al.*, 2012). Los resultados encontrados en la presente investigación son similares a lo obtenido por Silva *et al.* (2022), quienes no obtuvieron diferencias estadísticas en esta variable al establecer el cultivo de avena en zonas con distinto tipo de suelo.

Peso fresco de raíz

Esta variable no mostró efecto por los tratamientos ensayados (Cuadro 1). Este resultado fue debido a que la respuesta a la inoculación depende de la disponibilidad de agua en los suelos (Flores-Juárez *et al.*, 2019), y en este caso se trató de un cultivo de temporal.

Peso seco de raíz

De forma similar a las variables anteriores no se encontró diferencia estadística entre tratamientos (Cuadro 1). Este resultado pudo deberse a la falta de agua disponible en suelo por la condición del cultivo y con esto una mínima actividad microbiológica (Flores-Juárez *et al.*, 2019).

Peso fresco de parte aérea

Los tratamientos no fueron diferentes estadísticamente en esta variable (Cuadro 1). Este resultado pudo deberse a la inactivación de los microorganismos por una condición desfavorable en el suelo (Grageda-Cabrera *et al.*, 2012) y además a la disminución en el rendimiento de la planta por la condición de baja humedad (Concilco-Alberto *et al.*, 2018) ya que es un factor que puede limitar el desarrollo y rendimiento del cultivo.

Peso seco aéreo

Los tratamientos ensayados no tuvieron diferencias estadísticas en esta variable (Cuadro 1). El rendimiento de avena y la acción de microorganismos inoculados pueden verse afectados por baja humedad o condiciones desfavorables en suelo (Concilco-Alberto *et al.*, 2018; Flores-Juárez *et al.*, 2019).

Numero de hojas

No se obtuvieron diferencias estadísticas entre los tratamientos para esta variable (Cuadro 1). Lo encontrado en la presente investigación coincide con Flores-Juárez *et al.* (2019) quienes no obtuvieron diferencias estadísticas en esta variable inoculando hongos micorrícicos en avena.

Cuadro 1. Efecto de las inoculaciones evaluadas en variables de crecimiento de avena.

TRATA	Volumen de Raíz	Peso Fresco de Raíz	Peso seco de Raíz	Peso Fresco Aéreo	Peso seco Aéreo	Número de Tallos
1	4.25a	4.70a	0.60a	35.58a	3.92a	25.25a
2	3.75a	4.40a	0.55a	29.35a	3.20a	22.00a
3	5.00a	5.32a	0.70a	29.98a	3.35a	29.00a
4	4.75a	5.55a	0.72a	36.10a	4.07a	25.25a
5	5.00a	5.42a	0.72a	44.43a	4.77a	29.50a
DMS	5.3057	5.6553	0.6889	33.804	3.7031	19.01

TRATA =Tratamientos

DMS= Diferencia Mínima Significativa ($p < 0.05$)

Tratamientos con letras distintas en columnas, son estadísticamente diferentes (Tukey; $P \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

La condición de baja humedad en suelo causada por la condición de cultivo de temporal en avena provoca una baja actividad microbiana mostrándose así una nula diferencia estadística significativa.

El cultivo de avena muestra bajo rendimiento con un bajo contenido de humedad en suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez R. (2017). Rendimiento y calidad del forraje de cuatro cereales de grano pequeño en tres etapas de crecimiento y dos niveles de nitrógeno en el valle de Toluca. Facultad de Ciencias Agrícola-Universidad Autónoma Del Estado de México. 1-76.
- Campos C. S., De Mello P. R., Castellanos G. L., Abreu J. M. & Rosatto M. L. (2016). Fuentes de fosfato asociadas a la cachaza y el biofertilizante sobre los microorganismos solubilizadores de fósforo y su contenido en el suelo. *Cultivos Tropicales* 37(1), 22-27.
- Concilco-Alberto E., Moreno-Reséndez A., García-Carrillo M., Quiroga-Garza H. M. & Ángel-García, O. (2018). Influencia del biocarbón aplicado al suelo sobre atributos de rendimiento y calidad de avena forrajera. *Terra Latinoamericana* 36(3), 221-228.
- Flores-Juárez D. J., Villegas-Aparicio Y., Castro-Rivera R., Gómez-Vázquez A., Carrillo-Rodríguez J. C., & Castañeda Hidalgo E. (2020). Inoculación de avena forrajera con hongos micorrízicos arbusculares. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 11(24), 191-199.
- García O.G., Moreno M. V. R., Rodríguez L. I. C., Mendoza H.A. & Mayek P.N. (2006). Biofertilización con *Azospirillum brasilense* en sorgo, en el norte de México. México. *Revista Agricultura Técnica en México* 32 (2), 135-141.
- Grageda-Cabrera O. A., Díaz-Franco A., Peña-Cabriales J. J., & Vera-Nuñez J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 3(6), 1261-1274.
- Mimmo T., Y. Pii F., Valentinuzzi S., Astolfi N., Lehto B., Robinson G., Brunetto R. & Terzano S. C. (2018). Disponibilidad de nutrientes en la rizosfera: una revisión. *Acta Horticultura* 1217, 13-28.
- Rosales J. P. R., González-Cañizares P. J., Ramírez P. J. F. & Arzola B. J. (2017). Selección de cepas eficientes de hongos micorrízicos arbusculares para el pasto guinea (*Megathyrus maximus* cv. likoni). Cuba. *Cultivos Tropicales* 38 (1), 24-30.
- Ruiz S. M., Santana B. Y., Muñoz H. Y., Yoan M. A., Benítez M., Beesham V. B. & Peña C. Y. (2015). Simbiosis de micorrizas arbusculares en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) en condiciones de inundación y secano. Colombia. *Acta Agronómica* 64 (3), 227-233.
- Silva F. J. P., Da A.M.X., De Carvalho & De Castro-Borges P. H. (2022). The gabbro dacite blend as soil remineralizer. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. ISSN 1981-0997 17(1): 14-19.

CAMBIO A CORTO PLAZO EN LA CONCENTRACIÓN, CONTENIDO Y DISTRIBUCIÓN DE LA MOS ANTE EL CAMBIO DE FERTILIZACIÓN

Bruno Manuel Chavez Vergara^{*1,2}; Yazmin Rivera Uria¹; Elizabeth Solleiro-Rebolledo¹; Ofelia Ivette Beltrán Paz^{1,2}; Luis Gerardo Martínez Jardines^{1,2}; Nadia Edith Nava Arsola³; Gabriela Vázquez Zacamitzin⁴; Jaime Diaz Ortega¹; René Alcalá Martínez^{1,2}

1 Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad No. 3000 Col. UNAM CU, Coyoacán, C.P. 04510. Ciudad de México, México. 2 Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía, Av. Universidad No. 3000 Col. UNAM CU, Coyoacán, C.P. 04510. Ciudad de México, México. 3 Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad No. 3000 Col. UNAM CU, Coyoacán, C.P. 04510. Ciudad de México, México. 4 Licenciatura en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad No. 3000 Col. UNAM CU, Coyoacán, C.P. 04510. Ciudad de México, México.

RESUMEN

El manejo agrícola bajo un régimen de adición de fertilizantes inorgánicos sin incorporación de materia orgánica es de los principales agentes de degradación de los suelos. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta en la concentración, contenido y distribución de la materia orgánica del suelo ante el cambio de fertilización para producción de avena en un suelo volcánico degradado al Sur de la Ciudad de México. Para ello desarrollamos un experimento en campo realizado en un suelo volcánico degradados dentro de la Zona de Conservación de Suelos de la Ciudad de México. El experimento consistió en el cambio de fertilización basada en adición NPK a la adición de estiércol, vermicomposta, urea y la supresión de fertilización en una parcela cultivada con *Avena sativa* L. Previo a la cosecha de la avena se colectaron muestras de suelo en las cuales se determinó la concentración de arcillas, la densidad real y aparente, la porosidad, la concentración y contenido del carbono orgánico del suelo (COS) total y derivado del fraccionamiento por densidad de materia orgánica del suelo (MOS). Se observó que después del primer ciclo agrícola bajo cambio de fertilización no se modificaron las características físicas de los suelos pero que la concentración y contenido del COS si fue sensible ya que la adición de vermicomposta y la supresión de la fertilización produjo el incremento y decremento, respectivamente, en estos dos parámetros. La distribución de la MOS fue afectada por la adición de estiércol, vermicomposta y la supresión de la fertilización mientras que la relación arcilla: COS.

PALABRA CLAVE

Biogeoquímica; Carbono orgánico del suelo; Fertilización orgánica; Fraccionamiento por densidad; Producción agrícola.

INTRODUCCIÓN

En los sistemas agrícolas, la manipulación excesiva del suelo es su principal vía de degradación al promover la disminución de las funciones que protegen y garantizan la calidad y cantidad del rendimiento del cultivo (Ji et al. 2002; FAO, 2022). La adición única y excesivamente de fertilizantes inorgánicos promueve un desequilibrio entre los nutrientes inorgánicos y el carbono orgánico, lo que estimula la tasa de descomposición de los residuos vegetales (Man et al., 2021), la desestabilización y mineralización de la materia orgánica y su pérdida del suelo (Plante et al., 2005; Khan et al., 2007; Shahbaz et al., 2017). Varios estudios han evaluado la adición de enmiendas orgánicas a las propiedades del suelo y su respuesta a largo plazo (Savarese et al., 2021; Mayer et al., 2022). Sin embargo, también es necesario evaluar los efectos en el corto plazo para brindar respuestas rápidas a los productores que busquen un cambio en las prácticas de manejo de sus campos de cultivo. Debido a que el almacenamiento de C orgánico del suelo (COS) es una variable que cambia lentamente (FAO, 2020), es necesario contar con otros indicadores que reflejen rasgos funcionales relacionados con la interacción órgano-mineral, la distribución espacial y la transformación microbiana de la materia orgánica sensibles al corto plazo. Algunos indicadores como el fraccionamiento por densidad de la materia orgánica del suelo (Mani et al., 2017) pueden ayudar a inferir los cambios funcionales a corto plazo promovidos por las enmiendas orgánicas a los suelos. En consecuencia, el objetivo principal de la presente investigación fue evaluar la respuesta en la concentración, contenido y distribución de la materia orgánica del suelo ante el cambio de fertilización para producción de avena en un suelo volcánico degradado al Sur de la Ciudad de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se localiza al sur de la Ciudad de México en la ladera norte del volcán Teuhtli. En esta parcela se producen cultivos de temporada (p. ej., maíz, avena, amaranto). El clima en el área es templado subhúmedo con lluvias en verano (Cwb): la precipitación media anual es de 680 mm y la temperatura media anual es de 16°C. Los suelos de origen volcánico en las áreas bajo agricultura presentan la capa superficial del suelo (0-20 cm) modificada hacia un horizonte Ap, con una estructura granular inestable, un pH 6.5 en agua, <1% de carbono orgánico y densidad aparente de 1.3 g cm³ (Solleiro-Rebolledo et al., 2019). En el campo agrícola El Llano se establecieron 15 parcelas experimentales de 8 x 4 m; tres parcelas se asignaron aleatoriamente como réplicas de los siguientes tratamientos de fertilización: fertilización sintética a base de N16%-P16%-K16 (NPK, 30g m²) como control por ser esta la fertilización regular utilizada en la zona; vermicomposta (VCO, 3 kg m²), estiércol (EST, 3 kg m²), urea (URE, 30g m²) y sin fertilizantes (NAD). A los 151 días después de la siembra se retiró la biomasa aérea y se colectaron muestras de suelo, todas a una profundidad de 0 a 10 cm. El análisis granulométrico se realizó de acuerdo con Flores-Delgadillo y Alcalá-Martínez (2010) donde la fracción arena fue separada por tamizado húmedo mientras que las fracciones arcilla y limo fueron separadas por pipeta. La densidad aparente del suelo fue determinada con el método del cilindro para lo cual muestra fue secada a 110°C durante 24 horas, hasta alcanzar un peso constante y luego dividida por el volumen del cilindro (100 cm³). La determinación de carbono orgánico se determinó en un analizador coulométrico de carbono CM5012

UIC por combustión seca a 950°C bajo una atmósfera rica en O₂ y detección coulométrica (Huffman, 1977). El contenido de carbono orgánico del suelo se calculó utilizando la densidad aparente y el carbono orgánico del suelo de la tierra fina (< 2 mm), el volumen de fragmentos gruesos y el espesor de la capa de suelo (FAO, 2020) y se calculó la relación arcilla:COT (Prout et al., 2020). El fraccionamiento por densidad de la materia orgánica del suelo se realizó mediante el método descrito por Mani y colaboradores (2017) de donde se obtuvieron la materia orgánica particulada (MOP) con densidad <1.6 g cm³ y la materia orgánica asociada a minerales en fracción gruesa con densidad >1.6 g cm³ (MAOMg <62 μm) y la materia orgánica asociada a minerales en fracción fina (MAOMf <62 μm). Se realizó un análisis de varianza unidireccional (ANOVA) para investigar el efecto del cambio en las prácticas de fertilización a α=0,05. Se realizó la prueba post hoc de Dunnett en caso de diferencias significativas, fijando el tratamiento de fertilización NPK como control, y todos los tratamientos se contrastaron contra el control.

RESULTADOS

La concentración de carbono orgánico del suelo fue susceptible a cambios en función del tipo de fertilización ya que la adición de vermicomposta (VCO) aumentó la concentración en un 16% mientras que la supresión de la fertilización (NAD) produjo una disminución del 14% (Tabla 1). El mismo patrón ocurrió con el almacén de carbono orgánico del suelo debido a que VCO lo aumentó en 22% y NAD lo redujo en 11%, respectivamente; esto representa un incremento de 0.43 g m² y una disminución de 0.13 gm² (Tabla 1). La fracción más sensible al cambio de fertilización fue la POM; ya que ésta aumentó en VCO en 4%, mientras que la adición de estiércol (EST) y en NAD disminuyeron en 4% y 5%, respectivamente, en comparación con NPK (Tabla 1). En las fracciones de materia orgánica asociada a minerales, sólo la adición de estiércol promovió el incremento en la fracción de la MOAMg (>62 μm) ya que aumentó a 20% frente al 16% en NPK (Tabla 1). La adición de vermicomposta disminuyó un total de 9% de la materia orgánica en la fracción MOAMf (<62 μm) (Tabla 1). La relación arcilla:COS se modificó con la incorporación de enmiendas orgánicas de 15.8 en NPK a 14.8 y 12.5 en CMA y VCO, respectivamente (Tabla 1).

DISCUSIÓN

Aun cuando el estiércol y el vermicomposta se aplicaron a las mismas dosis, produjeron diferencias la concentración, contenido y distribución de la materia orgánica del suelo; solo la incorporación de VCO aumenta significativamente la concentración y el almacenamiento de COS en un corto tiempo, por el contrario, cuando se suprime la fertilización, el COS disminuye (Fig. 6a). Aun cuando se considera que el SOC es una variable que cambia lentamente en el tiempo (Lorenz y Lal, 2018), la rápida respuesta de esta variable sugiere que el suelo ha perdido resistencia ecológica ante las perturbaciones, lo que promueve que el suelo responda rápidamente ante un cambio de manejo (Chávez-Vergara et al, 2022). Los indicadores más sensibles de la dinámica del SOC, como la distribución en la superficie de las partículas minerales, muestran que el VCO aumenta la fracción de partículas minerales no protegidas SOC, como POM (Fig. 6c); lo que produce sugiere que este incremento COS no sea estable dado que esta fracción no adsorbida en superficies

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

minerales es susceptible a la descomposición biológica (Cotrufo et al., 2015; Lavalley et al., 2019), como se ve en el tratamiento con NAD con el agotamiento relativo de MOP (Fig. 6c). Estos sugieren que la protección de MOP mejorará cuando se formen agregados, pero puede estar relacionada de manera diferente con la respuesta del tipo de enmiendas de agregación (Atere et al., 2020).

Tabla 1. Promedio (error estándar) de la concentración y contenido de C orgánico total, fraccionamiento por densidad y relación arcilla:carbono en los tratamientos analizados.

	NPK	URE	EST	VCO	NAD	F(p)
Concentración de C (mg g ⁻¹)	6.60 (0.38)	6.73 (0.64)	6.73 (0.35)	7.67 (0.47)⁺	5.70 (0.12)⁻	1.25 (<0.05)
Contenido de C (g m ²)	7.57 (0.24)	7.70 (0.52)	7.88 (0.24)	9.24 (0.67)⁺	6.74 (0.11)⁻	1.36 (<0.05)
MOP (%)	28.86 (2.49)	27.77 (2.60)	25.63 (0.39)⁻	33.78 (4.31)⁺	24.38 (0.84)⁻	1.88 (<0.05)
MAOMg (%)	14.70 (1.43)	16.27 (1.20)	19.69 (0.24)⁺	16.55 (1.43)	16.41 (0.28)	0.99 (<0.05)
MAOMf (%)	56.44 (2.34)	55.96 (2.36)	54.68 (0.62)	49.67 (2.88)⁻	59.21 (0.99)	1.97 (<0.05)
A:C	15.66 (0.79)	15.94 (0.85)	15.02 (0.92)⁻	12.65 (0.49)⁻	16.25 (1.32)	0.98 (<0.05)

Se presenta el valor de F (p) en el modelo de ANOVA de una vía. Valores en negritas son diferentes estadísticamente del tratamiento control (NPK) y los símbolos refieren si son mayores (+) o menores (-) en el análisis poshoc de Dunnett.

CONCLUSIONES

Fue posible observar los cambios en la concentración, contenido y distribución de la MOS en un solo ciclo de producción de avena, particularmente cuando se adicionan enmiendas orgánicas. Adicionalmente se observó que la adición de estiércol promueve la interacción de la MOS con las partículas minerales en el suelo, lo cual asegura su estabilización al menos a mediano plazo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento para la realización de este trabajo a la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México (SECITI/071/2018 y SECTEI/268/2019).

BIBLIOGRAFÍA

- Atere, C., Gunina, A., Zhu, Z., Xiao, M., Liu, S., Kuzyakov, Y., Chen, L., Deng, Y., Wu, J. & Ge, T. 2020. Organic matter stabilization in aggregates and density fractions in paddy soil depending on long-term fertilization: Tracing of pathways by ^{13}C natural abundance.
- Chávez-Vergara, B., Yopez, E.A. & García-Oliva, F. 2022. Ecosystem science: a new approach in the analysis of functional processes in natural and human transformed terrestrial ecosystems. *Bot. Sci.* 100 (Special), S198-S217.
- Cotrufo, F., Soong, J., Horton, A., Campbell, E., Haddix, M., Wall, D. & Parton, W. 2015. Formation of soil organic matter via biochemical and physical pathways of litter mass loss. *Nat. Geosci.* 8, 776-779.
- FAO. 2020. A protocol for measurement, monitoring, reporting and verification of soil organic carbon in agricultural landscapes-GSOC-MRV Protocol. Rome.
- Flores-Delgadillo, L. & Alcalá-Martínez J.R. 2010. Manual de procedimientos analíticos. Laboratorio de física de suelos. Instituto de Geología, UNAM. México, D. F.
- Huffman, E.W.D. 1977. Performance of a new automatic carbon dioxide coulometer. *Microchem. J.* 22 (4), 567-573.
- Khan, S., Mulvaney, R., Ellsworth, T. & Boast, C. 2007. The myth of nitrogen fertilization for soil carbon sequestration. *J. Environ. Qual.* 36, 1821-1832.
- Lavallee, J., Soong, J. & Cotrufo, F. 2019. Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century. *Glob. Change Biol.* 26, 261-273.
- Man, M., Deen, B., Dunfield, K., Wagner-Riddle, C. & Simpson, M. 2021. Altered soil organic matter composition and degradation after a decade of nitrogen fertilization in a temperate agroecosystem. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 310:107305.
- Mani, S., Merino, A., García-Oliva, F., Riotte, J. & Sukumar, R. 2017. Soil properties and organic matter quality in relation to climate and vegetation in southern Indian tropical ecosystems. *Soil Res* 56, 80-90.
- Mayer, M., Krause, H., Fliessbach, A., Mäder, P. & Steffens, M. 2022. Fertilizer quality and labile soil organic matter fractions are vital for organic carbon sequestration in temperate arable soils within a long-term trial in Switzerland. *Geoderma* 426, 116080.
- Plante, A., Pernes, M. & Chenu, C. 2005. Changes in clay-associated organic matter quality in a C depletion sequence as measured by differential thermal analyses. *Geoderma* 129, 186-199.
- Prout, J., Shepherd, K., McGrath, S., Kirk, G. & Haefele, S. 2020. What is a good level of soil organic matter? An index based on organic carbon to clay ratio. *Eur. J. Soil Sci.* 72 (6), 2493-2503.
- Savarese, C., Drosos, M., Spaccini, R., Cozzolino, V. & Piccolo, A. 2021. Molecular characterization of soil organic matter and its extractable humic fraction from longterm field experiments under different cropping systems. *Geoderma* 383, 114700.

Shahbaz, M., Kuzyakov, Y., Maqsood, S., Wendland, M. & Heitkamp, F. 2017. Decadal nitrogen fertilization decreases mineral-associated and subsoil carbon: a 32-year study. *Land Degrad. Dev.* 28, 1463–1472.

Solleiro-Rebolledo, E., Rivera-Uria, Y., Chávez-Vergara, B., Diaz-Ortega, J., Sedov, S., Alcalá-Martínez, R., Beltrán-Paz, O. & Jardines-Martínez, G., 2019. Evolution of the landscape and pedodiversity on volcanic deposits in the south of the Basin of Mexico and its relationship with agricultural activities. *Terra Latinoam.* 37, 501–518.



POTENCIAL DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES: MILPA Y ACAHUAL PARA EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO COMO SERVICIO AMBIENTAL EN MÉXICO

Tania Guadalupe Osorio Montor¹; Rolando Rojo Rubio¹; Octavio Alonso Castelán Ortega ²; Francisca Avilés Nova* ¹

¹Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario Temascaltepec, kilómetro 67.5, carretera Toluca-Tejupilco, Barrio de Santiago, Temascaltepec de González, C.P. 51300, Estado de México, México.

²Universidad Autónoma del Estado de México, El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, C.P. 50090, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia: franavilesnova@yahoo.com.mx

RESUMEN

Las actividades agrícolas como la roza-tumba-quema, la deforestación y cambio de uso de suelo contribuyen a las emisiones de C a la atmósfera y, por lo tanto, al efecto invernadero. El objetivo de este estudio fue evaluar el potencial de los sistemas agroforestales (milpa tradicional - milpa+acahual) para el almacenamiento de C como servicio ambiental. El COS se estimó en dos sistemas agroforestales a dos profundidades del suelo, de 0 a 10 y de 10 a 20 cm en la época de estiaje. Los resultados arrojaron que la diversidad vegetal de los sistemas derivó la acumulación de C (Mg/ha^{-1}). El sistema 1 (milpa + acahual) presentó un promedio de 0.63 y 0.97 Mg/ha^{-1} a 10 cm y 20 cm de profundidad respectivamente, y el sistema 2 (milpa tradicional) obtuvo valores de 0.49 y 0.70 Mg/ha^{-1} a 10 cm y 20 cm de profundidad. Los valores de C en porcentaje disminuyeron con el aumento de la profundidad de muestreo. El sistema milpa + acahual ofrece un mayor almacenamiento de Carbono en el suelo en la época de estiaje.

PALABRAS CLAVE

Calidad del suelo, Cambio climático, COS, Maíz, Uso del suelo.

INTRODUCCIÓN

El dióxido de Carbono (CO_2) es el principal gas responsable del efecto invernadero emitido a través del consumo de energía fósil, el cambio de uso de suelo y la deforestación, y que, a su vez, provoca un incremento en la temperatura global. Sin embargo, la emisión de este gas podría reducirse mediante la creación o mejoramiento de los sumideros de carbono (C) en la biosfera, en este punto, el manejo forestal y la conservación de los bosques pueden contribuir a la mitigación del calentamiento global mediante la conservación, secuestro y de C atmosférico (Andrade y Muhammad, 2003). Los sistemas agroforestales son estrategias productivas y ecológicas, que ayudan a mitigar los efectos negativos ambientales debido a la explotación y uso inadecuado de los recursos naturales a través de la protección del suelo, incorporación de materia orgánica, biodiversidad, aumento de las reservas de carbono en vegetación y suelo, además de fomentar el almacenamiento de C el cual es

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

un servicio ambiental de regulación ofrecido por estos sistemas (Casanova-Lugo *et al.*, 2011) El carbono orgánico del suelo (COS) es considerado un indicador de la calidad del suelo y su salud, el nivel de COS depende del clima, tipo de suelo y manejo del mismo (labranzas, rotaciones, secuencias de cultivos agrícolas y fertilización) (Steinbach y Álvarez, 2006). En México, la agricultura y soberanía alimentaria se han visto afectadas debido a modelos de desarrollo que intensifican la producción mediante monocultivos o la simplificación, a través del uso de fertilizantes químicos, pesticidas, y la práctica de roza-tumba (Bartra, 2015). Sin embargo, una práctica agroforestal que captura C son los acahuales, donde los cultivos son rotacionales enriquecidos con árboles, donde se lleva a cabo una etapa de recuperación o descanso para sustituir la quema, se añade estructura y diversidad al suelo, lo que permite recuperar la fertilidad del mismo (Soto-Pinto y Jiménez-Ferrer, 2018). Por lo tanto, el objetivo del trabajo fue evaluar el potencial de los sistemas agroforestales (milpa tradicional y milpa+acahual) para el almacenamiento de C como servicio ambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en dos localidades del municipio de Temascaltepec, edo. Méx durante la época de estiaje en el año 2023: El Tule y Ejido El Peñón. Estas localidades se encuentran en un clima semi cálido-subhúmedo, a 1840 y 1885 m.s.n.m. respectivamente, la precipitación media anual es de 1200 mm y temperatura media anual de entre 18 y 20°C, los suelos se clasifican como luvisol para la localidad del El Tule con una vegetación de bosque de coníferas y como cambisol para el Peñón con una vegetación de encino.

Caracterización de los sistemas

En base a un reconocimiento previo del área de estudio se seleccionaron dos sistemas agroforestales, en el cuadro 1 se mencionan sus características.

Toma de muestras para determinar el almacenamiento de C

En cada sistema, las muestras de suelo, se tomaron de perfiles a diferentes profundidades: 0-10 cm y 10-20 cm, se colectaron 4 muestras de cada una, las cuales se mezclaron para formar muestras compuestas.

Procesamiento y análisis de muestras

Las muestras fueron secadas a temperatura ambiente y tamizadas con malla 70 para estimar densidad aparente (DAP, g/cm³), pH y COS (mg/ha). La DAP se determinó mediante el método de la probeta, el pH se obtuvo a través de la utilización de potenciómetro (modelo Waterproof Tester H198130 HANNA Instruments). El almacenamiento de C se evaluó por el método propuesto por Walkley y Black (1974). Posteriormente, la estimación del carbono orgánico (%) se determinó a partir de la siguiente ecuación 1 (Borges *et al.*, 2001):

$$\% C = B - Tg 0.39 mcf$$

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Dónde B= volumen de sulfato ferroso gastado para valorar el testigo (ml); T= volumen de sulfato ferroso gastado para valorar la muestra (ml); g= peso de la muestra empleada (g); mcf= factor de corrección de humedad.

EL contenido de Carbono del suelo (Mg/ha⁻¹) se determinó con la ecuación 2, propuesta por González *et al.* (2008):

$$\text{COS} = \text{CO} (\text{DAP}) \text{Ps}$$

Dónde: COS= Carbono orgánico total en suelo por superficie (Mg/ha⁻¹); CO= carbono orgánico total (%); DAP= Densidad Aparente (g cm⁻³); Ps= profundidad del suelo (cm).

Análisis de datos

En las variables de % C total y COS se utilizó medidas de tendencia central. Para la relación de los factores pH y DAP en el almacenamiento de COS se realizó la correlación de Pearson a través del programa Minitab.

Cuadro 1. Caracterización general de los sistemas agroforestales.

Sistemas	Características	Manejo	Especies forestales
1 El Tule	Milpa + acahual (descanso de +10 años) Maíz (<i>Zea mays</i>) + Calabaza (<i>Cucurbita</i> <i>máxima</i>) + frijol <i>Phaseolus</i> <i>vulgaris</i>	Cultivos establecidos en una superficie de tierra con +10 años de descanso. Sistema roza-quema mínima. Fertilización nitrogenada. Ingreso de ganado bovino para alimentarse de los esquilmos agrícolas.	Huizache (<i>Vachellia</i> <i>farnesiana</i>), Tepehuaaje (<i>Lysiloma acapulcense</i>), Nopales (<i>Opuntia ficus</i>), Espino Herrero (<i>Mimosa</i> <i>benthamii</i>), Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>), Encinos (<i>Quercus</i> <i>hintonii/glaucoides</i>), Cazahuate (<i>Ipomoea</i> <i>wolcottiana</i>)
2 El Peñón	Milpa tradicional Maíz (<i>Zea mays</i>) + Calabaza (<i>Cucurbita</i> <i>máxima</i>) + frijol <i>Phaseolus</i> <i>vulgaris</i>	Sistema roza-quema mínima. Fertilización nitrogenada. Ingreso de ganado bovino para alimentarse de los esquilmos agrícolas.	Zapote blanco (<i>Casimiroa</i> <i>edulis</i>), Cazahuate (<i>Ipomoea</i> <i>wolcottiana</i>), Guayabo criollo (<i>Psidium guajava</i>)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Carbono orgánico

En el sistema 1, los valores promedio de COS por superficie a los 10 cm de profundidad fue de 0.63 Mg/ha^{-1} y a los 20 cm de profundidad con un valor de 0.97 Mg/ha^{-1} , referente al porcentaje del carbono orgánico total a los 10 cm de profundidad fue de 6.9% y a los 20 cm fue de 4.5%.

En el sistema 2, los valores promedio de COS por superficie a los 10 cm de profundidad fue de 0.49 Mg/ha^{-1} y a los 20 cm de profundidad con un valor de 0.70 Mg/ha^{-1} , referente al porcentaje del carbono orgánico total a los 10 cm de profundidad fue de 4.8% y a los 20 cm fue de 3.7%. En los dos sistemas el C en porcentaje al disminuyó al incrementar la profundidad de muestreo. Cairo y Fundadora (1994) indican que los contenidos de materia orgánica (MO) del suelo disminuyen con el incremento de la profundidad, ya que en la profundidad de 0 a 15 cm ocurre el mayor depósito de la MO por efecto de la acumulación de la hojarasca, la fitomasa subterránea y la cercanía a los lugares de deposición de las excretas.

En la Figura 1 se muestra el almacenamiento de C por superficie a través de los meses de muestreo, donde en marzo se presentó el mayor almacenamiento para el sistema 1 a los 10 y 20 cm (0.65 y 1.28 Mg/ha^{-1}) para después disminuir en los siguientes meses. En el sistema 2 el almacenamiento de C fue mayor en el mes de mayo 0.67 y 0.97 Mg/ha^{-1} para 10 y 20 cm respectivamente (Figura 2).

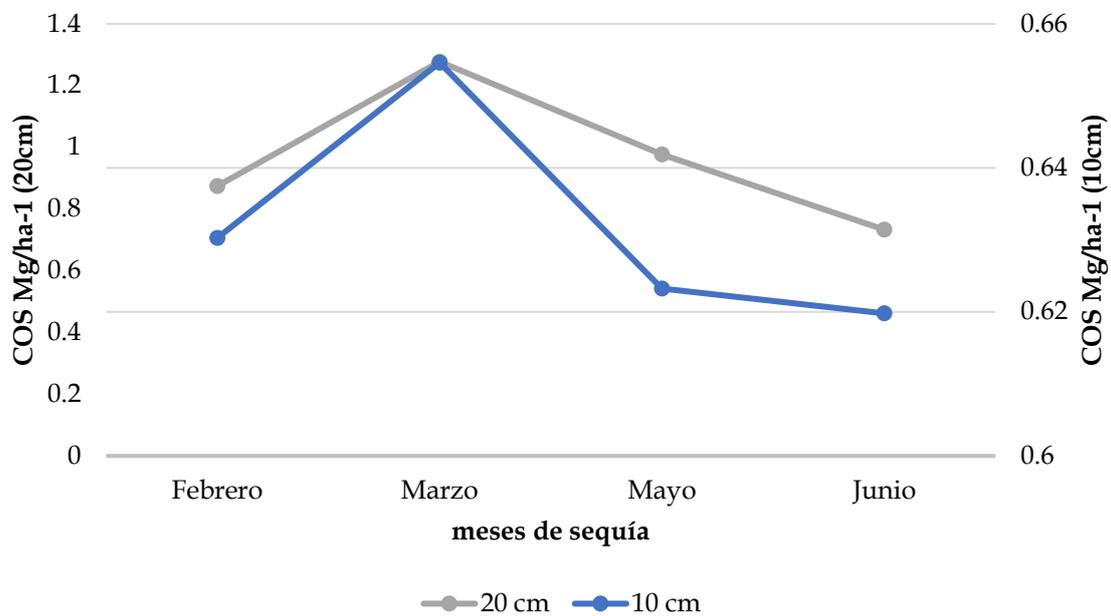


Figura 1. Almacenamiento de C en el sistema 1 a través de los meses de muestreo.

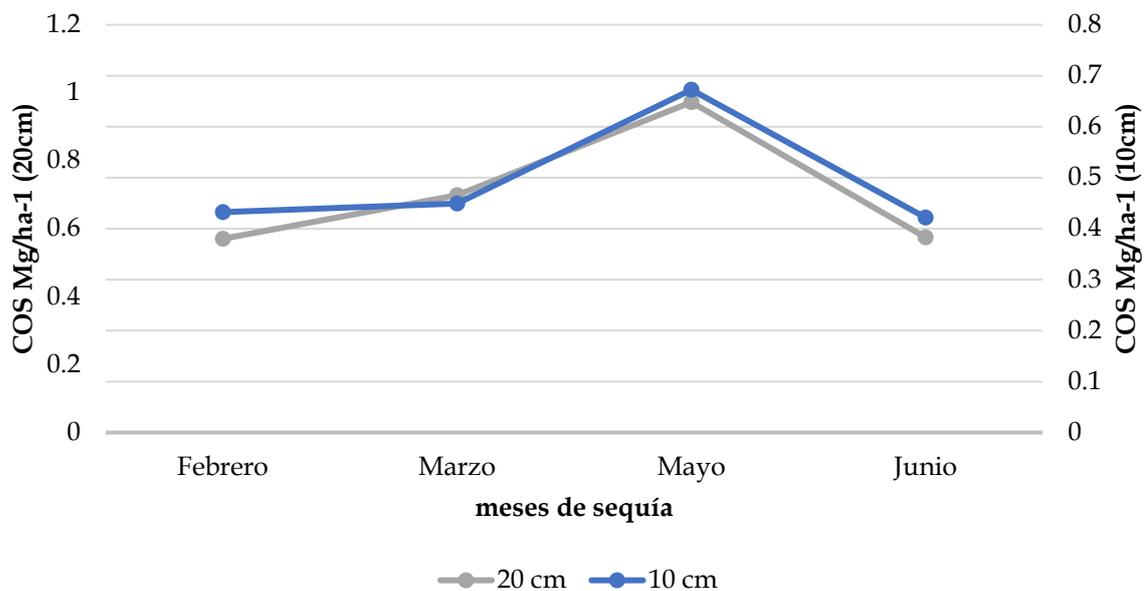


Figura 2. Almacenamiento de C en el sistema 2 a través de los meses de muestreo.

Los valores elevados de COS se encontraron en el sistema 1 debido a que cuenta con mayor cobertura vegetal proporcionada por el acahual, esta aísla el suelo de factores climáticos y la incidencia directa de radiación solar, lo que permite acumular mayor cantidad de COS debido a una menor descomposición de materia orgánica (Alayon-Gamboa *et al.*, 2018; Hernández *et al.*, 2021).

Relación entre almacenamiento de C y parámetros del suelo.

El análisis de correlación de Pearson para las variables del sistema 1 mostró una correlación positiva entre COS a 20 cm de profundidad y pH a los 10 cm ($r=0.938$, $P=0.062$), Carrasco (1992) menciona que la presencia de MO en el suelo tiende a incrementar el pH cuando el suelo presenta acidez o a disminuirlo cuando el pH del suelo es alcalino. Magdoff *et al.* (1987) encontraron que suelos con bajo nivel de COS generan grandes cambios en la capacidad de tampón del suelo, en suelos con alto COS se generan cambios marginales de capacidad tampón.

En el sistema 2 se presentó una relación estrecha entre el almacenamiento de COS a los 10 cm y 20 cm de profundidad ($r=0.973$, $P=0.027$), es decir, si aumenta el valor de COS (Mg/ha^{-1}) a los 10 cm, aumenta el valor de COS a los 20 cm de profundidad (Cuadro 3). Hontoria *et al.* (2004) mencionan que diversas prácticas como laboreo mínimo, uso de cubiertas, fertilización, sistemas agroforestales y control de sobrepastoreo aumentan el contenido de COS a largo plazo.

CONCLUSIONES

La mayor concentración de COS se encuentra en el sistema 1 (milpa + acahual), el manejo del sistema milpa tradicional, promueve la liberación de C hacia la atmósfera, mientras que sistema milpa + acahual favorece la acumulación de C en formas orgánicas dentro del suelo. Los sistemas estudiados presentan diferencia respecto al almacenamiento de C, donde el sistema que se caracteriza por ser acahual tiene un mayor potencial de almacenamiento de C, y al manejarse de manera adecuada podría ser significativamente benéfico para mitigar la emisión de CO₂, sin embargo, también son los más vulnerables, ya que pueden ser intervenidos continuamente y perder su capacidad de proporcionar servicios ambientales.

BIBLIOGRAFÍA

- Alayon-Gamboa, J. (2018). Estrategias silvopastoriles para mitigar efectos del cambio climático en sistemas ganaderos del sur de México. *Agro Productividad* 9(9): 10-15.
- Andrade, J. H., & Muhammad, I. (2003). ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles?. *Agrofostería en las Américas* 10 (39-40), 109-116.
- Bartra, A. (2015). *Con los pies sobre la Tierra: Despojo y resistencia en los territorios*. México D. F.: Itaca.
- Borges, G. L. et al. (2001). Manual de prácticas de análisis de suelos. Edo. de México, México: DGETA.
- Cairo, P., & Fundora, O. (1994). Constituyentes principales de la materia vegetal. Cuba, La Habana.: Pueblo y Educación.
- Carrasco, M. A. (1992). El suelo como sistema químico. En: Suelos, una visión actualizada del recurso. Chile: Publicaciones Misceláneas Agrícolas N° 38, Universidad de Chile.
- Casanova-Lugo, F., Petit-Aldana, J., & Solorio-Sánchez, J. (2011). Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17 (1): 133-143. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.08.047>.
- Fang, C., & Moncrieff, J.B. (2005). The variation of soil microbial respiration with depth in relation to soil carbon composition. *Plant Soil* 268: 243-253. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-0278-4>
- González-Molina, L., Etchevers-Barra, J.D., & Hidalgo-Moreno, C. (2008). Carbono en suelos de ladera: factores que deben considerarse para determinar su cambio en el tiempo. *Agrociencia* 42(7): 741-751.
- Hernandez, H. E., Andrade, H., Suarez, J.C., Sanchez, J., Gutierrez, D., & Gutierrez, G.A. (2021). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales en los Llanos Orientales de Colombia. *Revista de Biología Tropical* 61(1), 352-368. <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v69i1.42959>
- Magdoff, F.R., Bartlett, R.J., & Ross, D. S. (1987). Acidification and pH buffering of forest soils. *Soil Science Society of America Journal* 51(5): 1384-1386. <https://doi.org/10.2136/sssaj1987.03615995005100050053x>
- Soto-Pinto, L., & Jiménez-Ferrer, G. (2018). Contradicciones socioambientales en los procesos de mitigación, asociados al ciclo del carbono en sistemas agroforestales. *Madera y bosques* 24. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401887>

- Steinbach, H.S., & Álvarez, R. (2006). Changes in soil organic carbon contents and nitrous oxide emissions after introduction of no-till in pampean agroecosystems. *Journal of Environmental Quality* 35 (1): 3-13. <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0050>
- Walkey, A., & Black, I. A. (1947). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* (37): 29-38. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>



ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA DEL SUELO AGRÍCOLA DEL VALLE DEL YAQUI, SONORA

**Claudia J. Olivas-Castillo^{1*}; Itzamar Castro Gil¹; Bruno M. Chávez Vergara^{2,3};
Ofelia I. Beltrán Paz^{2,3}, Masuly G. Vega-Puga¹; Miguel A. Rivera-Díaz¹;
Martha L. Vargas-Terminel¹; Zulia Sánchez Mejía¹; Jaime Garatuza Payan^{1,2};
Enrico A. Yépez^{1,2}**

1 Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de febrero 818, Centro, 85000, Ciudad Obregón, Sonora, México. *Claudia.o0630@gmail.com

2 Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. Coyoacán. 04360 México, Ciudad de México.

3 Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. Coyoacán. 04360 México, Ciudad de México.

RESUMEN

El Valle del Yaqui depende de “momentos críticos” en el ciclo agrícola para poder obtener óptimos rendimientos en sus cultivos trigo, en estos momentos críticos suceden cambios importantes en la biogeoquímica del suelo, en la biomasa microbiana y en la actividad enzimática derivada de esta. En este estudio se analizó la actividad enzimática de leucin aminopeptidasa (LAP) y quitinasa en el suelo del Valle del Yaqui, en 4 momentos críticos durante un ciclo agrícola, para comprender la dinámica del nitrógeno (N) en esta región. Observamos una variación importante en la actividad enzimática de LAP y quitinasa del suelo en los diferentes momentos críticos, indicando una posible variación de la actividad bacteriana y fúngica en las diferentes etapas del cultivo. Este estudio nos muestra que, aún hace falta realizar análisis asociados al N disponible y biomasa microbiana para comprender el comportamiento de la actividad enzimática durante los momentos críticos.

PALABRAS CLAVE

Indicadores biológicos, Fertilización sintética, Momentos críticos.

INTRODUCCIÓN

El uso de fertilizantes nitrogenados para aumentar los rendimientos en los cultivos, ha aumentado exponencialmente en las últimas décadas (Ouyang y Norton 2020). Gracias a esto, en los últimos 30 años el Valle del Yaqui ha tenido un gran desarrollo en la industria de trigo (Matson *et al.*, 2012). Esto se debe a que en un ciclo agrícola de trigo suceden varios de “momentos críticos” (MC) que son determinantes para obtener un alto rendimiento en el cultivo, estos momentos se definen como: los momentos en los cuales hay entradas importantes de recursos como agua y nitrógeno, lo cual detona una intensa actividad biogeoquímica en el suelo.

Sin embargo, el uso excesivo de estos fertilizantes tiene efectos acumulativos en el suelo, alterando así los procesos de mineralización de N (Ouyang y Norton 2020). Además, esta mayor disponibilidad de N puede alterar la formación y descomposición de la MOS (S. Jian, *et al.*, 2016).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Existen algunos indicadores biológicos de la mineralización del N que nos podrían proporcionar información sobre los procesos bioquímicos del suelo; como es el caso de la actividad enzimática y la biomasa microbiana (Acosta-Martínez *et al.* 2008). Por lo tanto, una alteración o cambio en el N en el suelo durante los “momentos críticos”, podría tener un impacto en la actividad de estos indicadores. El objetivo de este trabajo fue analizar la actividad enzimática asociada a N (leucin aminopeptidasa (LAP) y Quitinasa) en el suelo agrícola bajo sistema de agricultura intensiva, durante los momentos críticos del ciclo agrícola del trigo en el Valle del Yaqui, en Sonora México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente estudio se desarrolló durante el ciclo agrícola diciembre 2023 - mayo 2024. En el Valle del Yaqui, en un área de producción de trigo con prácticas intensivas para la producción de semilla, perteneciente al Patronato para la Investigación y Experimentación Agrícola del Estado de Sonora A.C (PIEAES). Las características climáticas del sitio de estudio presentan una temperatura promedio 27.3° C (Ahrens *et al.*, 2008). Los suelos son predominantemente vertisoles y aridisoles con un alto contenido de arcillas y baja materia orgánica (Millar *et al.*, 2018).

Muestreo

En un lote de 1 ha manejado con prácticas intensivas para la producción de semilla de trigo se realizaron 9 muestreos de suelo, de los cuales 4 se tomaron durante los momentos críticos (MC) del ciclo agrícola y 5 previos a estos momentos (PMC). La muestra de suelo se tomó con un nucleador de pvc de 4”, tanto en lomo como en el surco, posteriormente se llevó al laboratorio en donde se realizó una muestra compuesta. La muestra se colocó en una bolsa de plástico negra, fue etiquetada y almacenada a 4°C hasta el momento de su procesamiento.

Procesamiento de muestras

Se rompieron agregados grandes con las manos y se les quitaron raíces, rocas y material orgánico mayor a 2 mm, posteriormente se determinó la humedad gravimétrica de cada una de las muestras y se midió el pH.

Análisis de muestras

Se pesaron 4 gr de suelo fresco por triplicado, se agregaron 30 ml de MUB 1X (Modified Universal Buffer) ajustado al pH de las muestras del sitio de estudio, posteriormente se agito horizontalmente durante 15 min a 120 rpm para obtener el homogenizado. Para la preparación de las muestras se tomaron 670 µl del homogeneizado y 670 µl del sustrato **L-Leucine-p nitroanilide** para LAP y **4-Nitrophenyl N acetyl-β-D-glucos aminide** para Quitinasa se colocaron en tubos eppendorf® de 1.5 ml. Para el control de la muestra de tomaron 670 µl del homogeneizado y 670 µl de MUB 1X al pH de las muestras en los tubos eppendorf®. Para el control de sustratos se agregaron 670 µl del sustrato del ensayo y 670 µl de MUB 1X en los tubos eppendorf® (Beltrán-Paz *et al.* 2014). Estos fueron cerrados y

colocados en una gradilla. Posteriormente los tubos se pusieron a incubar a 27° C, con agitación a 200 rpm de manera horizontal durante 4 hrs. Finalizada la incubación se procedió a centrifugar a 6000 rpm durante 5 min. Después se colocó en refrigeración a 4° C durante 2 horas con la finalidad de precipitar todas las arcillas, una vez terminada la refrigeración se tomaron 750 µl del centrifugado, 3ml de agua mili-q y 0.075 µl de NaOH 1N en un tubo falcón de 15 ml, se agito de manera manual de forma constante y se procedió a la lectura en un espectrofotómetro, Multiskan Go (Thermo Scientific). Se ajustó a 460 nm y se calibro a cero con el MUB1X. Los tubos fueron leídos en el siguiente orden: control de muestras, muestras y controles de sustrato.

Una vez obtenidas las absorbancias en el espectrofotómetro se hicieron los cálculos utilizando la siguiente ecuación:

$$\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1} = \frac{\text{abs. neta}}{\text{coef. ext.} \cdot \frac{\mu\text{mol mL}}{\text{vol}} \cdot \text{ens}(\text{mL}) \times \text{tiempo de inc}(\text{h}) \times \frac{\text{PR}}{\text{vol ext}} \left(\frac{\text{g}}{\text{mL}}\right) \times \text{vol hom}(\text{mL})}$$

Dónde:

$$\text{abs neta} = \text{abs. muestra} - (\text{abs. CM} + \text{abs. CS}) \quad \text{PR} = P_{hum} \times (P_{seco} - P_{hum})$$

$$\text{Coef. ext.} = \text{pendiente (m) de la curva de 4-nitrofenol } = y = mx + b \quad \text{vol ext} = \text{cantidad de MUB empleada para extracción (30 mL)}$$

$$\text{vol ens} = \text{alícuota de extracción + sustrato} = 1.34 \text{ mL} \quad \text{vol hom} = \text{volumen de alícuota postincubación (0.750 mL)}$$

$$\text{Tiempo inc} = 4 \text{ hrs}$$

Análisis de datos

Se realizó una prueba de normalidad a los datos, la cual nos indicó que los datos tienen una distribución No normal, por lo cual una vez obtenida se procedió a hacer una la prueba estadística no paramétrica de U de Mann-Whitney para comparación de los grupos y encontrar diferencias significativas. Los análisis se elaboraron en el programa Statistica V 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSION

La actividad enzimática para LAP mostro diferencia significativa ($p < 0.05$) entre PMC y MC (figura 1a) en todas las etapas fenológicas del cultivo, siendo la fase del embuche la de mayor actividad en LAP con $0.100 \mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ en PMC y $0.143 \text{ g}^{-1} \text{h}^{-1}$ en MC, por el contrario, la fase con menor actividad fue en la fase de espigado con $0.003 \mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$, sin embargo, este comportamiento solo se presentó en MC. Estos cambios se pueden deber a que la adición de N también afecta la actividad enzimática del suelo al cambiar la biomasa microbiana del suelo y la estructura de la comunidad, además la entrada de agua al sistema también tiene una influencia directa en la actividad enzimática de LAP (Wang *et al.*, 2015, Chen *et al.*, 2018). Este cambio en la comunidad microbiana del suelo se puede observar en la figura 1c y 1d donde Olivas-Castillo (2017) muestra como varia la comunidad de bacterias y hongos después de la adición de N en las distintas fases fenológicas.

Para la actividad enzimática de la quitinasa se encontró que solamente en la fase espigado hay una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre PMC y MC (figura 1b), la fase con mayor actividad enzimática de quitinasa fue el estadio de macollos con $0.007 \mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ en PMC y $0.009 \mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ en MC, por el contrario, las fases con menos

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

actividad en quitinasa fue en embuche y espigado indicando un decaimiento en la actividad a través de las etapas fenológicas del cultivo.

Según datos obtenidos por Olivas-Castillo (2017) estos cambios a través de la fenología del trigo podrían deberse al cambio en la comunidad de hongos en el suelo del Valle del Yaqui durante el ciclo agrícola (figura 1d) ya que la adición de N al suelo altera las comunidades microbianas (Guan *et al.*, 2019) por lo que al haber menor cantidad de hongos en el suelo hay menor cantidad de quitina disponible para despolimerizar. Lo cual disminuye la actividad de la quitinasa (Shukla y Varma 2010).

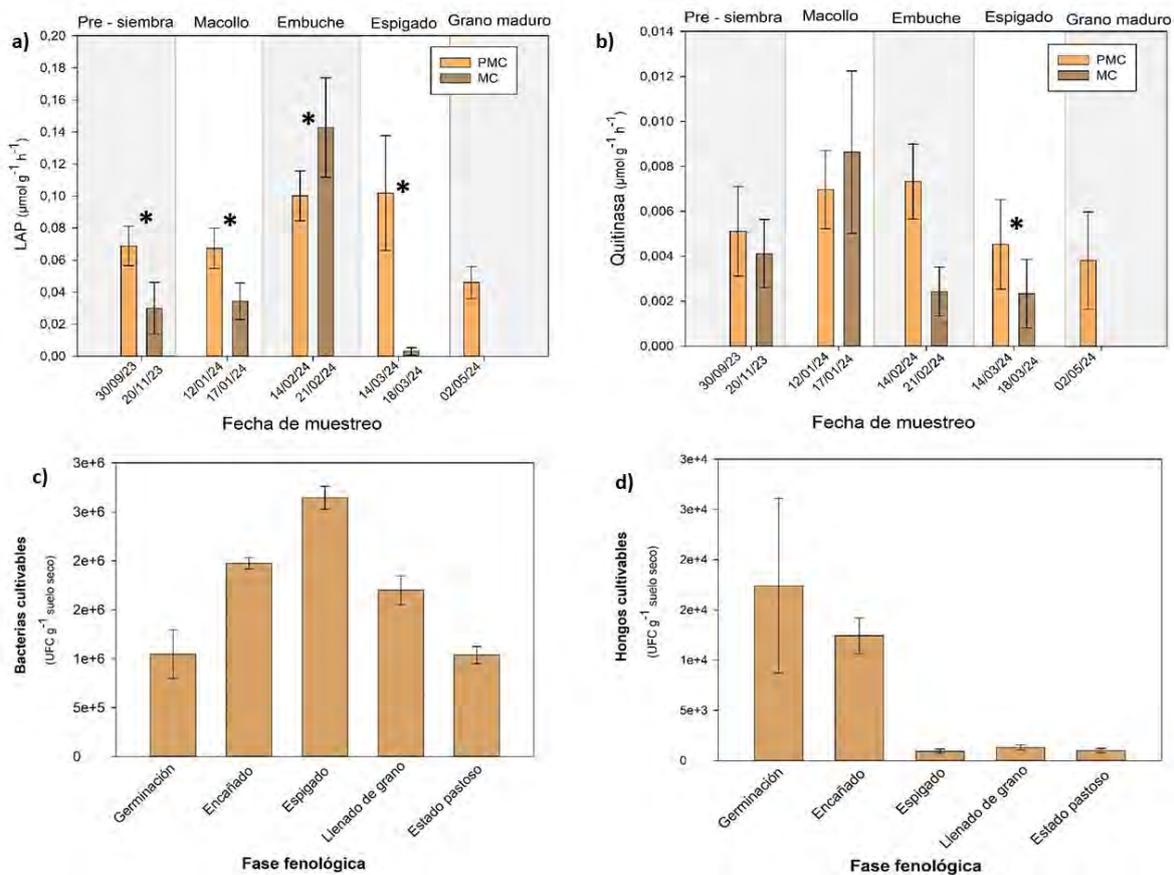


Figura 1. Actividad enzimática de LAP y Quitinasa, asociada a microorganismos cultivables en el Valle de Yaqui, Sonora México. En el inciso a) se muestra la actividad de LAP en $\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$, b) actividad de quitinasa en $\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$, c) las bacterias cultivables en UFC g^{-1} suelo seco y d) se presentan los hongos cultivables UFC g^{-1} suelo seco. Los valores que se muestran son promedios \pm error estándar. Las fases marcadas con * son las que presentan diferencia significativa ($p < 0.05$).

CONCLUSIONES

Se pudo observar que la actividad enzimática de LAP y quitinasa en los suelos del Valle del Yaqui mostraron cambios importantes durante los momentos críticos del ciclo agrícola de trigo en el Valle del Yaqui, una respuesta consistente con la cantidad de bacterias y hongos cultivados en el suelo. Este estudio nos muestra que, aún hace falta realizar análisis asociados al N disponible en el suelo, y biomasa microbiana para comprender el comportamiento de la actividad enzimática durante los momentos críticos.

BIBLIOGRAFIA

- Acosta-Martínez, V., Acosta-Mercado, D. I. M. A. R. I. S., Sotomayor-Ramírez, D., & Cruz-Rodríguez, L. (2008). Microbial communities and enzymatic activities under different management in semiarid soils. *Applied Soil Ecology*, 38(3), 249-260. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.10.012>
- Ahrens, T. D., Beman, J. M., Harrison, J. A., Jewett, P. K., & Matson, P. A. (2008). A synthesis of nitrogen transformations and transfers from land to the sea in the Yaqui Valley agricultural region of northwest Mexico. *Water Resources Research*, 44(7). <https://doi.org/10.1029/2007WR006661>
- Beltrán-Paz, O., Solleiro-Rebolledo, E., Martínez-Jardines, G., & Chávez-Vergara, B. (2024). Short-term response of oat crop yield and soil microbial activity promoted by inorganic fertilization suppression and organic fertilization addition in a periurban agroecosystem. *Applied Soil Ecology*, 195, 105249. <https://doi.org/10.1016/j.apsil.2023.105249>
- Chen, H., Li, D., Zhao, J., Xiao, K., & Wang, K. (2018). Effects of nitrogen addition on activities of soil nitrogen acquisition enzymes: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 252, 126-131. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.032>
- Guan, B., Xie, B., Yang, S., Hou, A., Chen, M., & Han, G. (2019). Effects of five years' nitrogen deposition on soil properties and plant growth in a salinized reed wetland of the Yellow River Delta. *Ecological Engineering*, 136, 160-166. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.06.01>
- Matson, P.A., Naylor, R., & Ortiz-Monasterio, I. (2012) Looking for win-wins in intensive agriculture. Matson, P.A. (Ed.). in *Seeds of sustainability: lessons from the birthplace of the green revolution* (1.^a ed.) (pp. 31-46). Island Press. https://doi.org/10.5822/978-1-61091-177-1_3
- Millar, N., Urrea, A., Kahmark, K., Shcherbak, I., Robertson, G. P., & Ortiz-Monasterio, I. (2018). Nitrous oxide (N₂O) flux responds exponentially to nitrogen fertilizer in irrigated wheat in the Yaqui Valley, Mexico. *Agriculture, ecosystems & environment*, 261, 125-132. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.04.003>
- Jian, S., Li, J., Chen, J. I., Wang, G., Mayes, M. A., Dzantor, K. E., ... & Luo, Y. (2016). Soil extracellular enzyme activities, soil carbon and nitrogen storage under nitrogen fertilization: A meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 101, 32-43. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.07.003>

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Olivas-Castillo C.J. (2017) Respuesta biológica del suelo con un cultivo de trigo (*Triticum durum*) expuesto a incrementos de temperatura en el Valle del Yaqui, Sonora. Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias en Recursos Naturales. Instituto Tecnológico de Sonora.
- Ouyang, Y., & Norton, J. M. (2020). Short-term nitrogen fertilization affects microbial community composition and nitrogen mineralization functions in an agricultural soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 86(5), e02278-19. <https://doi.org/10.1128/AEM.02278-19>
- Shukla, G., & Varma, A. (Eds.). (2010). *Soil enzymology* (Vol. 22). Springer Science & Business Media.
- Wang, R., Dorodnikov, M., Yang, S., Zhang, Y., Filley, T. R., Turco, R. F., ... & Jiang, Y. (2015). Responses of enzymatic activities within soil aggregates to 9-year nitrogen and water addition in a semi-arid grassland. *Soil Biology and Biochemistry*, 81, 159-167. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.11.01>



IMPACTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES SOBRE LA INFILTRACIÓN DE AGUA EN UN CAMBISOL EN EL SALTO, DURANGO

David Orlando Álvarez Favela; Erik Orlando Luna Robles¹; Isaac Rodríguez Reta¹; Silvia Janeth Bejar Pulido¹; Manuel de Jesús Devora López¹

¹Instituto Tecnológico de El Salto. CP 34942 El Salto, Dgo. México.

RESUMEN

Los incendios forestales son disturbios que además de provocar efectos sobre la vegetación repercuten sobre las propiedades edáficas, tales como infiltración, agregados y permeabilidad. La investigación tuvo como objetivo evaluar las propiedades hidrológicas de un Cambisol afectados por incendios forestales en El Salto, Durango. Se analizaron dos áreas dañadas por incendios forestales (2023-2024) que fueron comparadas con una no afectada. De acuerdo con los resultados las variables de infiltración inicial, básica, acumulada presentaron diferencias significativas entre las áreas evaluadas, a excepción de la humedad del suelo que se comportó de manera similar, específicamente se puede observar que posterior a la ocurrencia de incendios del 2023 y 2024 la infiltración inicial se redujo en más del 60 y 70 % respecto al área considerada como testigo; mientras que la infiltración básica presentó decrementos mayores al 50 %. En tanto que, lamina infiltrada acumulada, en ambas áreas incendiadas se redujo en promedio un 57 %. La información será útil para tener un mejor diagnóstico acerca del estado del suelo pre y post incendio, y de esta manera poder hacer recomendaciones más precisas en el ecosistema para evitar la ocurrencia de incendios en los bosques y degradación del suelo.

PALABRAS CLAVE

Disturbios, Propiedades edáficas, Humedad, Diagnostico.

INTRODUCCIÓN

El suelo es uno de los recursos naturales más importantes, con funciones esenciales en los ecosistemas terrestres, pero actualmente el suelo se encuentra sometido a diferentes presiones que resulta difícil conservar dichos servicios en el mejor estado; lo cual puede desencadenar otro tipo de problemas ecológicos, sociales y económicos tales como erosión, salinización de suelos, contaminación, pobreza, enfermedades, migración, hambruna etc. (Luna et al., 2022). En este sentido los incendios forestales se han convertido en un foco de degradación sobre los suelos ya que han incrementado de manera significativa a nivel mundial, debido a cambios en los componentes ambientales, sociales y culturales (Cuesta, 2013). De acuerdo con Cerdà et al. (2022) el impacto del fuego sobre las características hidrológicas de los suelos es directamente provocado por la alteración de las cubiertas vegetal y del suelo (capa orgánica; hojarasca y humus), ya que, al desaparecer temporalmente la vegetación, la capacidad de interceptación se reduce drásticamente favoreciendo la escorrentía superficial.

Y de acuerdo con el Concentrado Nacional de Incendios Forestales de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2024), en los últimos dos años se incrementado de manera significativa la ocurrencia de incendios forestales y superficie afectada y de manera particular en el estado de Durango en el año 2022 se registraron 269 con una superficie afectada de 86, 107 hectáreas y para el año 2023 un total de 347 incendios forestales equivalentes a 89, 334 hectáreas afectadas, lo cual lo posiciona como uno de los estados con mayor afectación en el país y donde la posible causa en la mayoría fue catalogados como intencionales. Por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo principal evaluar las propiedades físicas e hidrológicas en suelos afectados por incendios forestales en El Salto, Durango. Particularmente se analizaron dos áreas siniestradas por incendios forestales (2023-2024) y comparadas con un área no afectada para determinar el grado de recuperación de las propiedades del suelo después de un incendio forestal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubica en bosques experimentales aledaños al Instituto Tecnológico de El Salto, ubicado en el estado de Durango a una altitud promedio de 2,580 m. La topografía del área está conformada por una meseta y pendientes ligeramente suaves y el suelo dominante corresponde al tipo Cambisol el cual posee una profundidad somera, con presencia de rocas fragmentadas y formación de un perfil diferenciado en horizontes O-A-E-B (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2017).

La evaluación se realizó en tres áreas de bosque periurbano de las cuales dos fueron afectadas por incendios superficiales en 2023 y 2024 siendo comparadas con otra área contigua la cual no ha sido afectada por incendios. A continuación, se describen brevemente: a) Área de 4.9 has afectada por incendio forestal en el año 2023, existe un estrato inferior conformado de especies herbáceas anuales principalmente. La presencia de hojarasca y humus es escasa, presentándose principalmente en capas delgadas en torno a los árboles presentes. b) Área de 1.9 has afectada por incendio forestal en 2024; la destrucción de la materia orgánica es parcial, lo que supone un descenso del volumen de la fracción orgánica y origen de una capa de cenizas significativa. c) Área de bosque sin afectación de incendio forestal en los últimos años, el cual cuenta con una superficie de 1.1 hectáreas, con mayor presencia de hojarasca y humus. En cada área se aplicaron cuatro pruebas de infiltración con recargas variables de 150 minutos de evaluación (2.5 horas), empleando el infiltrómetro de doble anillo. A partir de las lecturas in situ se calcularon las variables del proceso de infiltración que son: **Infiltración inicial** (lectura al primer minuto en mm hr^{-1}), **Infiltración básica** (promedio de las últimas tres lecturas en mm hr^{-1}) e **Infiltración acumulada** (suma total de los volúmenes de agua infiltrada en el tiempo de 2.5 h en mm), Simultáneamente con las pruebas de infiltración se extrajeron muestras para estimar el contenido de humedad mediante el método gravimétrico, definido como la diferencia entre el peso de una muestra de suelo húmeda y seca (Reta et al., 2024).

Análisis estadísticos

A todos los datos de las variables se les aplicó pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y homogeneidad de varianzas de Levene. Para identificar diferencias entre las áreas se aplicó un análisis de varianza con su respectiva prueba de Tukey. El análisis se realizó con el paquete estadístico SPSS versión 22.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Infiltración

De acuerdo con los resultados del ANOVA para las variables de infiltración inicial, básica, acumulada y humedad del suelo, donde se puede observar que todas las variables presentaron diferencias significativas entre áreas evaluadas a excepción de la humedad del suelo. Los valores medios de las variables que componen el proceso de infiltración, así como el contenido de humedad del suelo se muestran en el Cuadro 1; específicamente se puede observar que posterior a la ocurrencia de incendios del 2023 y 2024 la infiltración inicial se redujo en más del 60 y 70 % respecto al área considerada como testigo; mientras que la infiltración básica presentó decrementos mayores al 50 %. En tanto que, lamina infiltrada acumulada, en ambas áreas incendiadas se redujo en promedio un 57 %. El contenido de humedad inicial del suelo entre las tres áreas fue estadísticamente similar.

Cuadro 1. Valores medios de las variables hidrológicas en las diferentes áreas.

Áreas	Inicial (mm hr-1)	Básica (mm hr-1)	Acumulada (mm)	Humedad (%)
2023	1120b	124.33a	402.33a	7.39a
2024	880b	162.33a	460.33a	8.21a
Testigo	2820a	329b	1024.30b	8.02a

II= infiltración inicial; Ib= infiltración básica; Ia= infiltración acumulada

El comportamiento de la infiltración promedio se presenta en a Figura 1, se puede distinguir que el Testigo sobresale respecto a las áreas incendiadas. En general las curvas de infiltración muestran un periodo inicial donde la velocidad de infiltración es alta en los primeros 5 minutos; posteriormente la infiltración baja de manera gradual (5-30 min) para volverse asintótica lo cual ocurre después de los 60 min de aplicación de la prueba.

Los resultados correspondientes al área testigo, permiten definir la importancia de la cobertura del suelo en los procesos hidrológicos del ecosistema, ya que pueden definir las condiciones óptimas de las propiedades físicas del suelo como, densidad aparente, porosidad estabilidad y estructura del suelo que moderan la velocidad de entrada, estancia y circulación de agua en el suelo (Lozano et al., 2020).

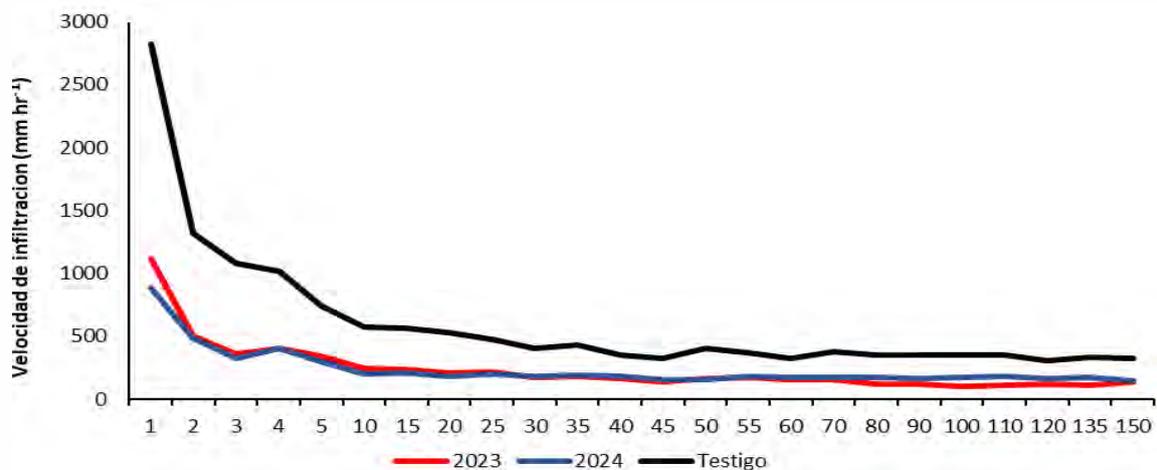


Figura 1: Tasa de infiltración promedio por área evaluada.

En contraste con lo observado después de la ocurrencia de los incendios forestales; donde las tasas de infiltración presentan una tendencia a disminuir, lo cual coincide con diferentes investigación que han medido las respuestas hidrológicas ante incendios forestales (Wagenbrenner et al., 2021), donde señalan que la presencia del fuego puede cambiar la estructura del suelo, densidad aparente y porosidad total, y de manera específica ante la ocurrencia de incendios superficiales como fue el caso, el tamaño y distribución de los poros tienen un mayor impacto negativo en los horizontes superficiales; por la acumulación de material articulado y cenizas, que disminuyen considerablemente los flujos de agua hacia dentro del perfil de suelo, lo que puede desencadenar aumentos en la escorrentía y anegamientos. No obstante, también se ha demostrado que después de un año la infiltración puede presentar un aumento significativo (Oswald et al., 2023), sin embargo, la recuperación puede ser muy variable dependiendo de la gravedad y extensión del incendio; intensidad, duración y tipo de suelo, régimen climático, actividad biológica post incendio, regeneración herbácea y densidad de la cobertura del suelo (Wine y Cadol, 2016).

CONCLUSIONES

La ocurrencia de incendios forestales modifico significativamente la infiltración del Cambisol. La infiltración presenta una tendencia a disminuir post incendio, no obstante, después de un año la infiltración presenta un aumento significativo, sin embargo, esta resiliencia depende de las características del incendio, tipo del suelo y cobertura del suelo. El cambio en las propiedades hidrológicas puede estar atribuido a la acumulación de cenizas que obstruyen el espacio poroso, así como al colapso y eliminación de la agregación del suelo y materia orgánica del suelo respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

Cerdà, A., Ebel, B. A., Serpa, D., & Lichner, L. (2022). Introduction To The Special Issue On Fire Impacts On Hydrological Processes. *Journal Of Hydrology And Hydromechanics*, 70(4), 385-387.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2024). Concentrado Nacional De Incendios Forestales. Disponible En https://Monitor_Incendios.Cnf.Gob.Mx/Incendios_Tarjeta_Semanal
- Cuesta, J. R., & Giraldo, I. O. (2013). Efectos De Los Incendios Forestales En Las Propiedades Del Suelo. Estado Del Arte. Cuaderno Activa, 5, 59-67.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). (2017). Anuario estadístico y geográfico de Durango 2017. Inegi. Aguascalientes, Ags., México. 501 p.
- Lozano, S., J. Olazo, M. I. Pérez, E. Castañeda, G. O. Díaz y G. M. Santiago. (2020). Infiltración y escurrimiento de agua en suelos de una cuenca en el sur de México. Terra Latinoamericana 38(1):57-66
- Luna, E. O., Cantú, I. C., & Bejar, S. J. (2022). Efectos Del Cambio Climático En La Gestión Sostenible Del Recurso Suelo. TECNOCENCIA Chihuahua, 16(3), E1097-E1097.
- Oswald, B. P., Dunson, C. P., & Farrish, K. W. (2023). Prescribed Burning Under Differing Forest Cover Types And Its Influence On Soil Water Infiltration Rates And Physical Properties In East Texas Forests. Forests, 14(10), 2083.
- Reta, I. R., Robles, E. O. L., Calderón, C. E. A., Pulido, S. J. B., & Favela, D. O. A. (2024). Evaluación de las propiedades físicas e hidrológicas de un Vertisol con diferentes usos de suelo. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 15(84), 105-131.
- Wagenbrenner, J. W., Ebel, B. A., Bladon, K. D., & Kinoshita, A. M. (2021). Post-Wildfire Hydrologic Recovery In Mediterranean Climates: A Systematic Review And Case Study To Identify Current Knowledge And Opportunities. Journal Of Hydrology, 602, 126772.
- Wine, M. L., & Cadol, D. (2016). Hydrologic effects of large southwestern USA wildfires significantly increase regional water supply: fact or fiction?. Environmental Research Letters, 11(8), 085006.

CAÍDA DE LA HOJARASCA Y DEPÓSITO DE MACRONUTRIENTES EN BOSQUE DE PINO, ENCINO Y PINO-ENCINO

César Gerardo Ramos Hernández¹; Juan Manuel López Hernández²; Humberto González Rodríguez^{1†}; Israel Cantú Silva¹; Marco Vinicio Gómez Meza³; María Inés Yáñez Díaz¹

¹Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional, No. 85, km 145. CP. 67700. Linares, Nuevo León, México. †Autor de correspondencia (humberto.gonzalezrd@uanl.edu.mx)

²Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Carretera San Luis Potosí-Matehuala Km. 14.5. Ejido Palma de la Cruz. CP. 78321. San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

³Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Calle Triste Esq. Lázaro Cárdenas S/N, Las Torres. CP. 64930. Monterrey, Nuevo León, México.

RESUMEN

En los ecosistemas forestales, la hojarasca cumple una función crucial en la transferencia de nutrientes entre el suelo y las plantas. En el noreste de México, este estudio analizó la deposición de macronutrientes y la caída de hojarasca en bosques de pino, encino y pino-encino, bajo la hipótesis de que cada comunidad vegetal presenta patrones diversos debido a su estructura y diversidad. Se establecieron diez colectores de 1 m² distribuidos al azar en parcelas de 50 m x 50 m en cada ecosistema. La colecta del material se realizó quincenalmente durante 16 meses. El depósito de hojarasca fue mayor en el ecosistema de Pino (579.74 g m⁻² año⁻¹), seguido de Pino-Encino (486.40 g m⁻² año⁻¹) y Encino (362.49 g m⁻² año⁻¹). El orden del depósito de nutrientes fue Ca > K > Mg > P. El ecosistema de Pino-Encino mostró la mayor deposición de nutrientes, mientras que el de Pino presentó la menor. Los hallazgos mostraron que la mayor deposición de nutrientes no estaba vinculada a la cantidad de hojarasca acumulada, evidenciando variaciones espaciales y temporales en la caída de hojarasca y la concentración de nutrientes. Las conclusiones obtenidas sugieren que la concentración de hojarasca y el depósito de nutrientes dependen de la diversidad vegetal, la composición química, el clima y la fenología de las especies.

Palabras clave

Diversidad; Estructura; Forestales; Nutrientes; Suelo.

INTRODUCCIÓN

La capa de hojarasca, formada por la caída y depósito de restos orgánicos procedentes del dosel de los árboles, es consumida por la fauna edáfica (Bargali *et al.*, 2015). La relación entre la fauna edáfica y la hojarasca desempeña un rol esencial en el movimiento de los nutrimentos, conservando la productividad del suelo, lo que resulta en el funcionamiento adecuado de los ciclos biogeoquímicos (Karki *et al.*, 2021).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

No obstante, la producción de hojarasca es diversa, aun tratándose de ecosistemas muy similares. El depósito de los diversos componentes orgánicos suele presentar una variación permanente, logrando ser espacialmente heterogénea. Las diferencias en la dinámica del depósito de hojarasca pueden explicarse en parte por la diversificación de especies, acumulación total de hojarasca y sus pautas relacionados con la actividad biológica y los patrones estacionales de deposición de hojarasca (Sari *et al.*, 2022).

Comprender la dinámica de los nutrientes y su relación con el depósito de hojarasca en el sistema suelo-planta conducirá a reconocer al recurso suelo como un componente esencial para los bosques, fomentando la correcta gestión de este sistema, propiciando la protección y mejorando los servicios ambientales (Ramos-Hernández *et al.*, 2023). En consecuencia, esta investigación se centró en examinar el movimiento de la hojarasca y el depósito de macronutrientes en tres entornos forestales, bajo la hipótesis que de cada comunidad vegetal presenta patrones diferentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La investigación se desarrolló en el noreste de México, en el Ejido Pablillo, situado en el municipio de Galeana, Nuevo León. Se estudiaron ecosistemas de Pino, Encino y Pino-Encino en un clima árido-templado de tipo BSok(x'), caracterizado por presentar lluvias que superan el 18% anual entre verano y el invierno, y con un suelo dominante de tipo Leptosol (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2013). La estructura vegetal predominante en la zona se compone de rodales mixtos de diversas especies de los géneros *Pinus* y *Quercus*, entre los que destaca *Pinus pseudostrobus* por su amplia distribución (Tapia y Nívar, 2011).

Colecta de hojarasca y preparación de muestras. Para medir la cantidad de hojarasca producida, se instalaron 10 colectores distribuidos al azar en un parcela de 2500 m² en cada ecosistema. La colecta de los restos orgánicos aportador por el dosel se realizó en intervalos quincenales desde septiembre de 2020 hasta diciembre de 2021. Los colectores, con un área de 1.0 m², se situaron a 50 cm sobre la superficie del suelo. El material recolectado se secó durante 72 horas a 70 °C. Una vez secas las muestras, se pesaron para obtener el peso seco (g). Posteriormente, se calculó el total de hojarasca en gramos por metro cuadrado por año (g m² año⁻¹).

Análisis químico. Conforme a las técnicas analíticas especificadas por la AOAC (2012), se prepararon los extractos de las muestras. Se tomó una muestra de 1.0 g de cada repetición, ecosistema y fecha de colecta para determinar la concentración de cada elemento. Las muestras fueron incineradas en una mufla (Modelo FE-340, de la marca Felisa®) 550 °C por un periodo de 3.2 horas. El material resultantes se digirieron en una emulsión de Ácido clorhídrico (10%, v/v) y Ácido nítrico (0.1%, v/v) basados en la técnica húmeda de digestión. La concentración de Ca, K y Mg se determinó utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer, Modelo PINAAcle 900F. Por otro lado, el fósforo (P) se midió por colorimetría con un espectrofotómetro Perkin-Elmer, Modelo Lambda 25 UV-Visible (AOAC, 2012).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Colecta de muestras de suelo y análisis de macronutrientes. Se recolectaron un total de 24 muestras compuestas de suelo, divididas en cuatro muestras de 0 a 20 cm y cuatro de 20 a 40 cm de profundidad en cada ecosistema. Las muestras se tamizaron por debajo de los 2 mm y se secaron al aire libre. La determinación de los macronutrientes en el suelo se realizó de acuerdo con las especificaciones de la NOM-021-RECNAT-2000. Las concentraciones de elementos se midieron mediante un espectrofotómetro de absorción atómica, utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer, Modelo PINAcle 900F.

Análisis estadísticos. Los valores totales del depósito de nutrientes y hojarasca por ecosistema fueron sometidos a un análisis estadístico con el fin de probar los supuestos de homogeneidad de varianza mediante la prueba de Levene y normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov con la corrección de Lilliefors (Steel y Torrie, 1980). Dado que los datos sí cumplieron con los supuestos, se sometieron a un análisis de varianza de acuerdo con un diseño experimental completamente al azar. Cuando se rechazó la hipótesis de igualdad de medias, se procedió a efectuar comparaciones múltiples por medio de la prueba de Tukey, usando un nivel de significancia de $p = 0.05$, por medio del programa SPSS versión 22.0 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Depósito de hojarasca. La concentración de hojarasca entre ecosistemas fluctuó de $362.49 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ (ecosistema de Encino) a $579.74 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ (ecosistema de Pino) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Depósito total de hojarasca en cada ecosistema forestal.

Deposición	Ecosistema forestal		
	Pino	Encino	Pino-Encino
Hojarasca (g m^{-2})			
Total ($\text{g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$)	579.74 ± 41.59^a	362.49 ± 28.69^b	486.40 ± 53.07^a

Los valores totales de producción de hojarasca representan la media \pm error estándar de la media ($n=10$). Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$) en la deposición de hojarasca entre ecosistemas bajo estudio.

Estos resultados muestran un comportamiento previamente documentado, en el cual los ecosistemas de coníferas tienen una mayor producción de hojarasca en comparación con ecosistemas de latifoliadas. Estas diferencias en el depósito de hojarasca entre ecosistemas pueden explicarse en parte por la estructura del dosel de los árboles y el desprendimiento constante de la hojarasca (López-Hernández *et al.*, 2022). Las características particulares de los diversos ecosistemas, como la composición florística y estructural de los bosques, influyen de manera directa en las tasas de producción de hojarasca (Nonghuloo *et al.*, 2020). Sin embargo, se ha documentado que los factores de mayor incidencia, los cuales actúan de manera continua sobre la caída de la hojarasca, son la temperatura y la precipitación. Generalmente, los picos de deposición de hojarasca están relacionados con condiciones de poca lluvia, que inducen estrés hídrico por la escasez de agua y altas temperaturas, lo que puede provocar la abscisión de las hojas más viejas (Morffi-Mestre *et al.*, 2020).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Depósito de macronutrientes. Los resultados de las comparaciones múltiples, efectuadas con la prueba de rango múltiple de Tukey, permiten detectar diferencias significativas entre el depósito total de Mg, P y Ca entre los ecosistemas; mientras que el K no presentó diferencias significativas entre sitios (Cuadro 2). De los macronutrientes analizados, el Ca fue el de mayor concentración por gramo de hojarasca en los ecosistemas de Encino-Pino y Encino, seguido de K, Mg y P. Mientras que, en el ecosistema de Pino, el K presentó los valores más altos, seguido de Ca, Mg y P. El mayor depósito de Ca en los ecosistemas de Encino-Pino y Encino, en relación con los demás macronutrientes, puede ser explicado en cierta manera ya que este elemento presenta poca movilidad de los tejidos viejos hacia los tejidos más jóvenes de la planta, lo que provoca que este nutriente se encuentre presente en ramas y hojas senescentes, aumentando sus niveles (Marschner, 2012). La menor concentración de Ca en el ecosistema de Pino, en comparación con los ecosistemas de Encino-Pino y Encino, se atribuye a que es un elemento estructural que se libera durante el proceso de descomposición, lo que hace lenta su liberación en el ecosistema de Pino, caracterizado por un proceso de descomposición más lento en comparación con los ecosistemas con presencia de encinos (Avendaño-Yáñez *et al.*, 2020).

Cuadro 2. Producción total de macronutrientes en cada ecosistema forestal.

Deposición	Ecosistema forestal		
	Pino	Encino	Pino-Encino
Macronutrientes (g m⁻² año⁻¹)			
Ca	2.29 ± 0.359 ^a	4.89 ± 0.368 ^a	9.84 ± 2.112 ^b
Mg	0.46 ± 0.037 ^a	0.31 ± 0.017 ^b	0.40 ± 0.035 ^{ab}
K	2.60 ± 0.309 ^a	2.40 ± 0.113 ^a	3.14 ± 0.307 ^a
P	0.37 ± 0.025 ^a	0.27 ± 0.018 ^b	0.28 ± 0.034 ^b

Los valores de producción de macronutrientes representan la media ± error estándar de la media (n=10). Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$) entre ecosistemas para la producción total de macronutrientes en los tres ecosistemas forestales.

Cuadro 3. Resultados del análisis de los nutrientes de las muestras de suelo.

Nutriente	Unidad	Ecosistema forestal					
		Pino		Encino		Pino-Encino	
		Profundidad (cm)		Profundidad (cm)		Profundidad (cm)	
		0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
Ca	mg kg ⁻¹	3450.1 ± 382	4260.8 ± 631	1906.7 ± 413	1645.6 ± 526	3962.3 ± 643	5490.1 ± 554
K	mg kg ⁻¹	336.4 ± 53.2	263.0 ± 19.6	284.6 ± 22.2	288 ± 36.0	291.1 ± 12.9	286.5 ± 16.3
P	mg kg ⁻¹	2.88 ± 0.2	2.72 ± 0.4	3.37 ± 1.3	5.03 ± 1.7	3.18 ± 0.9	1.68 ± 0.6
Mg	mg kg ⁻¹	254.3 ± 50.2	206.9 ± 29.2	150.6 ± 21.0	191.1 ± 15.9	164.0 ± 15.8	157.1 ± 17.6

Los valores de los nutrientes representan la media ± error estándar de la media (n=4).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

El depósito de nutrientes no estuvo ligado con la cantidad de hojarasca por ecosistema, aunque, por otro lado, la presencia de elementos en la hojarasca y el suelo (Cuadro 3) sugieren un flujo adecuado de elementos entre el sistema suelo-planta, lo que se manifiesta en el adecuado funcionamiento de los ciclos biogeoquímicos, reflejando la independencia de las reservas de los elementos en el medio por parte de las especies presentes en cada ecosistema (Correa *et al.*, 2007).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de la presente investigación indican que el depósito de hojarasca y la producción de nutrientes en los diversos ecosistemas forestales cumplen un papel en un proceso dinámico muy complejo, lo cual demanda mayor atención para lograr comprender la relación entre el sistema suelo-planta y su ciclaje de nutrientes.

La mayor concentración de hojarasca no necesariamente contribuye con la mayor cantidad de nutrientes, sino que su aporte está más ligado con la calidad de la hojarasca depositada, lo que se refleja en la cantidad de nutrientes en el suelo, contribuyendo al adecuado funcionamiento de los ciclos biogeoquímicos.

BIBLIOGRAFÍA

- AOAC (2012) *Official methods of analysis, 19th Edition*. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland, USA. 2200p.
- Avendaño-Yáñez, M. L., Quiroz-Martínez, S., Pérez-Elizalde, S., & López-Ortiz, S. (2020). Litterfall from tropical dry forest trees scattered in pastures. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 26(3), 409-418.
- Bargali, S. S., Shukla, K., Singh, L., Ghosh, L., & Lakhera, M. L. (2015). Leaf litter decomposition and nutrient dynamics in four tree species of dry deciduous forest. *Tropical Ecology*, 56(2), 191-200.
- Correa, J. A. R., Duque, C. M. Z., Peláez, J. D. L., & Hernández, M. I. G. (2007). Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos andinos de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Interciencia*, 32(5), 303-311.
- Karki, H., Bargali, K., & Bargali, S. S. (2021). Spatial and temporal trends in soil N-mineralization rates under the agroforestry systems in Bhabhar belt of Kumaun Himalaya, India. *Agroforestry Systems*, 95(8), 1603-1617. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00669>.
- López-Hernandez, J. M., González-Rodríguez, H., Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M. V., Estrada-Castillón, A. E., Contreras-Guajardo, N. L., & del Valle-Arango, J. I. (2022). Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en diferentes comunidades vegetales del Noreste de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(1).
- Marschner, H. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Amsterdam, Netherlands: Academic press.
- Morffi-Mestre, H., Ángeles-Pérez, G., Powers, J. S., Andrade, J. L., Huechacona-Ruiz, A. H., May-Pat, F., Chi-May, F., & Dupuy, J. M. (2020). Multiple factors influence seasonal and interannual litterfall production in a tropical dry forest in Mexico. *Forests*, 11(12), 1241. <https://doi.org/10.3390/f11121241>.

- Nonghuloo, I. M., Kharbhih, S., Suchiang, B. R., Adhikari, D., Upadhaya, K., & Barik, S. K. (2020). Production, decomposition and nutrient contents of litter in subtropical broadleaved forest surpass those in coniferous forest, Meghalaya. *Tropical Ecology*, 61, 5-12. <https://doi.org/10.1007/s42965-020-00065-x>.
- Ramos-Hernández, C. G., López-Hernández, J. M., Cantú, S. I., Yáñez-Díaz, M. I., Himmelsbash, W., & González-Rodríguez, H. (2022). Producción de hojarasca y depósito potencial de micronutrientes de la hojarasca en bosque de pino, encino y pino-encino, en el noreste de México. *e-CUCBA*, 19(10), 72-80.
- Sari, R. R., Rozendaal, D. M., Saputra, D. D., Hairiah, K., Roshetko, J. M., & van Noordwijk, M. (2022). Balancing litterfall and decomposition in cacao agroforestry systems. *Plant and Soil*, 473(1-2), 251-271.
- Steel, R. G. D., & Torrie, J. H. (1980). *Principles and procedures of statistics, a biometrical approach* (No. Ed. 2). In *Principles and procedures of statistics, a biometrical approach*. (Issue Ed. 2). McGraw-Hill Kogakusha, Ltd.
- Tapia, J., & Návar, J. (2011). Ajuste de modelos de volumen y funciones de ahusamiento para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en bosques de pino de la Sierra Madre Oriental de Nuevo León, México. *Foresta Veracruzana*, 13(2), 19-28.

HIDROMORFISMO Y PROPIEDADES EN ANDOSOLS DE PASTIZALES ALPINOS DEL MONTE TLÁLOC: DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA Y MICROMORFOLÓGICA

Eunice Lucero Galván-Díaz^{1*}; Ma. del Carmen Gutiérrez-Castorena¹

¹Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C.P. 56264. *galvan.eunice@colpos.mx

RESUMEN

El hidromorfismo es la saturación temporal o permanente de agua en los suelos; la cual, dependiendo del tiempo de saturación, da lugar a condiciones reductoras y rasgos morfológicos determinados. Estas condiciones son típicas de suelos en áreas del paisaje donde el drenaje es deficiente; sin embargo, en suelos volcánicos de zonas forestales no es comúnmente reportado. Se estudió la morfología y micromorfología de dos perfiles de Andosols en el monte Tláloc con el objetivo de determinar la influencia de la saturación de agua y la presencia de hielo en los mismos. Se identificaron procesos de gleyzación y crioturbación, expresados en la morfología de los suelos a nivel de perfil y en el desarrollo de rasgos y fábricas a nivel de micromorfología. Este estudio refuta el supuesto de que los suelos volcánicos en el país son ampliamente conocidos y documentados.

PALABRAS CLAVE

Crioturbación; Gleyzación; Propiedades ándicas; Suelos volcánicos.

INTRODUCCIÓN

Los suelos sometidos a hidromorfismo (Duchaufour, 1985), con frecuencia reflejan propiedades asociadas con las condiciones óxido-reducción (gléyicas/estágnicas) y expresan rasgos morfológicos relacionados con el periodo en que se encuentren saturados (Vepraskas, 2015). En una unidad de paisaje particular del monte Tláloc, las condiciones de saturación y pobre drenaje; así como de congelamiento temporal, han ocasionado procesos específicos en los suelos de origen volcánico de tal unidad. El objetivo de este trabajo es determinar la influencia de estas condiciones de saturación y congelamiento en los suelos, a través de su descripción y análisis morfológico y micromorfológico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio se ubica en la parte alta del volcán Tláloc, a una elevación de 3637 msnm (en las coordenadas 19° 23' 39.7" N, 98° 43' 29.9" O y 19° 23' 39.4" N, 98° 43' 30.1" O). El clima es Cwb (templado de altiplano subtropical con invierno seco) de acuerdo con la clasificación de Köppen-Geiger (Peel *et al.*, 2007). La temperatura media anual es de 9.8°C y la precipitación anual de 972.2 mm (SMN-CONAGUA). La vegetación consta de una ínsula de pastizal alpino dominado por *Muhlenbergia quadridentata* y *Festuca tolucensis*, la cual está rodeada de bosque de *Pinus* spp.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

El sitio se posiciona en una pendiente casi plana cóncava, donde se ha propiciado un drenaje algo pobremente drenado. El régimen de temperatura de los suelos es frígido y el régimen de humedad es ácuico. En el sitio se describieron dos perfiles de suelos, los cuales forman parte de una serie de perfiles estudiados en una secuencia altitudinal del volcán Tláloc. La descripción morfológica se realizó conforme a la guía para la descripción de Suelos de la FAO (2009), los análisis de laboratorio de acuerdo con van Reeuwijk (1999); finalmente la elaboración de secciones delgadas siguiendo el procedimiento de Murphy (1986) y su descripción de acuerdo con Bullock (1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Morfología de los Suelos. En el horizonte superficial de ambos perfiles (A_h) se desarrolló una estructura migajosa moderadamente desarrollada, característica de la vegetación de gramíneas, misma que se identifica a escala microscópica (Figura 1A y 2A). En el perfil 1 se ha formado un horizonte B_g y un horizonte C_g , ambos con rasgos redoximórficos gleyicos (Figura 1), identificados por la oxidación de los poros de las raíces en una matriz reducida (color en húmedo pardo olivo claro (2.5 Y 5/3)). Para el caso del perfil 2, no se ha desarrollado un horizonte B_w y el horizonte C presenta estructuras deformadas como resultado de la crioturbación incipiente, además de la presencia de hielo en el agua libre (Figura 2D). Las diferentes estructuras de deformación por la crioturbación en el Suelo han sido ampliamente reportadas en suelos de climas subpolares de latitudes boreales (v.g.: Rusia, Suiza, Alaska) (Egli y Poulénard, 2017; Vandenberghe, 2013) no así para los suelos del país donde los climas subpolares se restringen a las mayores elevaciones de las montañas del Cinturón Volcánico Transmexicano.

Rasgos micromorfológicos. El proceso de gleyización evidente en el perfil 1, se hace visible en ambos perfiles a escala micromorfológica, a través de rasgos de empobrecimiento de la matriz como signo de reducción e hipo-revestimientos de (hidr)óxidos de Fe en los poros de las raíces, propios de las condiciones ácuicas (Vepraskas *et al.*, 2018). Para el caso del perfil 2, en los horizontes $C_{jj}A_{jj}$ y C_{jj} se distingue un patrón en bandas, más notable en C_{jj} , donde las fracciones gruesas y finas se separan notoriamente (Figura 2C). Este patrón bandeado es característico de la deformación provocada por los cristales de hielo en los granos de arena del suelo (Van Vliet-Lanoë y Fox, 2018), común en Cryosols (Szymański *et al.*, 2015) u otros suelos formados en ambientes glaciales o periglaciales (Longhi *et al.*, 2021). Estos procesos de gleyización y crioturbación en Andosols no han sido reportados en el país, salvo lo documentado por Sandoval-Aparicio (2022) que señala condiciones de hidromorfismo fuerte y criogénesis en el valle glacial del Iztaccíhuatl.

Clasificación. Los suelos fueron clasificados como Andosols: Eutric Umbric Gleyic Silandic Andosol (loamic) y Eutric Mollic Gleyic Vitric Andosol (gelic, loamic, thixotropic) para el perfil 1 y 2 respectivamente (IUSS Working Group WRB. 2022); nótese que las propiedades gléicas se enuncian por el calificador *Gleyic* en ambos suelos, mientras que los procesos de crioturbación en el suelo del perfil 2 se consideran apenas como un calificador adicional (*gelic*).

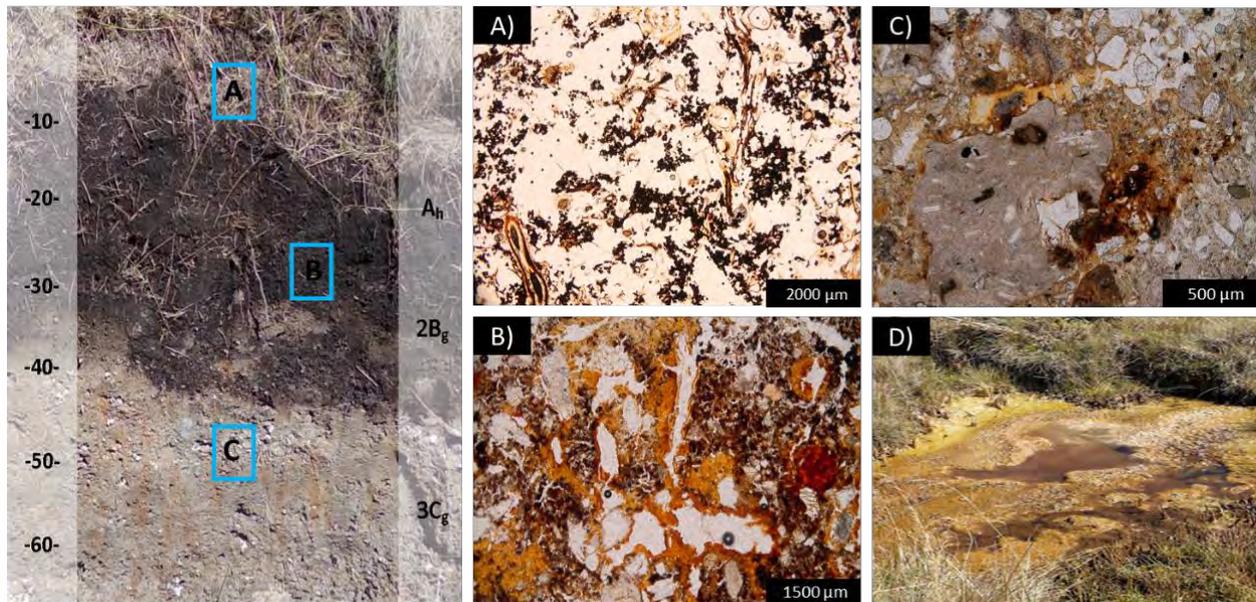


Figura 1. Perfil 1, se observan los rasgos redoximórficos en 2B_g y 3C_g. A) Estructura migajosa en A_h. B) Presencia de hiporevestimientos de (hidr)óxidos de Fe en los poros canal en 2B_g. C) Rasgos de empobrecimiento en matriz apedal compuesta de numerosos fragmentos de roca en 3C_g. D) Condiciones pobres de drenaje.

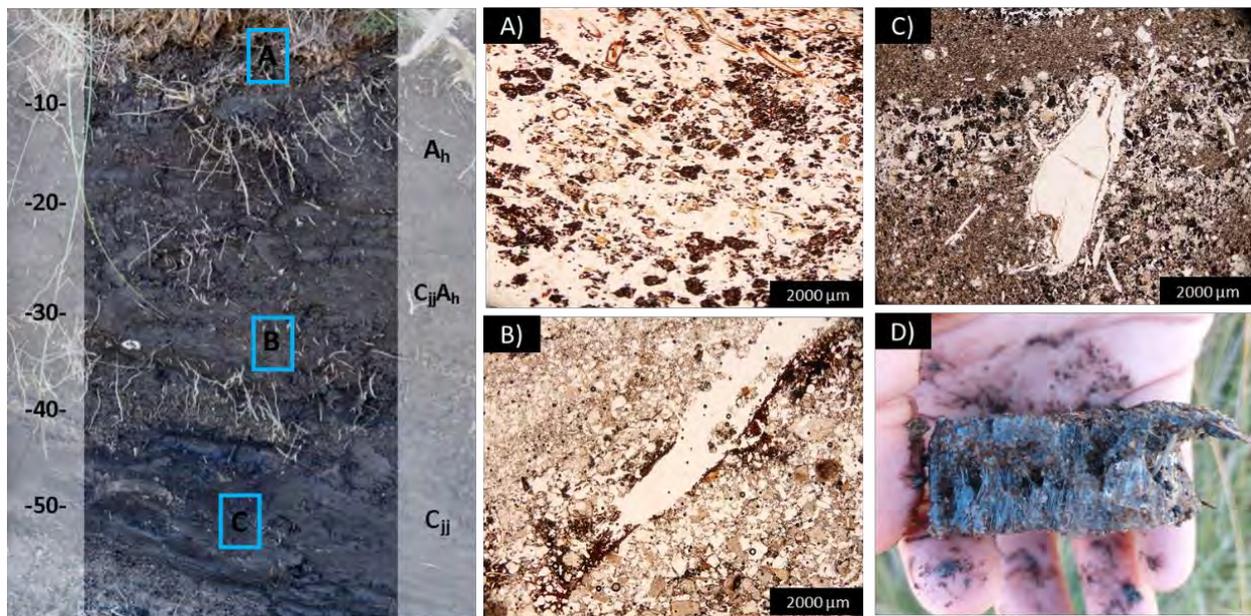


Figura 2. Perfil 2, deformación ocasionada por el hielo en C_{jj}. A) Microestructura migajosa y granular en A_h. B) Hiporevestimientos de (hidr)óxidos de Fe en los poros canal (por raíces) en C_{jj}A_{jj}, C) Patrón bandeado de la fracción gruesa en C_{jj}. E) Hielo presente en el agua libre del Suelo.

CONCLUSIONES

Aunque el material parental es el factor dominante en la formación de los Andosols, el relieve y el clima en este sitio han propiciado la saturación de agua y la presencia no-permanente de hielo; que a su vez han dado lugar a dos procesos pedogénicos específicos, los cuales se expresan en su morfología a escala de perfil y microscópica. Esta asociación Suelo-paisaje evoca al axioma de reconocer los componentes ambientales y asociarlos con las propiedades que se observan en el Suelo; el cual, aunque es imprescindible en el estudio de los Suelos, se vuelve injustificadamente innecesario en muchos trabajos de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Bullock, P., Stoops, A., Jongerius, A., Fedoroff, N. & Tursina, T. (1999). *Manual para la descripción micromorfológica de suelos*. (Gutiérrez-Castorena M. C. y Ortiz Solorio C. A. Trans.). Waine Research. (Obra original publicada en 1985).
- Duchaufour P. (1982). Hydromorphic soils. In: *Pedology*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-6003-2_12
- Egli, M. & Poulénard, J. (2017). Soils of mountainous landscapes. In: Richardson D. (ed). *The International Encyclopedia of Geography*. John Wiley & Sons. 10.1002/9781118786352.wbieg0197
- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Cuarta edición. Roma.
- IUSS Working Group WRB. (2022). *World Reference Base for Soil Resources*. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.
- Longhi, A., Trombino, L. & Guglielmin, M. (2021). Soil micromorphology as tool for the past permafrost and paleoclimate reconstruction. *Catena* 207 (105628) <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105628>
- Murphy. C. (1986). *Thin section preparation soils and sediments*. AB Academic Publishers. Berkhamsted.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L., & McMahon, T.A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11: 1633-1644.
- van Reeuwijk, J.P. (1999). *Procedimientos para análisis de suelos. Clasificación y correlación*. (Gutiérrez-Castorena M. C., Tavares-Espinosa C. A. y Ortiz Solorio C.A. Trans.). Colegio de Postgraduados-Montecillo. (Obra original publicada en 1995).
- Sandoval-Aparicio, J. C. (2020). Catenas de suelos ribereños del Iztaccíhuatl bajo diferentes tipos de vegetación: origen y captura de carbono. (Tesis maestría). Montecillo, Texcoco, Estado de México.
- Szymański, W., Skiba, M., Wojtuń, B. & Drewnik, M. (2015). Soil properties, micromorphology, and mineralogy of Cryosols from sorted and unsorted patterned grounds in the Hornsund area, SW Spitsbergen. *Geoderma* 253-254: 1-11.
- SMN-CONAGUA. Estaciones climatológicas. Estación climatológica Río Frío (15082). Recuperado el 30 de agosto del 2020 de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacionclimatologica/informacion-estadistica-climatologica>

- Van Vliet-Lanoë, B. & Fox C. (2018). Frost action. *In: Stoops G., Marcelino V., Mees F. (Ed.). Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths (2° Edition).* (pp. 575-604). Elsevier.
- Vepraskas, M.J., (2015). Redoximorphic Features for Identifying Aquic Conditions. Technical Bulletin 301, North Carolina Agricultural Research Service, Raleigh, 33 p.
- Vepraskas, M.J., Lindbo, D. & Stolt, M. (2018). Redoximorphic features. *In: Stoops G., Marcelino V., Mees F. (Ed.). Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths (2° Edition).* (pp. 425-446). Elsevier.



PROPIEDADES DEL SUELO BAJO DIFERENTES MANEJOS DE MILPA

César Asgard Filobello Sevada¹; Lilit Pogosyan²; Eliezer Cocoltzi Vásquez¹;
Simoneta Negrete Yankelevich²

¹Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Zona Universitaria, 91090 Xalapa-Enríquez, Ver., cesardilla139@gmail.com

²Red de Ecología Funcional, Instituto de Ecología A C, Carretera Antigua a Coatepec 351, 91073, Xalapa, México;

RESUMEN

La evaluación de las propiedades del suelo que está bajo el manejo agroecológico comúnmente se reduce a la estimación de parámetros que permiten calcular los índices de producción, pero no necesariamente reflejan la salud del suelo o/y su estabilidad. En este estudio de caso realizamos la evaluación de las propiedades de suelo en milpas agroecológicas, considerando las propiedades genéticas de suelo. A través del análisis micromorfológico se pudo distinguir que en el caso de suelos ubicados en pendiente las propiedades resultan menos favorables para el crecimiento de las plantas. Esto debido a que los procesos geomorfológicos agregan una parte del horizonte Bw al horizonte A aumentando la proporción de arcillas y que, disminuyendo la porosidad y acumulación de la materia orgánica, aun en los suelos con un tratamiento agroecológico. El efecto positivo del manejo agroecológico se manifiesta más en las posiciones de relieve plano, donde el suelo no está expuesto a erosión.

PALABRAS CLAVE

Agricultura, Agregados, Calidad del suelo, Estructura del suelo.

INTRODUCCIÓN

La milpa, un sistema tradicional de cultivo Mesoamericano que combina maíz (*Zea mays* L.), calabaza (*Cucurbita* spp.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), entre otras leguminosas y plantas comestibles, se considera como un sistema de producción en donde el rendimiento de los cultivos está estrechamente relacionado con los recursos internos: la abundancia de materia orgánica, la calidad y salud del suelo, los mecanismos de control biológico y la presencia de agua y aireación del suelo. Sin embargo, el manejo que se le da al suelo y al cultivo modifica estas condiciones (Ebel *et al.*, 2017; Altieri, 2009; Iverson *et al.*, 2014). A pesar de su sostenibilidad y capacidad para aprovechar eficientemente los recursos, la milpa ha sido desplazada por políticas que favorecen el monocultivo y el uso de agroquímicos desde mediados del siglo XX.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

En las comunidades de Cofre de Perote, Veracruz, México, se está llevando a cabo el proyecto “Biodiversidad en la milpa y su suelo: bases de la seguridad alimentaria de mujeres, adolescentes y niños rurales” (Mano Vuelta, Pronaii SSyS, Conahcyt, 319067) dedicado a revitalizar la milpa como la forma de manejo de suelo que brinda seguridad alimenticia de los habitantes y promover un manejo agroecológico, que incluye la construcción de terrazas en las laderas, abono orgánico y uso de rastrojo, empanizado de semillas, reducción de arado y combinación de cultivos (Martínez-Camacho et al., 2021).

En este estudio, estamos analizando qué efecto tuvieron estas prácticas agroecológicas en las propiedades del suelo durante diferentes tiempos de ser implementadas (4 o 8 años), y su comparación con las propiedades del suelo bajo el manejo convencional. Asimismo, para poder evaluar el estado del suelo en comparación con su desarrollo natural (Kuzyakov et al., 2020), estamos comparando el suelo de las milpas con el de una plantación forestal, que eventualmente ha sido utilizada para el cultivo, pero que actualmente se encuentra cubierto con la vegetación boscosa.

La evaluación de los suelos en el concepto agrícola tradicionalmente se lleva a cabo utilizando las muestras superficiales y no siempre se relaciona con las propiedades del perfil del suelo en sí. Por lo tanto, en este trabajo estamos aplicando el concepto de génesis del suelo y consideramos que el conocimiento de los rasgos edáficos del perfil completo puede complementar la interpretación de los resultados obtenidos de muestras superficiales.

MATERIALES Y MÉTODOS

La descripción de suelo en campo fue realizada siguiendo el manual de IUSS Working Group WRB (2022). Se tomaron muestras superficiales de suelo (de 10 a 20 cm) de dos milpas que llevan cuatro años de manejo agroecológico (AN), dos milpas que llevan ocho años de manejo agroecológico (AV), y dos parcelas de manejo convencional (C). Cada par de parcelas tenían relieves contrastantes, una con pendiente (PD) y otra plana (PL). Asimismo, se tomaron muestras del perfil bajo el uso de plantación forestal (OPN), de cada horizonte (6 muestras), también ubicado en una pendiente. Realizamos la comparación de las propiedades del suelo a través del análisis micromorfológico, utilizando láminas delgadas de 30 μm de grosor, analizadas bajo el microscopio petrográfico Olympus BX 50 y utilizando la terminología de Loaiza et al. (2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos observados en el sitio de estudio pertenecen al grupo de Andosoles, tienen estructura migajosa del horizonte A y color de acuerdo a la tabla Munsell con los valores de oscuridad de alrededor de 2. Los horizontes sub-supersificales Bw tienen colores marrones con tonos anaranjados. Sin embargo, en las laderas el horizonte superficial se mezcla con los horizontes subsuperficiales Bw, que en su estado natural tienen estructura subangular y colores con valor de oscuridad de 3, lo cual refleja más alto contenido de minerales arcillosos y menor acumulación de materia orgánica. Esto también está reflejado en la descripción micromorfológica (Tabla 1 y Figura 1).

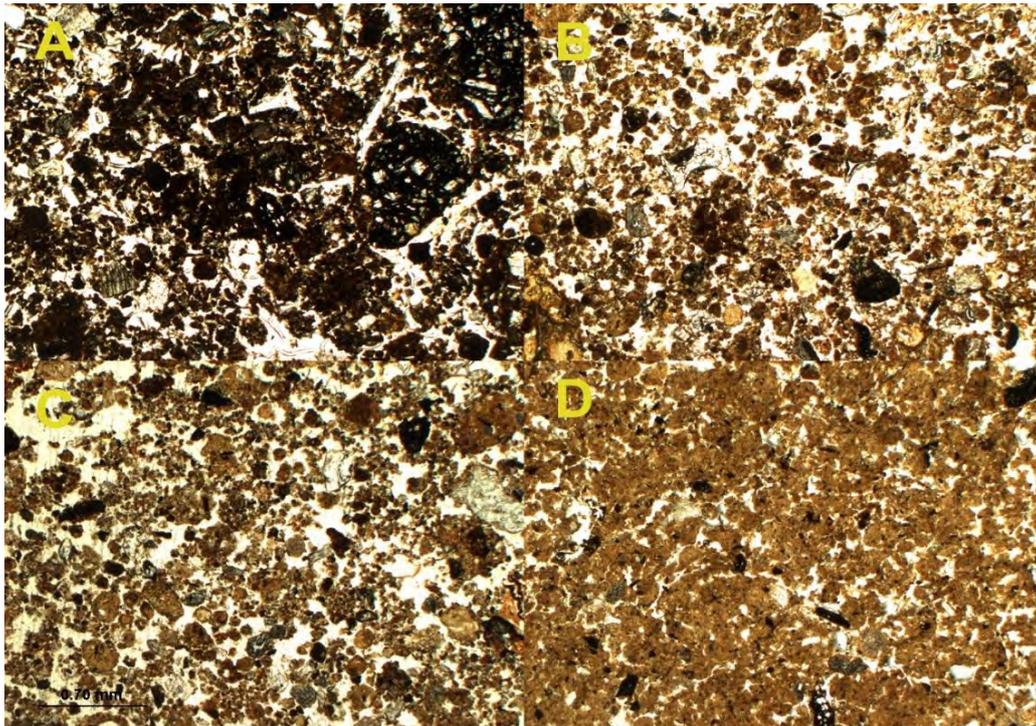


Figura 1. Microfotografías de la estructura del suelo, luz plana polarizada aumento de 2X10: a) AVPL; b) AVPD; c) OPN A 10-20; d) OPN 3Bw 80-90.

Con base en los resultados obtenidos, se observa que en el perfil OPN los horizontes Bw tienen colores más anaranjados, mientras el horizonte A se aproxima al color marrón. No se llagan a observar los colores más oscuros debido a que justamente el perfil OPN se encuentra en una ladera, y el suelo fue utilizado como milpa antes del desarrollo de la vegetación boscosa. Esto también explica la abundante cantidad de carbón que se observa en las láminas tanto en el horizonte A como en los horizontes Bw, ya que la quema de la cobertura vegetal antes de la siembra ha sido una práctica común de la región en el pasado.

Los horizontes superficiales A tienen la estructura migajosa a nivel macro- y micromorfológico, con los agregados redondeados que son producto de la actividad biológica, y alta porosidad de tipo empaquetamiento, que es favorable para el desarrollo del suelo, pero a la vez indica su vulnerabilidad para los procesos de erosión, ya que fácilmente se separan los fragmentos del suelo. Al mismo tiempo, los horizontes Bw del perfil OPN tienen estructura de bloques, la porosidad baja, de tipo de fisuras, que se debe a la alta proporción de arcillas y baja actividad biológica en este material. Debido a lo anterior, podemos observar una tendencia a los valores bajos de porosidad en las milpas con más pendiente, ya que justamente en la capa donde se desarrollan las raíces de los cultivos el suelo tiene una proporción del horizonte Bw agregada al horizonte A.

Esto también se observa por los agregados redondeados anaranjados arcillosos que se observan en las láminas de los suelos ubicados en pendientes: estos bloques fueron incluidos en esta capa durante el manejo anterior, cuando se aplicaba el arado, o por la actividad de macrofauna, como tuzas, y ahora siguen presentes a pesar de que el

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

arado fue suspendido en las parcelas agroecológicas AV y AN, e incluso en el perfil OPN de uso forestal actual.

Tabla 1. Observaciones micromorfológicas.

Muestra	Color	Porosidad	Forma de agregado
CPD	Café	60% empaquetamiento compuesto	Granulado
CPL	Café/Negro	70% empaquetamiento compuesto	Migajas porosas
ANPD	Marrón/ Anaranjado	40% empaquetamiento complejo	Granulado
ANPL	Marrón	60% empaquetamiento complejo	Granulado
AVPD	Marrón	50% fisuras y cámaras	Bloques angulares
AVPL	Café/Negro	60% fisuras y empaquetamiento complejos	Granulado
OPN A 10-20	Marrón	50% empaquetamiento compuesto	Migajas porosas
OPN Bw 32-42	Anaranjado	30% empaquetamiento complejo	Migajas porosas
OPN Bw2 50-60	Anaranjado	20% fisuras	Bloques subangulares
OPN Bw3 80-90	Marrón	20% fisuras	Bloques subangulares
OPN Bw4 100-110	Marrón	30% fisuras	Bloques angulares
OPN BC 145-155	Anaranjado	40% fisuras	Bloques subangulares

Los suelos con manejo convencional tienden a tener mayor porosidad en comparación con los suelos agroecológicos, sin embargo, esto no se debe a una conservación mayor de la materia orgánica, sino se explica por la posición en el relieve, la adhesión del horizonte Bw al A, y acumulación del material erosionado de las laderas, así como por la práctica del arado. Mientras la baja proporción de agregados redondeados en las muestras CPL y CPD indican una baja actividad de la fauna del suelo en comparación con los suelos de manejo agroecológico y del perfil OPN. Estudios recientes sobre la relación entre materia orgánica y desarrollo de la estructura para un Andic Antrosol indican que las prácticas de manejo agroecológico mejoran las propiedades de la estructura del suelo (Rivera-Uria et al., 2024).

Coincidentemente, en nuestro estudio los suelos de manejo AV de 8 años tienen una coloración más oscura que AN de 4 años, lo cual se aprecia aun más en las posiciones planes.

CONCLUSIONES

El análisis de propiedades de suelo en condiciones naturales o aproximadas a estas, así como el análisis de perfil completo, es crucial para la evaluación de la salud del suelo de uso agrícola. Para los suelos ubicados en las laderas pronunciadas el factor de relieve y erosión del suelo tiene un efecto importante que puede relentizar la manifestación de los efectos positivos del manejo agroecológico sobre la microestructura del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio recibió apoyo del proyecto Mano Vuelta, Pronaii SSyS, Conahcyt, 319067. Se agradece el apoyo de los técnicos Sandra Rocha Ortiz, Beatriz Marín Castro y Elizabeth Hernández Morales del laboratorio LABSAP (INECOL); Víctor Manuel Vásquez Reyes (INECOL) y Jaime Díaz Ortega y Silvia Martínez Cruz del Taller de Laminación de Suelos y Sedimentos del Instituto de Geología, UNAM.

BIBLIOGRAFÍA

- Altieri, M. A. (2009). Agroecology, small farms and food sovereignty. *Mon. Rev.* 61: 102-112.
- Ebel, R., Pozas Cárdenas, J. G., Soria Miranda, F., & Cruz González, J. (2017). Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana*, 35(2), 149-160.
- IUSS Working Group WRB. 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.
- Iverson, A. L., L. E. Marín, K. K. Ennis, D. J. Gonthier, B. T. Connor, J. L. Remfert, J. Cardinale, and I. Perfecto. 2014. Do polycultures promote win-wins or trade-offs in agricultural ecosystem services? A meta-analysis. *J. Appl. Ecol.* 51: 1593-1602.
- Kuzyakov, Y., Gunina, A., Zamanian, K., Tian, J., Luo, Y., Xu, X., Yudina, A., Aponte, H., Alharbi, H., Ovsepyan, L., Kurganova, I., Ge, T., Guillaume, T., 2020. New approaches for evaluation of soil health, sensitivity and resistance to degradation. *Front. Agr. Sci. Eng.*, 7(3): 282–288 <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2020338>
- Loaiza JC, Stoops G, Poch RM, Casamitjana M (Eds). 2014. *Manual de micromorfología de suelos y técnicas complementarias*. Fondo Editorial Pascual Bravo. Medellín, 386 pp.
- Martínez-Camacho, Y. D., Negrete-Yankelevich, S., Maldonado-Mendoza, I. E., Núñez-de la Mora, A., & Amescua-Villela, G. (2021). Agroecological management with intra- and interspecific diversification as an alternative to conventional soil nutrient management in family maize farming. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 46(3), 364–391. <https://doi.org/10.1080/21683565.2021.2015736>
- Rivera-Uria Y., Solleiro-Rebolledo E., Beltrán-Paz O., Martínez-Jardines G., Nava-Arsola E., Vázquez-Zacamitín G., Díaz-Ortega J., Alcalá-Martínez R., Chávez-Vergara B. 2024. Short-term response on microstructure and soil organic matter characteristics after fertilization change in an Andic Anthroisol. *Soil and Tillage Research*, 241: 106110, <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106110>.

COS Y FLUJOS DE CO₂ DEL SUELO EN BOSQUES TEMPLADOS BAJO MANEJO FORESTAL EN DURANGO, MEXICO

Erik Orlando Luna Robles¹; Francisco Javier Hernández¹; Israel Cantú Silva²;
Silvia Janeth Bejar Pulido¹; Alondra Nayeli Gallegos López¹

¹Instituto Tecnológico de El Salto. CP 34942 El Salto, Dgo. México.

²Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León,
CP 67700 Linares, N.L. México.

RESUMEN

Comprender la dinámica del ciclo del carbono del suelo bajo diferentes escenarios silvícolas es importante para conducir al manejo integral del ecosistema forestal. En este estudio, se analizó el reservorio de carbono orgánico del suelo y los flujos de CO₂ emitidos por el suelo en cinco rodales los cuales se describen a continuación: a) Matarrasa, b) Árboles padre, c) Selección y e) Post incendio; los cuales fueron comparados con un rodal de Referencia de 4.35 ha próximo a aplicarse corta de regeneración. Se recolectaron ocho muestras compuestas de suelo a una profundidad de 0-40 cm para determinar el contenido de COS. El flujo de CO₂ se midió semanalmente durante el periodo de diciembre de 2019 a octubre de 2020 y se estimó mediante el sistema portátil EGM-4. De manera particular, el COS osciló entre 116.37 y 184.85 Mg ha⁻¹, siendo el rodal de Matarrasa el de mayor reservorio, con un incremento > 50% respecto a Referencia. En general los reservorios presentaron la siguiente tendencia: Matarrasa > Á. padre > Post-incendio > Selección > Referencia. Todos los rodales presentaron bajos flujos de CO₂, respecto a Referencia (8.86 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹). Los flujos de CO₂ incrementaron posterior al inicio de la temporada de lluvias. Los resultados demostraron que el Umbrisol bajo manejo forestal posee capacidades como buen sumidero de C.

PALABRAS CLAVE

Reservorio de carbono, Respiración del suelo, Manejo forestal.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un ente ambiental complejo resultado de interacciones bióticas y abióticas como clima y tipos de rocas, sedimentos, materiales orgánicos, relieve y organismos vivos durante un lapso de tiempo determinado. Proporcionan los servicios ecosistémicos necesarios para garantizar el bienestar humano (Nunes et al., 2020). Sin embargo, a nivel mundial los usos del suelo asociados con actividades antrópicas, tales como agricultura, pastoreo y silvicultura han afectado la calidad de suelo y sus servicios ecosistémicos (Sahagún & Reyes, 2018). De manera específica las prácticas forestales pueden afectar la estabilidad y el contenido de materia orgánica del suelo, así como sus propiedades físicas, químicas y biológicas, debido a los cambios en la estructura y composición de la vegetación y condiciones ambientales tales como humedad, temperatura, radiación etc. (Zhou et al., 2015).

En Durango los bosques se manejan bajo los sistemas del Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI) y Método de Desarrollo Silvícola (MDS) (Pérez et al., 2013); los cuales consideran diferentes prácticas de aprovechamiento que alteran el entorno del rodal (Jurgensen et al., 2012), y características del suelo como nutrientes, humedad, temperatura, aportes de las capas de hojarasca, distribución de raíces y la comunidad microbiana (Mushinski et al., 2017). Por lo anterior el objetivo del presente fue determinar las reservas de COS y flujos de CO₂ en rodales en rodales bajo los sistemas de manejo forestal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en bosques de Pueblo Nuevo en Durango, México. La vegetación principal está compuesta por especies de *Pinus* y *Quercus*. La altitud media es de 2580 m y el suelo dominante corresponde al tipo Umbrisol. Los rangos precipitación y temperatura son de 800-2000 mm y 8-26° C, respectivamente (González et al., 2012).

La evaluación se llevó a cabo en cinco rodales los cuales se describen a continuación: **a)** Matarrasa (intensidad de corta: 100%): consistió en la extracción total de la masa forestal; **b)** Á. padre con una intensidad de corta del 80%; **c)** Selección con una intensidad de corta del 34%; **d)** Post incendio (área de 10 ha con regeneración natural); y **e)** Rodal de Referencia con una masa arbórea próxima a aplicarse corta de regeneración. Con base en las características del suelo, en cada rodal se recolectaron ocho muestras compuestas de suelo de 0 a 40 cm de profundidad, las cuales se analizaron mediante el método Walkley y Black modificado para determinar el porcentaje de carbono de las muestras. La reserva de COS en Mg ha⁻¹ fue calculada a partir de multiplicar el intervalo de profundidad analizada por el valor de la densidad del suelo promedio de cada rodal por el porcentaje de carbono obtenido de la muestra. Por último, el flujo de CO₂ se determinó semanalmente con cuatro mediciones al azar (2:30 a 15:00 h) durante el periodo de diciembre de 2019 a octubre de 2020 con el sistema portátil EGM-4 (U.K.) (Cantú y Yáñez, 2018).

Análisis estadísticos

A todos los datos de las variables se les aplico pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y homogeneidad de varianzas de Levene. Se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis (KW) con el fin de identificar diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre los flujos medios de CO₂ y por fecha muestreada, mientras que el COS se analizó mediante un análisis de varianza de un factor con su respectiva prueba de Tukey. El análisis se hizo con el paquete estadístico SPSS versión 22.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Flujos de CO₂

Los resultados de la prueba de Kruskal Wallis para los flujos promedio de CO₂ señalan que los rodales presentan diferencias significativas ($p < 0.05$). Presentando el siguiente orden descendente en $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ Referencia: 8.86 > Árboles padre: 8.42 > Selección 7.17 > Matarrasa 6.98 > Post incendio: 6.31. Por otra parte, en la Figura 1 se aprecia que CO₂ fluctuó entre 0 (diciembre 2019, Matarrasa) y 36.45 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (julio, Árboles padre). Específicamente la respiración se mantuvo baja durante el periodo de diciembre 2019 a mayo 2020, incrementándose durante el periodo de julio a agosto, el cual coincide con la temporada de lluvias de la región, luego tiende a decrecer a los registros observados en invierno y primavera. Se registraron diferencias en 13 de los 28 muestreos.

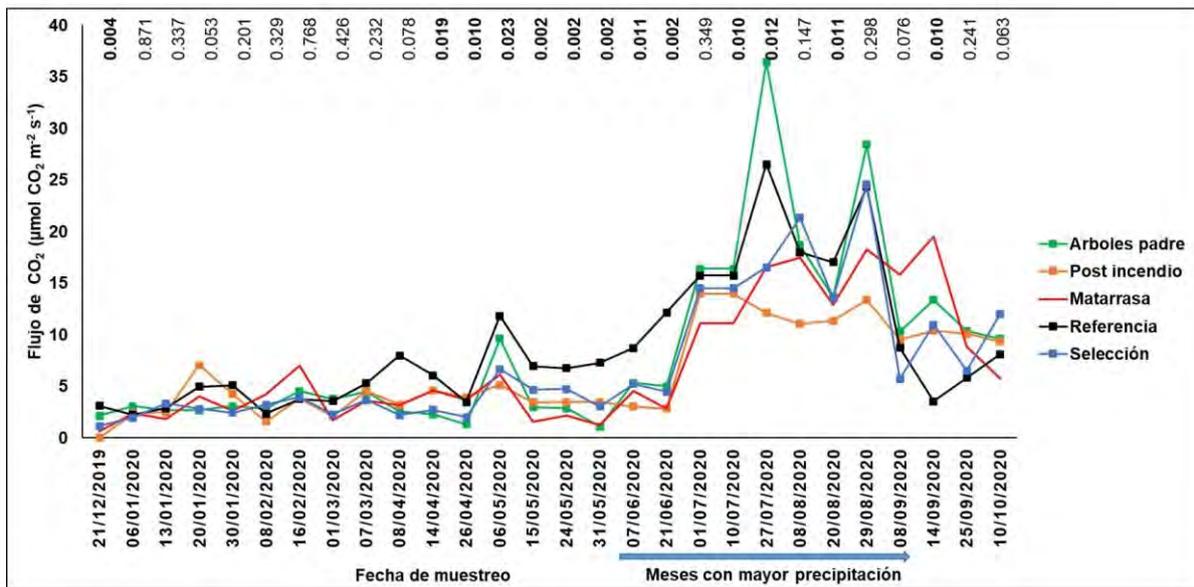


Figura 1. Flujos de CO₂ emitidos por la respiración del suelo.

De acuerdo con Zhang et al. (2018) en suelos de bosques templados las emisiones de CO₂ generalmente son muy bajas lo cual coincide con los resultados del presente estudio, lo anterior puede atribuirse a la calidad y composición de la materia orgánica y restos leñosos, y cambios en la densidad arbórea. En cuanto a la transición estacional, puede ser debido a los cambios de humedad y temperatura del suelo, concordando con Tucker et al. (2019) quienes indican que las actividades biológicas en el interior del suelo se ven impactadas por cambios en los contenidos de humedad y/o cambios drásticos en la temperatura. Además, se manifestó un aumento significativo del CO₂ posterior al inicio de las lluvias, esta ha sido reportado en otros estudios donde correlacionan positivamente esta tendencia con el aumento de la humedad del suelo, debido a sus efectos directos en la reactivación de procesos de los microorganismos del suelo y metabólicos de las raíces (Lopera, 2019).

Reservorio de COS

Los resultados del ANOVA mostraron diferencias significativas en los reservorios de COS entre los diferentes rodales ($p < 0.05$). Específicamente, se puede el COS osciló entre 116.37 y 184.85 Mg ha⁻¹, siendo el rodal de Matarrasa el de mayor reservorio, con un incremento $> 50\%$ respecto a Referencia. En general, los reservorios presentaron la siguiente tendencia en Mg ha⁻¹: Matarrasa, 184.85c $>$ Á. padre, 168.36bc $>$ Post incendio, 151.28b $>$ Selección, 128.62a $>$ Referencia, 116.37a. En promedio, el reservorio de carbono orgánico para la profundidad analizada fue de 144.89 Mg ha⁻¹, valor que corresponde a un suelo con alta capacidad de almacenamiento de carbono, considerando que los suelos a nivel nacional y en el estado de Durango almacenan en promedio 56 y 48 Mg ha⁻¹, respectivamente (Segura et al., 2005). Asimismo, los resultados concuerdan con otros estudios realizados en otros Umbrisoles bajo cubierta forestal, donde los reservorios fluctuaron entre 33 y 185 Mg ha⁻¹ (Turrión et al., 2009; Galicia et al., 2016). Noormets et al. (2012) señalan que el aumento de la mineralización del COS es un fenómeno común post cosecha, que puede deberse a los residuos de la tala forestal, como las raíces que fueron incorporado como materia orgánica al suelo, contribuyendo así a un aumento del COS almacenamiento. Por lo tanto, en Á. padre y Matarrasa cuya intensidad de corte aplicada fue del 100 y 80% respectivamente, lo cual aumenta el número de raíces gruesas muertas, lo que lleva a posibles contribuciones de carbono al suelo.

CONCLUSIONES

Las emisiones de CO₂ del suelo se logran reducir de manera significativa posterior a las cortas de regeneración.

Por otra parte, los resultados el almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS) permiten definir al Umbrisol como un suelo con alto potencial de secuestro de carbono.

El manejo forestal potencializa al Umbrisol en la mitigación del cambio climático.

BIBLIOGRAFÍA

- Cantú, I. & Yáñez, I. (2018). Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(45), 122-151.
- Galicia, L., Gamboa, A., Cram, S., Chávez, B., Peña, V., Saynes, V., & Siebe, C. (2016). *Stocks and dynamics of soil organic carbon in temperate forests of Mexico*. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 1-29.
- González, M., González, M., Tena, J. A., Ruacho-Gonz, L., & López, I. (2012). *Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: una síntesis*. *Acta Botánica Mexicana*, 100, 3513403.
- Jurgensen, M., Tarpey, R., Pickens, J., Kolka, R., & Palik, B. (2012). *Long-term Effect of Silvicultural Thinnings on Soil Carbon and Nitrogen Pools*. *Soil Science Society of America Journal*, 76(4), 1418-1425.
- Lopera, M. (2019). *Flujo de CO₂ del suelo bajo diferentes coberturas de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá*. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43(167), 234-240.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Mushinski, R., Gentry, T., Dorosky, R., & Boutton, T. (2017). *Forest harvest intensity and soil depth alter inorganic nitrogen pool sizes and ammonia oxidizer community composition*. *Soil Biology and Biochemistry*, 112, 216-227.
- Noormets, A., McNulty, S. G., Domec, J. C., Gavazzi, M., Sun, G., & King, J. S. (2012). *The role of harvest residue in rotation cycle carbon balance in loblolly pine plantations. Respiration partitioning approach*. *Global Change Biology*, 18(10), 3186-3201.
- Nunes, F.C., L. Alves, C. Carvalho, E. Gross, T. de Marchi & M. Prasad. (2020). *Chapter 9-Soil as a complex ecological system for meeting food and nutritional security*. pp. 229-269. In: VaraPrasad, M.N. & M. Pietrzykowski (Eds). *Climate Change and Soil Interactions*. Elsevier.
- Pérez F, Vargas LB, Aguirre COA, Corral RJJ, Rojo A (2013). *Analytic hierarchy process to select forest management methods in Durango*. *Rev. Mex. de Cien. For.* 4(15):55-72
- Sahagún, S. F. J., & Reyes, H. H. (2018). *Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México*. *Ciencia UAT*, 12(2), 6-21.
- Segura C., Sánchez G., Ortiz S., & Del Carmen G. (2005). *Carbono orgánico de los suelos de México*. *Terra Latinoamericana* 23(1):21-28.
- Tucker, C. L., Ferrenberg, S., & Reed, S. C. (2019). *Climatic sensitivity of dryland soil CO2 fluxes differs dramatically with biological soil crust successional state*. *Ecosystems*, 22(1), 15-32.
- Turrión, M. B., Schneider, K., & Gallardo, J. F. (2009). *Carbon accumulation in umbrisols under quercus pyrenaica forests: Effects of bedrock and annual precipitation*. *Catena*, 79(1), 1-8.
- Zhang, X. Z., Guan, D. X., Li, W. B., Sun, D., Jin, C. J., Yuan, F. H., Wang, A. Z., & Wu, J. B. (2018). *The effects of forest thinning on soil carbon stocks and dynamics: A meta-analysis*. *Forest Ecology and Management*, 429, 36- 43.
- Zhou, X., Y. Zhou, C. Zhou, Z. Wu, ... J. Gan. (2015). *Effects of cutting intensity on soil physical and chemical properties in a mixed natural forest in southeastern China*. *Forests* 2015 6(12):4495-4509.

DISTRIBUCIÓN DE BIOMASA EN PORTAINJERTOS DE MANZANA SOMETIDOS A DEFICIT HÍDRICO

Mariela Rascón Castillo¹; Carlos Alberto Lozano Martínez¹; Rafael Ángel Parra Quezada¹; María Noemí Frías Moreno¹; Juan Luis Jacobo Cuellar¹; Oscar Cruz Álvarez¹; Damaris Leopoldina Ojeda Barrios¹; Ofelia Adriana Hernández Rodríguez¹

¹ Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua. Avenida Universidad y, Avenida Pascual Orozco s/n, Universidad, 31110 Chihuahua, Chih. Autor de correspondencia: p344292@uach.mx

RESUMEN

Se evaluaron 10 portainjertos sometidos a 4 ciclos de sequía durante el año 2020. Se registró porcentaje de humedad en el suelo, crecimiento vegetativo y biomasa fresca y seca de los diferentes órganos de la planta. Los portainjertos con mejores resultados fueron B.9, G.30, G.41, MM.111 y G.210. Para biomasa seca total destacaron B.9, G.30, G.41, MM.111 y MM.109. Algunos de estos portainjertos cuentan con antecedentes de tolerancia a sequía en investigaciones anteriores, por lo tanto, en esta investigación se demostró que existen portainjertos que toleran cierto grado de estrés hídrico.

PALABRAS CLAVE

Crecimiento; Riego; Sequía; Uso eficiente del agua.

INTRODUCCIÓN

La sequía es un fenómeno meteorológico que se ha acentuado en los últimos 15 años en la zona manzanera de Cuauhtémoc, Chihuahua. Se estima que en el estado de Chihuahua se cultivan aproximadamente 31,000 hectáreas de manzana, aproximadamente el 95% de la producción se hace bajo condiciones de riego, extrayendo el agua por bombeo donde la eficiencia global de riego es igual o menor al 65%, llegando a utilizar hasta 1.6 m³ de agua por kg de manzana producida (Villagran *et al.*, 2015). Según CONAGUA (2022), en el acuífero de Cuauhtémoc existen más de 4500 pozos profundos que anualmente extraen 497.9 hm³ de los cuales 477.4 hm³ (95.9%) son para uso agrícola, se tiene una recarga anual de 299.4 hm³, lo que deja un abatimiento anual del acuífero de 198.5 hm³, por lo tanto, el ahorro del agua es fundamental, ya que las condiciones que prevalecen en la región indican que algunos pozos se han agotado y hay acuíferos obreexplotados. Esta investigación se centra en evaluar diez portainjertos utilizados en la zona manzanera de Cuauhtémoc, Chihuahua, injertados con Golden Delicious, sometiéndose a estrés hídrico, en las condiciones climáticas de Ciudad Chihuahua, esperando que al menos un portainjerto, en este trabajo, presente tolerancia a estrés hídrico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El trabajo se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, campus Cuauhtémoc. Esta zona se localiza en la región centro-oeste del estado, en la zona de transición entre la meseta y la sierra. La temperatura media anual es de 18 °C. El municipio es muy frío durante el invierno, llegando a registrar temperaturas extremas de los -15 °C durante las noches. El verano es agradable y el termómetro llega a registrar máximos del orden de los 38 °C. Su precipitación media anual es de 400 mm, y con 66 días la temporada de lluvia al año

Material vegetativo utilizado

Para el desarrollo de esta investigación se evaluaron 10 portainjertos de manzano (MM.109, MM.111, M.9Nic29, G.210, G.30, G.41, G.890, G.202, M.7 y B.9), injertados con la variedad Golden Delicious, plantados en macetas de 20 L. Como sustrato se utilizó una combinación de composta, suelo y arena (1:1:1). Todos estos árboles se obtuvieron de viveros comerciales de la región, plantados a raíz desnuda. Antes de la plantación se dio un tratamiento a la raíz con una combinación de 5 g de agrimicin (fungicida-bactericida) y 50 g de pro root (enraizador).

Tratamientos de riego

Se aplicaron dos tratamientos que consistieron en: riego completo y déficit hídrico. El tratamiento de riego completo consistió en regar los árboles 4 veces por semana, manteniendo el sustrato a capacidad de campo, mientras que el tratamiento de sequía consistió en regar los árboles hasta el mes de mayo y parte de junio, para posteriormente iniciar con 4 ciclos de sequía, dejando que la humedad aprovechable se abatiera hasta el 90% para aplicar riego de recuperación.

Diseño experimental

El diseño experimental utilizado para realizar este experimento fue completamente al azar, empleando dos tratamientos de riego, con 10 portainjertos y 5 repeticiones en cada tratamiento y una planta como unidad experimental. El análisis de la información se realizó con el programa SPSS. Cuando se detectó homogeneidad de varianzas se realizó el análisis de varianza para el modelo propuesto y el procedimiento de comparación múltiple de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). Adicionalmente se utilizó la prueba de "t" de Student para la comparación de riego-sequía dentro del mismo portainjerto.

Contenido de humedad en el suelo

El contenido de humedad del sustrato se midió mediante el método gravimétrico, tomando muestras de suelo con una barrena metálica y poniéndolas en pequeños contenedores de aluminio para ser pesadas, posteriormente puestas en el horno de secado a 105°C durante 24 horas, una vez secas las muestras se volvieron a pesar para determinar el porcentaje de humedad (Figura 1).

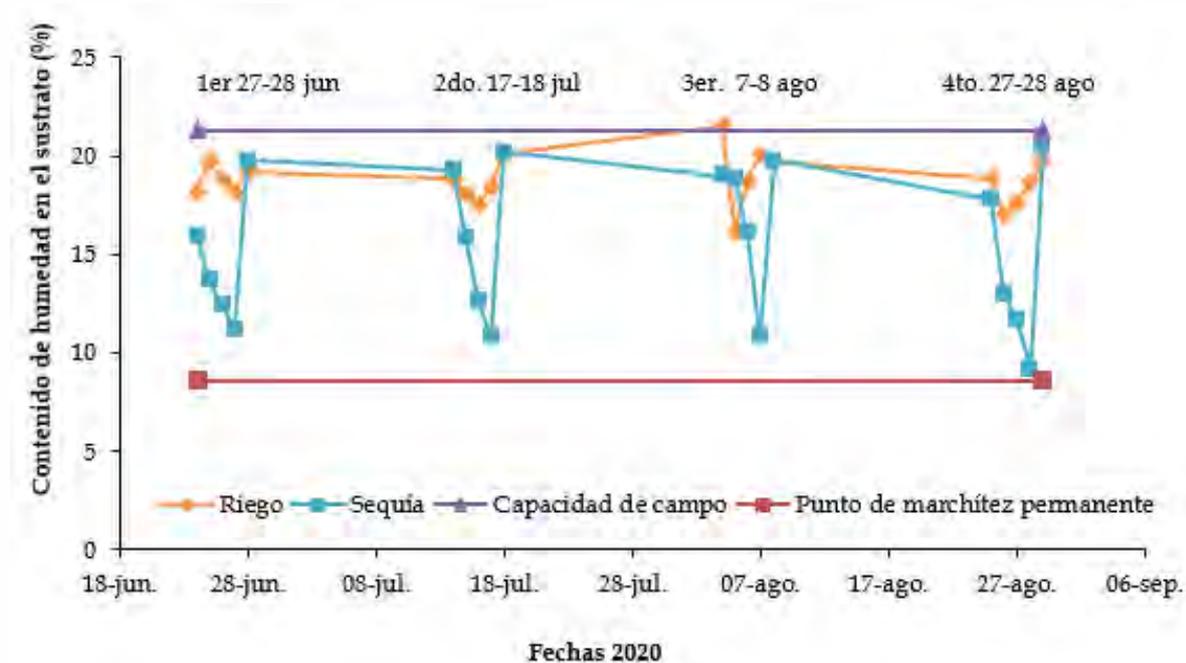


Figura 1. Porcentaje de humedad del sustrato en los diferentes ciclos de estrés hídrico.

Área foliar total

El área foliar de cada árbol se evaluó con un integrador de área foliar expresado en cm^2 al final de la temporada (13 de octubre, 2020).

Partición de biomasa

La biomasa de los árboles se cuantificó al final de la temporada. Para esto, se extrajo el árbol completo y se separó en parte aérea; área foliar total, número de ramas y número de hojas (Cuadro 1) y parte radicular de la planta; raíz de la planta por diámetro en; raíces < 2 mm, de 2-4 mm y > de 4 mm, peso de hojas, peso del crecimiento de 1 y 2 años, peso del portainjerto y biomasa total. Se registró peso fresco y posteriormente se pusieron en bolsas de papel y se secaron durante 24 horas a 75°C hasta peso constante (Cuadro 2).

Cuadro 1. Peso fresco y seco parte aérea de los portainjertos.

PORTAINJERTO	Tratamiento	Área foliar total (cm ²)	Número de hojas	Número de ramas	Peso fresco hojas (g)	Peso seco hojas (g)
G.41	RIEGO	785.5 a	137.6 a	5.8 a	190.0 a	72.4 a
	SEQUÍA	720.4 a	101.6 b	5.2 a	161.5 b	76.8 a
M.7	RIEGO	667.4 a	189.2 a	6.4 b	222.2 a	111.9 a
	SEQUÍA	654.5 a	163.6 b	8.4 a	156.1 b	93.2 b
G.30	RIEGO	969.5 a	138.0 a	4.2 b	192.1 a	102.0 a
	SEQUÍA	678.1 b	125.8 b	6.2 a	123.4 b	86.3 b
B.9	RIEGO	913.5 a	130.2 a	5.2 a	182.5 a	97.7 a
	SEQUÍA	865.9 a	130.6 a	5.0 a	171.0 b	97.2 a
M.9 Nic29	RIEGO	794.2 a	137.8 a	3.6 b	149.3 a	97.7 a
	SEQUÍA	668.5 a	124.6 b	4.4 a	112.8 b	86.8 b
MM.111	RIEGO	754.1 a	153.6 b	5.0 a	132.9 a	99.4 a
	SEQUÍA	664.3 b	180.4 a	5.4 a	116.4 b	95.6 a
MM.109	RIEGO	697.0 a	187.0 a	6.4 a	145.9 a	101.2 a
	SEQUÍA	571.8 b	162.0 b	5.6 b	107.5 b	93.9 b
G.202	RIEGO	627.5 a	186.0 a	7.3 a	127.2 a	101.6 a
	SEQUÍA	544.9 b	169.2 b	6.8 a	108.2 b	87.5 b
G.890	RIEGO	625.3 a	179.8 a	8.0 a	130.6 a	110.2 a
	SEQUÍA	553.5 b	149.4 b	6.8 b	95.8 b	84.2 b
G.210	RIEGO	722.4 a	168.4 a	5.4 b	152.5 a	114.4 a
	SEQUÍA	528.2 b	171.0 a	6.6 a	117.3 b	93.0 b

Cuadro 2. Peso fresco y seco parte radicular y biomasa total de los portainjertos.

PORTAINJERTO	Tratamientos	Peso fresco crecimiento 1 año (g)	Peso seco crecimiento 1 año (g)	Peso fresco crecimiento 2 años (g)	Peso seco crecimiento 2 años (g)	Peso fresco raíz <2 mm (g)	Peso seco raíz <2 mm (g)	Peso fresco raíz > 4 mm (g)	Peso seco raíz > 4 mm (g)	Peso fresco raíz de 2-4 mm (g)	Peso seco raíz de 2-4 mm (g)	Peso fresco del portainjerto (g)	Peso seco del portainjerto (g)	Biomasa seca total (g)
G.41	RIEGO	205.9 a	110.9 a	245.0 a	137.5 a	357.3 a	110.6 a	35.4 a	26.2 a	40.6 a	29.0 a	245.7 a	135.6 a	622 a
	SEQUÍA	128.9 b	78.3 b	198.7 b	118.4 b	218.6 b	61.5 b	32.3 a	23.0 a	35.3 a	23.5 b	213.2 b	115.3 b	497 a
M.7	RIEGO	195.3 a	116.1 a	198.9 a	122.6 a	264.2 a	92.8 a	131.9 a	64.0 a	90.8 a	48.9 a	314.2 a	172.7 a	729 a
	SEQUÍA	135.7 b	85.8 b	168.1 b	106.7 b	197 b	69.6 b	87.2 b	49.9 b	45.4 b	29.4 b	258.4 b	148.5 b	558 b
G.30	RIEGO	212.1 a	126.0 a	213.0 a	133.8 a	197.7 b	61.7 b	43.4 a	24.8 b	30.4 a	21.6 a	222.7 b	145.2 a	615 a
	SEQUÍA	142.9 b	88.4 b	186.2 b	119.8 b	230.6 a	76.2 a	46.4 a	33.2 a	33.9 a	23.4 a	283.0 a	126.8 b	554 a
B.9	RIEGO	160.3 a	97.2 a	183.0 a	116.7 a	183.6 a	63.8 a	48.3 a	26.4 a	27.9 b	22.3 a	284.1 a	142.8 a	567 a
	SEQUÍA	136.5 b	83.9 b	171.7 b	111.5 a	177.1 a	63.2 a	43.1 a	25.3 a	36.3 a	23.7 a	224.5 b	122.1 b	516 a
M.9 Nic29	RIEGO	169.3 a	108.5 a	208.5 a	139.5 a	219 a	86.7 a	38.1 b	26.1 b	56.9 a	34.3 a	386.9 a	196.5 a	689 a
	SEQUÍA	120.3 b	79.5 b	172.4 b	116.5 b	156.1 b	58.2 b	33.6 a	32.0 a	33.5 b	23.4 b	306.8 b	151.0 b	547 b
MM.111	RIEGO	215.8 a	136.9 a	214.2 a	126.7 a	209.8 a	64.2 a	71.1 a	41.4 a	26.2 a	18.9 a	340.4 a	179.7 a	667 a
	SEQUÍA	166.0 b	104.8 b	183.8 b	120.2 a	141.9 b	47.1 b	28.9 b	20.2 b	26.6 a	19.1 a	324.3 b	162.9 b	570 a
MM.109	RIEGO	233.4 a	148.3 a	232.4 a	151.6 a	203.5 a	62.5 a	78.5 a	44.3 a	38.1 a	24.6 a	312.7 a	154.5 a	687 a
	SEQUÍA	174.4 b	113.3 b	176.4 b	117.2 b	169.4 b	55.2 b	80.2 a	39.9 b	35.0 a	19.7 b	237.8 b	131.2 b	571 a
G.202	RIEGO	208.0 a	132.8 a	198.6 a	132.6 a	286.9 a	102 a	69.2 a	39.0 a	36.8 b	24.9 b	330.3 a	169.0 a	698 a
	SEQUÍA	140.5 b	90.7 b	177.3 b	118.7 b	296.8 a	99 a	55.8 b	34.6 b	59.6 a	30.4 a	257.8 b	135.9 b	588 b
G.890	RIEGO	205.1 a	130.1 a	215.9 a	144.6 a	335.1 a	106.5 a	53.1 a	33.7 a	32.6 a	25.0 a	210.9 a	118.7 a	669 a
	SEQUÍA	131.6 b	85.5 b	170.4 b	132.7 b	316 b	99.2 b	43.0 b	30.3 a	30.4 a	24.4 a	173.1 b	100.5 b	557 b
G.210	RIEGO	204.5 a	130.4 a	204.6 a	136.9 a	345.4 a	108 a	35.1 a	26.5 a	24.9 a	25.9 a	250.3 b	137.5 a	680 a
	SEQUÍA	123.7 b	81.8 b	163.2 b	113.8 b	295.3 b	95.4 b	33.3 a	24.3 a	25.2 a	20.2 b	243.4 a	128.0 a	557 b

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en esta investigación, se concluye que existen portainjertos que toleran cierto grado de sequía. Los portainjertos B.9, G.30, G.41, MM.111 y G.210 fueron los que mostraron mejores resultados en la mayoría de las variables evaluadas. Este es un indicador de tolerancia a estrés por sequía ya que los ciclos de déficit hídrico a los que se sometieron, no afectó al crecimiento y desarrollo de la planta. Los portainjertos, cuyos resultados fueron menos favorables de acuerdo a las variables evaluadas fueron M.7, G.890, MM.109, M.9Nic29 y G.202, ya que se vieron afectados significativamente en su crecimiento y desarrollo. Para biomasa seca total destaco B.9, G.30, G.41, MM.111 y MM.109.

BIBLIOGRAFÍA

CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. (2022). Registro Público de Derechos de Agua (REPDA). Recuperado de https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/chihuahua/DR_0805.pdf

Villagran, A.; Nuñez, A.; Parra, R.A.; Jacobo, J.L.; Ojeda, D.L.; Ruíz, T.J.; Salas, N. 2015. Riego parcial de la raíz en manzano "Golden Delicious". *Terra latinoamericana* 33:299-308.



CONDICIONES EDÁFICAS DE NAICA Y TIERRA AZUL EN LA CALIDAD DEL FRUTO DEL GRANJENO (*Celtis pallida* Torr.)

Telma Gricelda Torres López¹; María Antonia Flores Córdova^{1*}; Laura Gabriela Espinosa Alonso²; Nora Aideé Salas Salazar¹; Mayra Cristina Soto Caballero¹; María Janeth Rodríguez Roque¹

¹Universidad Autónoma de Chihuahua-Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Av. Pascual Orozco s/n, Campus 1, Santo Niño, 31160 Chihuahua, México; mariflor_556@hotmail.com (*autor de correspondencia); ²Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Sinaloa, Av. las Glorias, San Juachin, 81049 Guasave, Sinaloa, México.

RESUMEN

Los ecosistemas desérticos se caracterizan por ser más secos que otros tipos de entornos, lo que restringe el crecimiento de las plantas debido a la limitación de factores ambientales como las variaciones en las precipitaciones y la disponibilidad de nutrientes en el suelo, por lo que el presente trabajo, consistió en realizar un estudio para evaluar la calidad del fruto de *Celtis pallida* Torr., mediante las condiciones edáficas de dos regiones del estado de Chihuahua. Se evaluaron las características del suelo y parámetros fisicoquímicos (Peso, pH, SS, AT) y color. Los resultados indican que la región de Naica presenta un suelo con más contenido mineral y suelo migajón/arcillo arenoso, y Tierra Azul suelo migajón franco arenoso, además de SS y relación SS/AT más altos y un fruto más naranja, siendo un perfil fitoquímico relevante en ambas regiones, lo cual resalta la calidad del fruto de *Celtis pallida* Torr.

PALABRAS CLAVE

Granjel; Calidad; Suelo; Clima.

INTRODUCCIÓN

En el ambiente desértico la distribución irregular y escasas de agua y nutrientes provoca que las plantas crezcan en parches o franjas (Tongway *et al.*, 2001). En comparación con los suelos infértiles desprovistos de cubierta vegetal, estos parches presentan una mayor biodiversidad y niveles metabólicos, lo que incrementa su contribución a la productividad microbiana del desierto (Kaplan *et al.*, 2013; Zuo *et al.*, 2020). Además, las plantas desérticas se adaptan al estrés hídrico mediante ajustes en su fisiología, la distribución de su biomasa y diversas estrategias de supervivencia, entre otras adaptaciones y actividades biológicas variadas (Smith *et al.*, 2009).

El granjeno (*Celtis pallida* Torr), se desarrolla en parte del sur de Texas y en las regiones áridas y semiáridas de México, con más frecuencia en el norte del país como Sonora y Chihuahua (Nash & Nee, 1985). En este último estado se encuentran las localidades de Naica y Tierra Azul donde podemos encontrar esta planta del género Celtidaceae de gran relevancia ecológica, ya que está ampliamente distribuida y es altamente tolerante a climas extremos en Estados Unidos y México.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Sin embargo, las limitaciones edáficas deben considerarse de manera integral, ya que están interconectadas y se combinan para influir en funciones específicas como la estabilidad del suelo, el crecimiento de las plantas, la producción potencial, la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana. Por tanto, los indicadores químicos de la calidad del suelo comprenden propiedades que influyen en la interacción entre el suelo y las plantas (SAG, 2005). Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue hacer una comparación de las condiciones edáficas de las regiones de Naica y Tierra Azul y si estas influyen en la calidad del fruto del granjeno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

En abril 2023, se realizó el muestreo de suelos de las localidades de Naica municipio de Saucillo con coordenadas geográficas 27°51'17"N 105°29'33"O y Tierra Azul municipio de La Cruz, con coordenadas 27°91'67"N -105°18'30"O (INEGI, 2024), ambas del estado de Chihuahua. Las dos regiones cuentan con un clima semiárido extremo, sin embargo, Naica tiene una precipitación media anual de 13.25 mm, la temperatura máxima durante el año es de 35 °C y la mínima de 1°C, suelo arcilloso. En el caso de Tierra Azul, la precipitación media anual es de 363.9 mm, una temperatura máxima durante el año de 41.7 °C y una mínima de -14 °C, suelo arenoso (Gobierno del Estado de Chihuahua, 2021-2024).

Análisis de suelo

En cada localidad se recolectó un kilo de muestra de suelo a una profundidad de 0 a 30 cm, obtenida de varios puntos señalados estratégicamente en un área de 100 m². La textura se midió con el hidrómetro de Bouyoucos (Klute, 1986), y la densidad aparente (D_a) con el método de la probeta (Lozano-Rivas, 2016). El pH se determinó con un potenciómetro en una solución de CaCl_2 a 0.01M (Aguilar et al., 1987). El fósforo extraíble se cuantificó mediante el método Bray P-1, y los micronutrientes (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) se analizaron con extracción en acetato de amonio 1.0 N a pH 7.0 (McKean, 1993) en un espectrofotómetro de absorción atómica. Los micronutrientes (Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+}) se midieron con extracción DTPA (Lindsay y Norvell, 1978) y absorción atómica, mientras que la materia orgánica total (MO) se determinó con el método Walkley-Black (Eyherabide et al., 2014).

Análisis de la calidad de los frutos del granjeno

Se recolectaron 75 piezas de estos frutos (en madurez fisiológica) en cada región en julio de 2023, se tomaron cinco plantas al azar de cada localidad en un área de 100m². Los parámetros CIELab L^* , a^* y b^* se calcularon en fruto fresco, con un cromómetro CR-400 de Konica Minolta Sensing, Inc., Japón. El peso de cada fruto se midió con una balanza digital (Adam®). El tamaño se determinó con un Vernier digital RoHS®, registrando el diámetro polar (DP) y ecuatorial (DE) según la norma NMX-FF-009-SCFI-1982.

El pH con un potenciómetro (Conductronic®) Los sólidos solubles totales (SST) y grados Brix (°Brix) se determinaron con un refractómetro digital (ATAGO® modelo 1T) según la AOAC (1990). La acidez total titulable (ATT) se calculó como porcentaje de ácido cítrico usando la fórmula de López y Argaiz (1993). El índice de madurez se estimó dividiendo los °Brix entre el %ATT (Abbasi et al., 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de suelo

El suelo de Naica presentó una textura arcillo-arenosa con un porcentaje de arena del 50%. Este tipo de suelo tiene baja capacidad para para retener nutrimentos y agua debido a que presenta poros grandes que facilitan la lixiviación de estos y la volatilización de nitrógeno nítrico (Ibarra *et al.*, 2008) quien identificó como limitante en la productividad de suelos aquellos que tienen textura arenosa, que condicionan el crecimiento del volumen radical de las plantas, y limitada capacidad de intercambio catiónico. mientras que Tierra Azul mostró un suelo franco-arenoso con un porcentaje de arena del 60%. Farías-Barrero *et al.* (2017) mencionan que suelos con estas características pueden tener problemas de retención de agua y nutrimentos. En cuanto a macroelementos Naica presenta bajo contenido de nitrógeno (63.75 Kg ha^{-1}) y Tierra Azul tiene deficiencia de (43.13 Kg ha^{-1}) y ambas regiones presentan contenidos altos de potasio (Naica $375.00 \text{ mg Kg}^{-1}$, Tierra Azul $487.50 \text{ mg Kg}^{-1}$) y magnesio (Naica $525.00 \text{ mg Kg}^{-1}$, Tierra Azul $262.50 \text{ mg Kg}^{-1}$). Respecto a los microelementos la diferencia más significativa es la del zinc ya que Naica registra 14.74 mg Kg^{-1} y Tierra Azul 0.48 mg Kg^{-1} . El exceso de magnesio y potasio dificulta la absorción de varios nutrientes esenciales. La deficiencia de nitrógeno es común en suelos arenosos y bien drenados, donde los nutrientes se lixivian rápidamente.

Análisis de la calidad de los frutos del granjeno

Los parámetros fisicoquímicos del fruto de *Celtis pallida* fueron los siguientes: un peso promedio de 21 g, un pH de 4.84, acidez titulable de 4.66, sólidos solubles de 14.27, y una relación sólidos/acidez titulable de 3.06. Siendo Tierra Azul la que presenta los valores más altos en solidos solubles lo cual nos indica que es un fruto más maduro, a diferencia de Naica, quien tiene un fruto más verde. En cuanto al color, los valores obtenidos coinciden con los obtenidos en fisicoquímicos siendo Tierra azul quien presenta un color más naranja. Los resultados obtenidos en este estudio indican que el fruto de *Celtis pallida* presenta un perfil químico que podría ser beneficioso para la salud humana. No hay investigaciones para poder comparar estos parámetros.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Tabla 1. Análisis edafológico de las regiones de Naica y Tierra Azul

Parámetro	NAICA		TIERRA AZUL	
	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación
Físico				
Arena	50.13%	Migajón Arcillo	58.13%	Migajón Fte
Limo	22.24%	Arenoso	18.24%	Arenoso
Arcilla	27.63%		23.63%	
C.H. Punto Saturación	6.68cm/hr	MR*	13.23cm/hr	Rápida
	32.0%	MB	29.0%	MB
Básico				
p H	7.7%	LA	7.64%	LA
C. Eléctrica	160mmhos/cm	MLA	0.55 mmhos/cm	Normal
CIC	14.75 cmol Kg-	Baja	12.35 cmol Kg ⁻¹	Baja
Materia Orgánica	0.80%	Bajo	0.56%	Bajo
CaCO ₃	14.67%	Medio	15.41%	Alto
Fertilidad				
Nitrógeno	63.75 Kg ha ⁻¹	Bajo	43.13Kg ha ⁻¹	Deficiente
Fósforo	12.85 Kg ha ⁻¹	Deficiente	13.65 Kg ha ⁻¹	Deficiente
Potasio	375.00 mg Kg ⁻¹	Alto	487.50mg Kg ⁻¹	Exceso
Calcio	1625.00 mg kg ⁻¹	Suficiente	1605.00 mg kg ⁻¹	Suficiente
Magnesio	525.00 mg Kg ⁻¹	Exceso	262.50 mg Kg ⁻¹	Alto
Sodio	312.50 mg Kg ⁻¹	Bajo	212.50 mg Kg ⁻¹	Bajo
Cobre	0.58 mg Kg ⁻¹	Deficiente	0.16 mg Kg ⁻¹	Deficiente
Hierro	0.56 mg Kg ⁻¹	Deficiente	0.44 mg Kg ⁻¹	Deficiente
Manganeso	0.64 mg Kg ⁻¹	Deficiente	0.68 mg Kg ⁻¹	Deficiente
Zinc	14.74 mg kg ⁻¹	MA	0.48 mg kg ⁻¹	Deficiente

*MR (Moderadamente rápida) MB (Moderadamente baja LA (Ligeramente alcalino MLA (Muy ligeramente alcalino) MA (Medianamente alto).

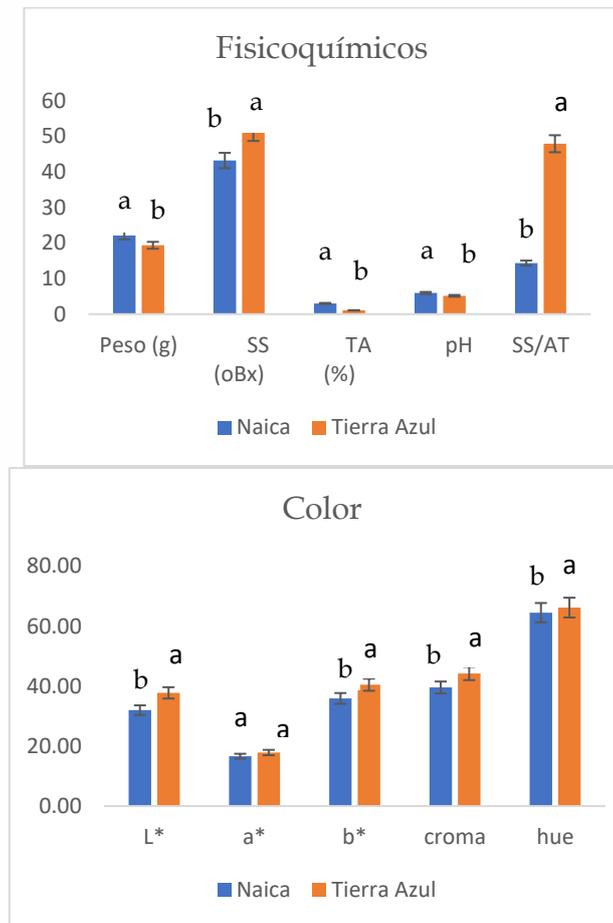


Figura 1. Parámetros fisicoquímicos y de color del granjeno (*Celtis pallida* Torr)

CONCLUSIONES

Se concluye que el suelo analizado en este trabajo presenta la región de Naica con más contenido mineral y suelo migajón/arcillo-arenoso y Tierra Azul Migajon Franco Arenoso más SS y relación SS/AT, y un fruto más naranja. El fruto de *Celtis pallida* Torr., exhibe una combinación favorable de características fisicoquímicas, tanto en Tierra Azul como en Naica. Se sugiere la necesidad de investigaciones adicionales para explotar su potencial al máximo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, S. A., J. D. Etchevers y J. Z. Castellanos. 1987. *Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo*. Publicación especial no. 1. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. ISBN: 968-6201-00-9.
- Álvarez V., V.H. (1994). *Avaliação da fertilidade do solo*. Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior - ABEAS - Brasília.
- Eyherabide, M., H. R. Saíz Rozas, P. A. Barbieri y H. E Echeverría. 2014. *Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo*. Rev. Cienc. Suelo 32: 13-19.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Farias-Barreto, C.; Vanni F.L.; Navroski R.; et al. 2017. *Nitrogen fertilization in peach trees (Prunus persica (L.) Batsch): Influence on post-harvest quality*. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha 18(2): 1-11.
- Gobierno del Estado de Chihuahua, 2022. *Anexo al periódico oficial. Plan Municipal de Desarrollo Municipio de La Cruz 2021-2024*.
- Ibarra, D., J. A. Ruíz, D. R. González, y J. G. Flores. 2008. *Clasificación espacial de la textura de los suelos agrícolas de Zapopan Jalisco*. Avances de la investigación científica en el CUCBA. XIX semana de la investigación científica; pp:37-47.
- Kaplan, D., Maymon, M., Agapakis, CM, Lee, A., Wang, A., Prigge, BA, Volkogon, M., Hirsch, AM, 2013. *Un estudio de la comunidad microbiana en la rizosfera de dos arbustos dominantes de las tierras altas del desierto de Negev, Zygophyllum dumosum (Zygophyllaceae) yhalimus atr iplex (Amaranthaceae), utilizando métodos dependientes e independientes del cultivo*. Soy. J.Bot. 100, 1713-1725. <https://doi.org/10.3732/ajb.1200615>.
- Klute, A. 1986. *Methods of soil analysis*. Part 1, physical and mineralogical methods. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI, USA. ISBN-13: 978-0891188117.
- Lindsay, W. L. and W. A. Norvell. 1978. *Development of a Dtpa soil test for zinc, iron, manganese, and copper*. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428. doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x>.
- Lozano-Rivas, W. A. 2016. *Densidad aparente por el método de la probeta*. pp. 57-58. In: W. A. Lozano-Rivas (ed.). *Suelos: Guía de prácticas simplificadas en campo y laboratorio*. Universidad Piloto de Colombia. Bogotá, Colombia. ISBN: 978-958-8957-37-1.
- McKean, S. J. 1993. *Manual de análisis de suelos y tejido vegetal. Una guía teórica y práctica de metodologías*. Documento de trabajo No. 129. Centro Internacional de Agricultura Tropical. CIAT. Cali, Colombia.
- Nash, Dorothy L. y Nee, Michael, 1984. *Flora de Veracruz. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos*. Xalapa, Veracruz, México, 53, fascículo 41.
- Smith, MD, Knapp, AK, Collins, SL, 2009. *Un marco para evaluar la dinámica del ecosistema ics en respuesta a las alteraciones crónicas de los recursos inducidas por el cambio global*. Ecología 90, 3279-3289. <https://doi.org/10.1890/08-1815.1>
- SAG, Servicio Agrícola y Ganadero. 2005. *Calidad de suelo de uso agrícola. Informe: Criterios de calidad de suelo agrícola*. Ministerio de Agricultura de Gobierno de Chile. Santiago. págs. 42-51.
- Tongway, DJ; Valentín, C.; Seghieri, J. *Patrones de vegetación en bandas en ambientes áridos y semiáridos: procesos ecológicos y consecuencias para el manejo*; Springer: Nueva York, NY, Estados Unidos, 2001.
- Zuo, YL, He, C., He, XL, Li, X., Xue, ZK, Li, XM, Wang, SJ, 2020. *Cobertura vegetal de Ammopiptanthus mongolicus y los factores del suelo dan forma a la comunidad microbiana del suelo y a la diversidad funcional catabólica en el árido desierto del noroeste de China*. *Aplica. Ecología del suelo*. 147, 103389. <https://doi.org/10.1016/j.apsil.2019.103389>.

ELABORACIÓN DE MONOLITOS DE SUELO PARA DOCENCIA

Mayra Madai Romero Aguilar¹; Guillermo Ramírez Rosales¹; Juan Carlos Sandoval Aparicio²; Alma Bella López López¹; Gerardo Cruz Flores¹

¹ Facultad de Estudios Superiores Zaragoza UNAM Campus II, 09230 Ciudad de México, CDMX
1595abll@gmail.com (autor para correspondencia).

² Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, 56230 Montecillo, Méx.

RESUMEN

Un monolito de suelo es una herramienta didáctica que ofrece a quien lo observa características propias del suelo en su condición natural; como lo son estructura, color, actividad biológica y raíces, espesor y distribución de horizontes (Martínez et al, 2011). En este trabajo se presentan cuatro monolitos de suelo, desde su colecta, elaboración y preservación, con el propósito de iniciar una colección de suelos de un paisaje volcánico del centro de México. En cada sitio se excavó un perfil de suelo de 1.5 m de ancho x 2 m de largo, y 1.5 m de profundidad, cuidando que la cara del perfil quedará expuesta a la luz del sol a su término. Se utilizaron cajas de madera forradas con una bolsa de plástico. Se aliso la cara de la calicata y se moldeó la columna de suelo conforme las dimensiones de la caja. Posteriormente se realizó la extracción de la caja con la muestra del suelo y se secaron a temperatura ambiente. Las caras expuestas de las cajas con las muestras de suelo fueron sometidas a un tratamiento de laca y thinner en diferentes proporciones (20:80, 40:60, 60:40), hasta la última adhesión de resina al 100%. Después se pegó una placa de madera con Resistol 800 como soporte, se retiraron las cajas y se moldearon para su exhibición. A la par se diseñaron infografías en Inkscape para detallar las características de los perfiles. Se obtuvieron distintos monolitos de suelo, uno de origen volcánico, donde se detalla y se observa el material parental (pómez ocre de 5600 años), horizonte Ah, bioturbación, color y estructura del suelo. Otro suelo es de origen volcánico-glacial, con características de crioturbación, paludización, procesos oxido-reducción y diferentes materiales de depósito, además de un Vertisols sobre un tepetate. Estos monolitos representan un potencial para la enseñanza de la génesis del suelo y su relación con procesos ecológicos y ambientales.

PALABRAS CLAVE

Perfil de suelo; Génesis de suelo; Paisaje volcánico.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un sistema natural vivo, dinámico y complejo, resultado de interacciones físicas, químicas y biológicas, los cuales conducen a la diferenciación de distintas capas u horizontes (Porta et al., 2019).

El estudio y clasificación del suelo son indispensables para el entendimiento de su funcionamiento y correcto manejo. El uso de los monolitos de suelo facilita y mejoran su estudio *ex-situ*. Por lo que el propósito de este trabajo fue elaborar monolitos de suelo para uso didáctico. Además de mostrar los diferentes tipos de suelo que pueden ocurrir dentro de un paisaje volcánico, según la intensidad de los factores y procesos de formación de suelo.

MATERIAL Y MÉTODO

Los suelos del Eje Neovolcánico Transversal Mexicano cinturón derivan de material volcánico; pero la diversidad de los suelos son producto de la intensidad del intemperismo, por lo que pueden desarrollarse suelos con distintas características pedogénicas (Krasilnikov et al., 2013). Los sitios de estudio ubicados en el Eje Neovolcánico Transversal se ven afectados por distintos gradientes de clima, vegetación y relieve, lo que da lugar a diversas edafogénesis.

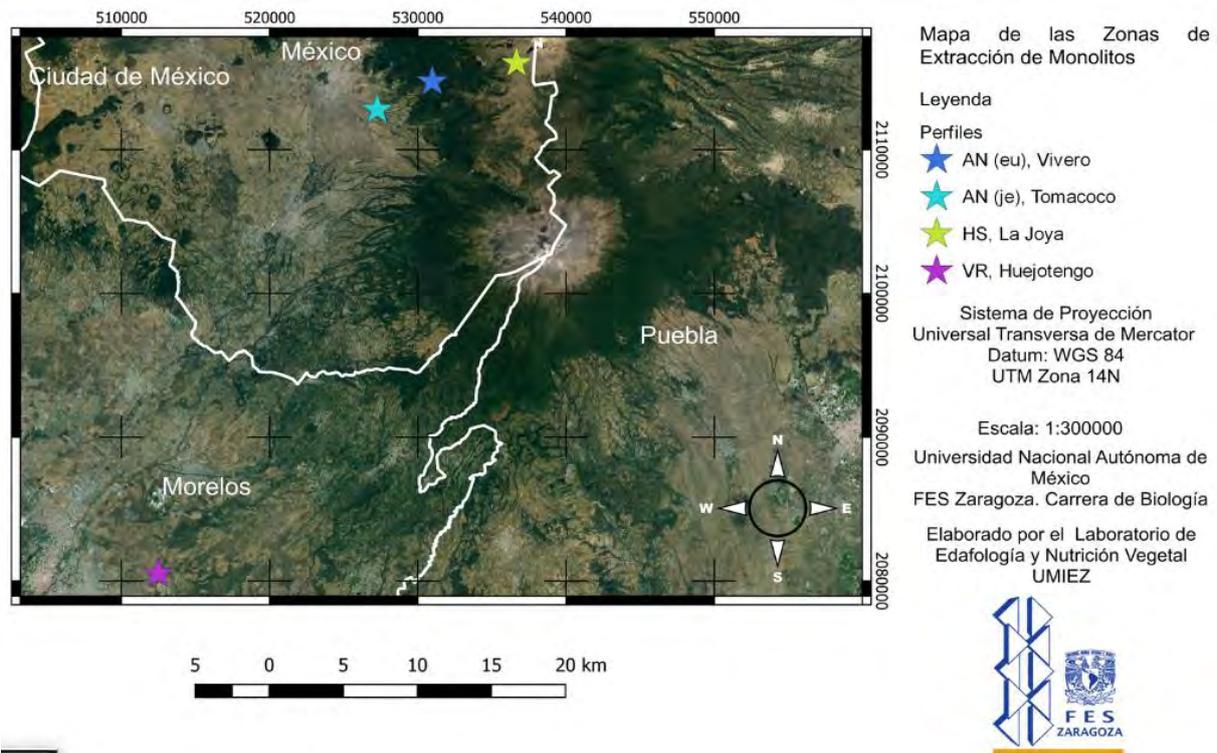


Figura 1. Ubicación de los sitios de extracción de los monolitos.

Se investigaron las áreas seleccionadas y se excavaron calicatas de 1.5 m de ancho, 2 m de largo y 1.5 m de profundidad, asegurando que el perfil del suelo quedara expuesto a la luz solar. Las columnas de suelo se moldearon en cajuelas de madera forradas con bolsas de polietileno, de 90 cm de largo, 20 cm de ancho y 10 cm de fondo.

En el campo, se alisó la cara de la calicata con una pala recta y se moldeó la columna de suelo de acuerdo con las dimensiones de la caja. El monolito se extrajo ensamblando la caja e insertando una barreta a la mitad para facilitar la separación, se eliminaron los excedentes de suelo y se selló con una bolsa de plástico para su traslado.

En el laboratorio, los monolitos se secaron al aire libre, posteriormente se perforó con un picahielo la cara expuesta del perfil a 2 cm de profundidad y a cada 4 cm de distancia para asegurar la impregnación del agente preservante. Las concentraciones de la laca de nitrocelulosa diluida en thinner fueron 20:80, 40:60, 60:40, aumentando progresivamente hasta llegar a una aplicación final de resina al 100%.

Después del secado de una semana entre cada aplicación, los monolitos se montaron sobre una tela de yute del tamaño de la caja, pegada a una placa de madera con resistol

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

blanco "800". Se prensaron y dejaron secar durante una semana. Posteriormente los suelos fueron desmontados de la caja y se rebajaron con una brocha hasta alcanzar un grosor de 5-6 cm, se aplicó laca en aerosol su conservación. Finalmente, los monolitos se montaron en láminas de triplay y se realizaron infografías con la descripción del perfil, las características ecológicas y pedogenéticas.

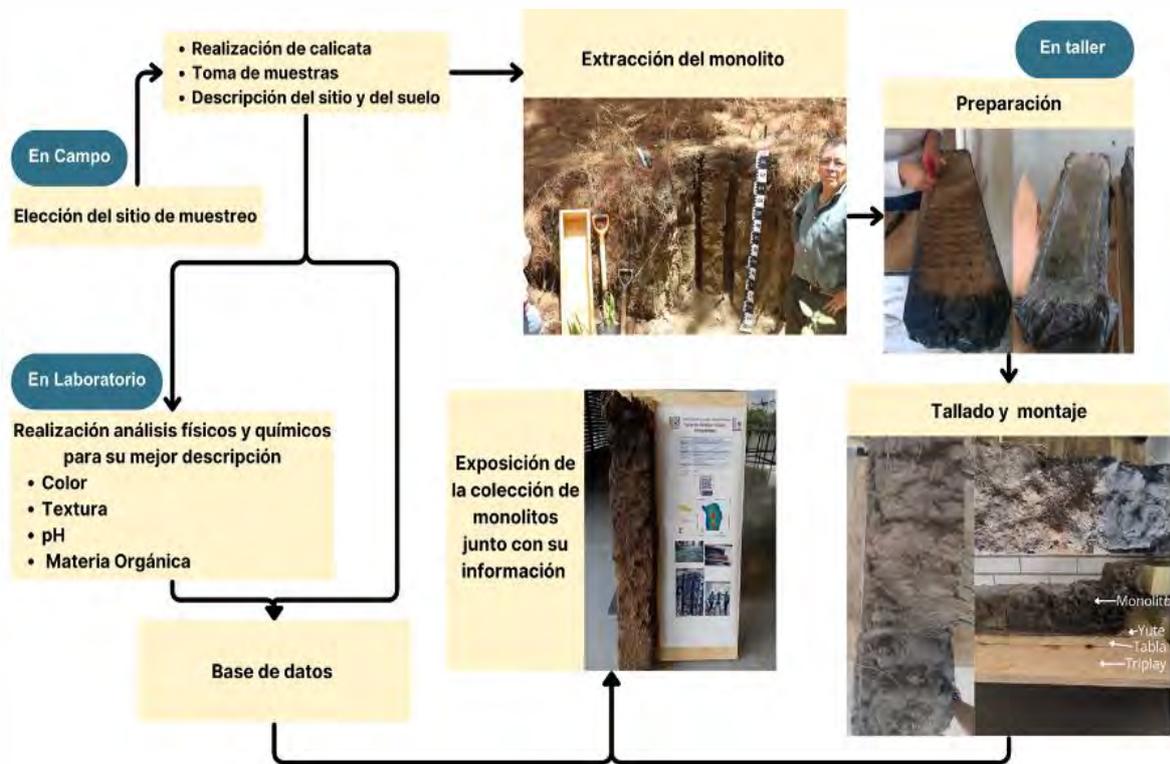


Figura 2. Diagrama de flujo que muestra los pasos a seguir para la fabricación de un monolito, desde su extracción, preservación y montaje.

RESULTADOS

Se obtuvieron 4 monolitos los cuales fueron exhibidos en distintos lugares para su difusión, uno de ellos fue en el 47 Congreso Mexicano de la Ciencia del Suelo con el tema de "Los monolitos de suelo en la Sierra Nevada, México". También se exhibieron afuera de la biblioteca del campus II de la Facultad de Estudio Zaragoza durante el Día Mundial de Suelo, 5 de diciembre del 2023. Se pretende que sea de uso didáctico para las clases de edafología y de laboratorio de 6to semestre de la carrera de Biología.

Los monolitos de suelos corresponden a 1) al fondo de valle de un paisaje vulcanoglacial, donde domina el zacatonal montano y vegetación hidrófila, 2) uso de suelo forestal a 3000 msnm, y 3) dos perfiles de menor altitud de uso agrícola. Los climas varían de mayor a menor altitud: semifrío subhúmedo, templado y semicálido subhúmedo (Cuadro 1).

DISCUSIÓN

Al realizar los monolitos de suelo se enfrentaron varias dificultades. El uso de resina concentrada provocó la disminución de color en algunos horizontes. Torres et al. (2003) sugieren una adaptación a la metodología tradicional de Baren y Bommer (1982), reemplazando la laca de nitrocelulosa y el solvente orgánico por una solución de resistol de carpintería y agua destilada. Esta alternativa ofrece ventajas como la preservación del color, la eficacia en distintos tipos de suelo, incluyendo suelos orgánicos, y la reducción de costos y tiempo de fabricación, además de ser menos nociva para la salud. Por ello, se optó por utilizar la laca de nitrocelulosa solo como soporte, preservando los colores con la solución de resistol y agua.

Cuadro 1. Descripción de los sitios donde se colectaron los monolitos.

Sitio	Altitud	Paisaje y vegetación
Valle de Alcalica, adyacente al paraje denominado la Joya dentro del área de conservación del PN-IP.	3883 m	Al fondo del valle en una zona plana donde se forma un amplio abanico aluvial. Dominada por pastos ralos y vegetación herbácea tolerante a inundaciones.
Valle de Alcalica, adyacente al paraje denominado la Joya dentro del área de conservación del PN-IP.	3021 m	Ubicado en lomo de ladera en pendiente escarpada moderada. <i>Abies religiosa</i> , <i>Pinus</i> , <i>Quercus sp</i> , vegetación secundaria.
Ex hacienda de Tomacoco. Amecameca, Estado de México	2541m	Se ubica en la parte alta del pie de monte Suelo de uso agrícola.
Yecapixtla Morelos, Ejido Zaraguanatlan, Localidad Huejotengo	1466 m	Ubicado en el piedemonte medio. Suelo de uso agrícola.

Durante la colecta surgieron otras complicaciones: los andosoles, por ser friables y deleznable además de la presencia de raíces gruesas y galerías de fauna complican su extracción. En el caso del vertisol, su dureza dificultó la excavación del perfil y el moldeado del monolito. Además, al impregnarse de laca, las esmectitas se expanden y complican su manejo.

El costo total de los materiales utilizados para la fabricación del monolito (solo consumibles) fue de \$1433 pesos mexicanos, sin tomar en cuenta las herramientas que fueron empleadas; y el tiempo invertido aproximado para la realización de cada monolito fue de un mes, contando desde la extracción en campo hasta su montaje.

Los monolitos extraídos de distintas áreas, como altas montañas, suelos ribereños y zonas a pie de monte, revelaron la diversidad de tipos de suelo influenciados por factores como el relieve (valles glaciales, fluviales), material parental (cenizas volcánicas, depósitos glaciales, sedimentos fluviales), clima (microclimas) y vegetación (pastizal, bosque de oyamel, cultivos) (Sandoval-Aparicio, 2016). Los perfiles del suelo se desarrollaron en distintas condiciones de relieve, clima, vegetación y material parental de origen volcánico. Se observa que estas variables modifican la génesis del suelo y sus características, proporcionando información valiosa sobre la ecología del lugar y su uso potencial (fig. 3). El suelo de origen volcánico-glacial, con características de crioturbación, paludización, procesos oxido-reducción y diferentes materiales de depósito, y en el Vertisols sobre un tepetate se observan rasgos pedogenéticos como grietas, caras de fricción-presión (slickensides) y acumulaciones de CaCO_3 .



Figura 2. Toposecuencia y vegetación de suelo.

CONCLUSIONES

La preservación del suelo tiene como finalidad brindar información a partir del conocimiento previo del tipo de suelo. Las características particulares del perfil, nos permitirá distinguir rasgos pedogenéticos y los principales procesos de formación del suelo y junto con la caracterización ecológica de un sitio podemos comprender y determinar el uso y manejo potencial del suelo. La información generada a través de este tipo de colecciones, muestra al estudiante, agricultor y a cualquier persona la complejidad, riqueza y diversidad del suelo.

Al elegir los perfiles en distintas condiciones de relieve, clima, vegetación, manteniendo constante el material parental, se muestra variabilidad en los suelos y como estas condiciones afectan su génesis y sus propiedades físicas y químicas. Conocer estas propiedades nos brinda información útil acerca de la ecología del lugar, es útil para decidir el uso y aprovechamiento de este recurso. La fabricación de estos monolitos y el registro de sus características, nos brindan un material didáctico e informativo, que nos ayudan a explicar fácilmente procesos de génesis, clasificación, procesos específicos de formación y características.

BIBLIOGRAFÍA

- Arana-Salinas, L., Siebe, C., Macías J.L., 2010, *Dynamics of the ca. 4965 yr 14C BP "Ochre Pumice" Plinian eruption of Popocatepetl volcano, México: Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 192, 212-231.
- López-López, A, B., Lorenzo-Vazquez, S., Siebe, C., Cruz-Flores, G & Correa-Metrio A. (2023). *Effect of elevation and slope orientation on pedogenesis of late Holocene volcanic ash on a tropical high mountain in central Mexico*. Elsevier ScienceDirect. Volumen 231(107288).0341-8162. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107288>
- Martínez R., Fernández I., Villegas, R & Bautista F. (2011). *Monolitos de suelo para colecciones científicas*. ResearchGate, 259-274. <https://www.researchgate.net/publication/>

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Museo Nacional de Suelos COLPOS-México. (10 de abril, 2024). *Exposición de monolitos*. <https://www.facebook.com/MuseoSuelosMx/>
- Krasilnikov, P., Gutiérrez-Castorena, M. del C., Ahrens, R. J., Cruz-Gaistardo, C. O., Sedov, S., & Solleiro-Rebolledo, E. (Eds.). (2013). *The soils of Mexico*. Springer.
- Sandoval, J, C. (2016). *Caracterización y Clasificación de Suelos de Sistema Ribereños del Parque Nacional Izta-Popo [Tesis para obtener el título de Biólogo]*. Colegio de Postgraduados.
- Siebe C., Jahn R & Stahr K. (2016). *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelo en campo (3ra edición)*. <https://www.google.com/>
- Torres S, P, Martínez, M, & Perdomo R, C. (2003). *Propuesta metodológica y experiencias en la preparación e impregnación de monolitos de suelo usando goma de carpintero*. *Bioagro*, 15(1), 31-40. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612003000100004



ESTUDIO DE LA AGRESIVIDAD DEL SUELO EN LA RIBERA DEL RÍO NEXAPA

**Jorge Azael Ramírez Avalos¹; María del Carmen López Pérez¹;
María Ana Pérez Cruz²; Rosalía Torralba Sánchez³; Indira Loyda
Cordero Dámazo³; Martha Patricia González Aráoz¹; Gabriela Vidal García^{1*}**

¹Facultad de Ingeniería, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Blvd. Cap. Carlos Camacho Espíritu y Av. San Claudio S/N, Col. San Manuel, C.P. 72570, Puebla, México.

²Facultad de Ciencias Químicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. 18 sur y Av. San Claudio, Ciudad Universitaria, Col. San Manuel, C.P. 72570, Puebla, México.

³Complejo Regional Mixteca, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Carr. Atlixco - Izúcar de Matamoros 141, San Martín Alchichica, C.P. 74570, Izúcar de Matamoros, México.

*gabriela.vidal@correo.buap.mx

RESUMEN

En este trabajo se estimó el índice de agresividad del suelo mediante la medición de seis parámetros (resistividad, potencial redox, pH, cloruros, sulfatos y sulfuros), los cuales fueron determinados en seis muestras de suelo en dos zonas en la ribera del río Nexapa, ubicadas en Izúcar de Matamoros Puebla, con la finalidad ofrecer un diagnóstico y clasificar los suelos en función de su agresividad. Se lograron identificar tres suelos medianamente agresivos en una zona alejada de asentamientos humanos, mientras que los tres suelos restantes fueron sumamente agresivos, estos correspondieron zona semi-urbanizada densamente poblada.

PALABRAS CLAVE

Clasificación de suelos; Índice de agresividad; Asentamientos humanos; Semi-urbanizado.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Laverde (2011), la corrosión es un proceso de oxidación espontáneo que ocurre en diversos metales, que da como resultado el deterioro físico de objetos y estructuras. No obstante, este fenómeno no es exclusivo de estructuras o superficies expuestas a agua y/o aire, también puede darse en el suelo. Según Levlín y Vinka (2000), la corrosión de tuberías enterradas en el suelo es de tipo electroquímica, es decir, de manera simultánea ocurre una reacción anódica sobre el metal y una reacción catódica de reducción de oxígeno. Con base a Calderón *et al.* (2005), la corrosividad o agresividad del suelo es un proceso complejo donde interactúan distintas variables (por ejemplo, pH, potencial redox y resistividad) que deriva en el deterioro de tuberías que transportan agua, combustibles, energía, etc. Por otro lado, Gómez y Lana (2008) refieren que la agresividad de un suelo es resultado del tipo de suelo, cantidad de humedad y materia orgánica, así contenido de sales solubles, entre otros.

En 1995 el Instituto Latinoamericano de Comunicación Educativa (ILCE, 1995) estableció un índice de agresividad del suelo que contempla 6 parámetros (pH, cloruros, potencial redox, resistividad, sulfatos y sulfuros) para su estimación, mediante una ponderación con base a un rango de valores es posible clasificar a los suelos en 4 categorías (no agresivo, débilmente agresivo, medianamente agresivo y sumamente agresivo). Por lo tanto, este trabajo de investigación se centró en calcular el índice de agresividad del suelo en 6 muestras provenientes de 2 zonas cercanas a la Ribera del río Nexapa en Izúcar de Matamoros, Puebla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 6 muestras de suelo obtenidas de la parte superficial de la ribera del río Nexapa en Izúcar de Matamoros, Puebla, las cuales se recolectaron en las zonas 1 y 2 (ver Figura 1). Para cada muestra se preparó una solución analítica 1:2 (suelo:agua) que se dejó reposar por 24 h y luego se filtró para analizar parámetros como pH, cloruros (Cl^-), potencial redox (E_{redox}), resistividad (ρ), sulfatos (SO_4^{2-}) y sulfuros (S^{2-}). El pH se registró con un potenciómetro Conductronic, los Cl^- se determinaron gravimétricamente con solución de AgNO_3 e indicador de K_2CrO_4 , el E_{redox} se midió con una celda de arreglo a 2 electrodos (Ag/AgCl y Pt) y un multímetro, mientras que la ρ se midió con un sistema tipo Wennern que consistió en 4 alambres de cobre conectados a 2 multímetros y una batería de 9 volts para registrar potencial y corriente; por otro lado, los SO_4^{2-} y sulfuros S^{2-} se analizaron con un espectrofotómetro visible HACH DR-2500.



Figura 1. Ubicación de las zonas de muestreos en la ribera del río Nexapa.

Cuadro 1. Determinación de la agresividad de suelos (ILCE, 1995).

Parámetro	Valor	Índice de agresividad (I_a)
Resistividad, ρ (Ω -cm)	>12000	0
	12000 - 5000	-1
	5000 - 2000	-2
	<2000	-4
Potencial redox, E_{redox} (mV vs enh)	>+400	2
	400 - 200	0
	200 - 0	-2
pH	<0	-1
	>5	0
Cloruros, Cl^- (mg kg ⁻¹)	<5	-1
	<100	0
Sulfatos, SO_4^{2-} (mg kg ⁻¹)	100 - 1000	-1
	>1000	-4
	<200	0
Sulfuros, S^{2-} (mg kg ⁻¹)	200 - 500	-1
	>500	-2
	0	0
Clasificación del suelo:	0 - 0.5	-2
	>0.5	-4
	No agresivo (NA)	0
Débilmente agresivo (DA)	-1 a -8	
Medianamente agresivo (MA)	-8 a -10	
Sumamente agresivo (SA)	<-10	

Con ayuda del Cuadro 1 y los resultados obtenidos fue posible determinar el índice de agresividad (I_a) del suelo para cada una de las muestras analizadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el siguiente cuadro se muestran los resultados de este trabajo de investigación para cada una de las 6 muestras de suelo procedentes de la ribera del río Nexapa, es importante aclarar que las muestras 1 a 3 fueron tomadas en la zona 1 (Z1) y las muestras 4 a 6 en la zona 2 (Z2), ver Figura 1. La diferencia entre estas zonas es que Z1 es una área alejada de asentamientos humanos, usada habitualmente para pastoreo, mientras que Z2 se encuentra cercana a poblaciones semi-urbanizadas.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

En el Cuadro 2 se observa que el I_a aumentó de -9 a -14 de Z1 a Z2, aquí fue clara una tendencia, es decir, tanto la concentración de Cl^- como de SO_4^{2-} se elevó considerablemente, esto marcó una diferencia sustancial para que los suelos de Z2 fueran clasificados como SA, en cambio los suelos de Z1 se consideraron como MA.

De acuerdo con el ILCE (1995), los suelos con residuos humanos e industriales son considerados agresivos, con relación a esto es destacable que tanto Z1 como Z2 se encuentran contaminadas, ya que en los alrededores se encontró basura y desechos diversos, siendo más evidente el impacto de actividades antropogénicas en Z2, en esa zona el agua del río presentaba un olor putrefacto dado que ahí descargan los residuos de uso doméstico de los habitantes. En lo que refiere a las afectaciones que ocasionan estos parámetros, Jiménez y Lozano (2018) destacaron que los Cl^- y los SO_4^{2-} impactan negativamente la resistencia del concreto estructural (mezcla de cemento, arena y grava), material que brinda rigidez y resistencia en obras de construcción, a largo plazo esto podría traer serias repercusiones en los hogares de los habitantes de la zona.

Por otro lado, los parámetros de pH, E_{redox} , y S^{2-} tuvieron valores similares en ambas zonas, el pH va de 8.72 a 8.91, el E_{redox} de 0.1 a 0.2 mV y los S^{2-} de 0.004 a 0.016 mg kg⁻¹, es decir, no hubo diferencias sustanciales en su aporte a la estimación de I_a de una zona a otra; esto también aplicó a la ρ , que si bien disminuyó de Z1 a Z2 (4.81 a 0.25), sus valores tampoco generaron un aporte significativo en el cálculo del I_a .

Cuadro 2. Índice de agresividad y clasificación de suelos en la ribera del río Nexapa.

No. muestra	ρ (Ω -cm)	E_{redox} (mV vs enh)	pH	Cl^-	SO_4^{2-} (mg kg ⁻¹)	S^{2-}	I_a	Clasificación
1	4.81	0.1	8.72	117.3	2	0.0	-9	MA
2	4.66	0.1	8.91	170.6	2	0.0	-14	MA
3	1.19	0.1	8.96	170.6	8	0.0	-9	MA
4	0.44	0.2	8.75	853.0	9	0.0	-11	SA
5	0.25	0.2	8.79	1756.	3	0.0	-14	SA
6	0.35	0.2	8.82	1047.	8	0.0	-14	SA

CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se pudo identificar que los suelos de la ribera del río Nexapa se caracterizan por ser agresivos, ya que presentan índices que van de medianamente a sumamente agresivos, en esta clasificación inciden directamente las altas concentraciones de cloruros y sulfatos en las muestras de la zona dos, la cual se caracteriza por estar ubicada en una área semi-urbana con intensa actividad antropogénica. Las descargas y desechos de los habitantes requieren un manejo y disposición adecuados para minimizar su impacto no solo en el suelo, sino también el agua del río, ya que presentan signos de contaminación evidentes (p.ej. basura y mal olor).

BIBLIOGRAFÍA

- Calderón, J. A., Delgado, J., Peñaranda, S., & Restrepo, A. (2005). Análisis estadístico de los factores que intervienen en la corrosión de tuberías enterradas, *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (34), 23-34.
- Gómez, R., & Lana-Villarreal, T. (2008). Tema 9. Corrosión en suelos, *Corrosión*.
- ILCE, (1995) Biblioteca digital sección de ciencias. VII. CORROSIÓN EN SUELOS.
- Jiménez-Vásquez, K. E., & Lozano-Ovalle, H. (2018). Análisis de la influencia de sulfatos y cloruros en el deterioro de estructuras en concreto en zonas costeras del atlántico colombiano.
- Laverde Laverde, V. H. (2011). Diseño y fabricación de una cámara salina para análisis de corrosión en materiales, *Ingeniería Mecatrónica*.
- Levlin, E., & Vinka, T. G. (2000). Corrosion in an urban soil profile-aeration cell experiment in situ in the soil, *Oral Presentation at Erocarr*, 10-14.



EFFECTO DEL PASTOREO SOBRE LA VEGETACIÓN Y EL SUELO EN ECOSISTEMAS ÁRIDOS DEL MONTE PATAGÓNICO, ARGENTINA

Oliferuk Sonia^{1*}; Carrera Analía Lorena^{1,2}; Saraví Cisneros Hebe^{1,3}; Bertiller Mónica Beatriz^{1,2}

¹Instituto Patagónico para el Estudio de los Ecosistemas Continentales (IPEEC) CCT CONICET CENPAT, Boulevard Brown 2915, 9120 Puerto Madryn, Chubut, Argentina

²Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Boulevard Brown 3700, 9120 Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

³Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Chubut, Puerto Madryn, Chubut, Argentina
*oliferuksonia@gmail.com

RESUMEN

En los ecosistemas áridos del sur de Argentina, la vegetación se distribuye en parches dominados por pastos perennes y arbustos. El pastoreo, en estos ecosistemas, reduce la cobertura de las especies preferidas de pastos perennes aumentando la dominancia de especies de arbustos con defensas estructurales y/o químicas (ej. espinas y/o fenoles solubles). Nos preguntamos cómo estos cambios afectan la cantidad y calidad del mantillo y la calidad del carbono del suelo. Analizamos la producción, acumulación y composición del mantillo vegetal que llega al suelo y la relación fenoles solubles/carbono orgánico de los suelos asociados a los canopeos de los parches de vegetación, en sitios sometidos a intensidad baja (PB) y alta (PA) de pastoreo ovino. En primavera, seleccionamos al azar 5 parches de vegetación representativos por sitio y determinamos características del canopeo (cobertura y riqueza de especies), del mantillo (tasa de incorporación, cantidad acumulada y composición del mantillo debajo de los canopeos), y del suelo (relación fenoles solubles / carbono orgánico). Los parches del sitio PB tuvieron mayor cobertura y riqueza de especies. Los parches del sitio PA acumularon mayor biomasa de mantillo que estuvo dominado por tejidos leñosos, y tuvieron mayor relación fenoles solubles / carbono orgánico en el suelo. Los resultados muestran que los cambios en la estructura de los parches de la vegetación inducidos por el pastoreo conducen a la acumulación de mantillo leñoso y afectan la calidad del carbono orgánico del suelo.

PALABRAS CLAVE

Islas de fertilidad; Cobertura; Riqueza; Fenoles solubles; Arbustos altos siempreverdes.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas áridos y semiáridos cubren más del 40 % de la superficie terrestre y están destinados principalmente a la ganadería (Asner *et al.*, 2004). El uso pastoril puede desencadenar procesos de degradación y conducir a la desertificación (Oliva *et al.*, 2016). En estos ecosistemas la vegetación se distribuye en parches o "islas de fertilidad" donde se concentran materia orgánica, nutrientes y semillas (Bertiller *et al.*,

2004). La calidad de los suelos asociados a los parches de vegetación depende, en parte, de las características de la vegetación (cobertura y composición específica) y de la cantidad y calidad de la materia orgánica que aporta al suelo. En el Monte patagónico, los parches están dominados por arbustos y pastos perennes que alternan con áreas de suelo desnudo o con escasa vegetación (Bisigato y Bertiller, 1997). La introducción de la ganadería ovina a fines del siglo XIX (Ares *et al.*, 1990) indujo cambios en la estructura de los parches y en las propiedades del suelo. Los cambios más notorios incluyen la reducción en la cobertura vegetal, principalmente de pastos perennes, y la dominancia de especies de arbustos altos siempreverdes con concentraciones de fenoles solubles en sus tejidos entre 7 y 24 veces superiores que otros morfotipos de arbustos y pastos perennes, respectivamente (Saraví Cisneros *et al.*, 2022). Estos compuestos, pueden alcanzar el suelo mediante lixiviado desde el dosel arbustivo o por descomposición de la materia orgánica en el suelo, con efectos sobre la regeneración de otras especies, la actividad microbiana del suelo y el ciclado de nutrientes (Sinsabaugh *et al.*, 2002; Segesso *et al.*, 2019; Muñoz *et al.*, 2024). En este trabajo analizamos cómo los cambios en la cobertura y riqueza vegetal inducidos por el pastoreo se reflejan en la producción, cantidad acumulada y composición del mantillo, y en la relación fenoles solubles/carbono orgánico del suelo en sitios con baja y alta intensidad de pastoreo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El área de estudio se encuentra en la porción austral de la Provincia Fitogeográfica del Monte (Monte Patagónico), Argentina. La vegetación dominante es el matorral abierto de *Larrea divaricata* Cav. y pastos perennes (León *et al.*, 1998), con suelos Petrocalcides y Haplocalcides Típicos (del Valle, 1998). La temperatura media anual es de 13,4°C y la precipitación media es de 235,9 mm (Bosco *et al.*, 2016).

Atributos del canopeo. Se seleccionaron dos sitios representativos con baja (PB) y alta (PA) intensidad de pastoreo ovino. En primavera de 2023, se eligieron al azar 5 parches de vegetación por sitio, y se midió la superficie del canopeo y la cobertura de pastos perennes y arbustos (altos y medianos siempreverdes, y caducifolios).

Atributos del mantillo. La producción de mantillo entre el invierno y la primavera se evaluó usando 8 colectores circulares por parche (10 cm de diámetro y profundidad) instalados bajo los canopeos. El material recolectado por estación fue secado a 45°C, pesado, y se calculó la tasa de producción de mantillo (g m^2 de parche d^{-1}). Se seleccionaron 5 parches adicionales en cada sitio para recolectar el mantillo acumulado bajo los canopeos mediante barrido con pincel, usando marcos de 26 cm x 51 cm. El mantillo fue tamizado (mallas de 4 mm a 1 mm) y dividido en fracciones según su tamaño. Se registró el peso seco de las fracciones: Fa (2 mm < Fa < 4 mm), caracterizada en términos de tejidos leñosos y foliares de pastos y arbustos, y Fb (1 mm < Fb < 2 mm), compuesta por material particulado. Se extrajeron 4 muestras de suelo superficial (0-5 cm) en el borde del canopeo, con las que se preparó una muestra compuesta por parche y sitio.

Atributos del suelo. Se determinó la concentración de carbono orgánico por el método de Walkey y Black (Blume *et al.*, 1985) y de los fenoles solubles por el método de Folin-Ciocalteu (Saraví Cisneros *et al.*, 2022). Se analizó la relación fenoles solubles/carbono orgánico.

Análisis de datos. La significación de las diferencias halladas en las variables estudiadas entre los sitios se analizó mediante ANOVA de una vía. Las comparaciones múltiples entre los sitios se realizaron mediante la prueba de mínimas diferencias significativas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los ecosistemas áridos de la Patagonia, el pastoreo modifica la estructura de los parches de vegetación (Bisigato & Bertiller, 1997). En línea con estos estudios, observamos que los parches de vegetación en el sitio PB, presentaron mayor riqueza de especies y cobertura, con co-dominancia de pastos perennes y arbustos siempreverdes y caducifolios. En contraste, los parches en el sitio PA estuvieron dominados exclusivamente por arbustos altos siempreverdes del género *Larrea* (Figura 1). La tasa de producción de mantillo vegetal en la transición invierno-primavera no mostró diferencias entre los sitios PB y PA (0,25 y 0,29 g m² d⁻¹, respectivamente). Sin embargo, la biomasa de mantillo acumulado sobre el suelo fue significativamente mayor en los parches del sitio PA, tanto para la fracción 2 mm < Fa < 4 mm, como para la fracción 1 mm < Fb < 2 mm, compuesta de material particulado (Figura 2a). Esto indicaría una tasa de descomposición y degradación de la materia orgánica más lenta en PA como se ha reportado previamente con mantillos dominados por *Larrea divaricata* (Bosco et al., 2016). A su vez, la fracción Fa del sitio PA presentó un mayor porcentaje de tejido leñoso, mientras que la del sitio PB presentó un mayor porcentaje de tejido foliar de arbustos y pastos perennes (Figura 2b). Finalmente, el suelo asociado a los parches de vegetación en el sitio PA presentó una mayor relación fenoles solubles / carbono orgánico (Figura 3). Altas concentraciones de fenoles en el suelo pueden afectar la germinación de especies que son preferidas por los herbívoros como los pastos perennes (Muñoz et al., 2024).

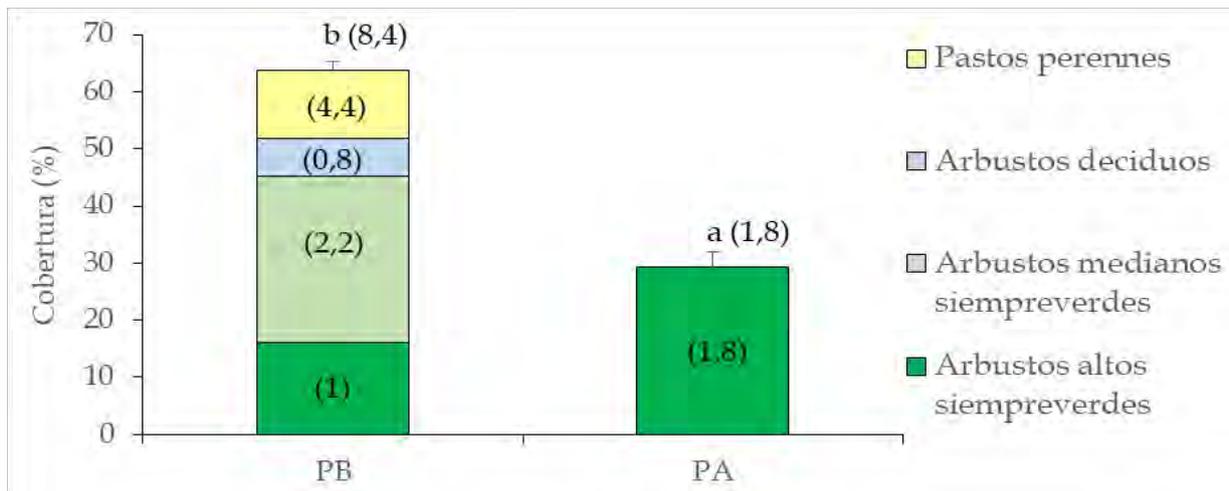


Figura 1. Valores medios de porcentaje de cobertura total (+ES), de pastos perennes y de morfotipos de arbustos en los parches de vegetación en sitios con baja (PB) y alta (PA) intensidad de pastoreo. Las letras minúsculas diferentes denotan diferencias significativas entre sitios, los números entre paréntesis indican la riqueza de especies total y por morfotipo.

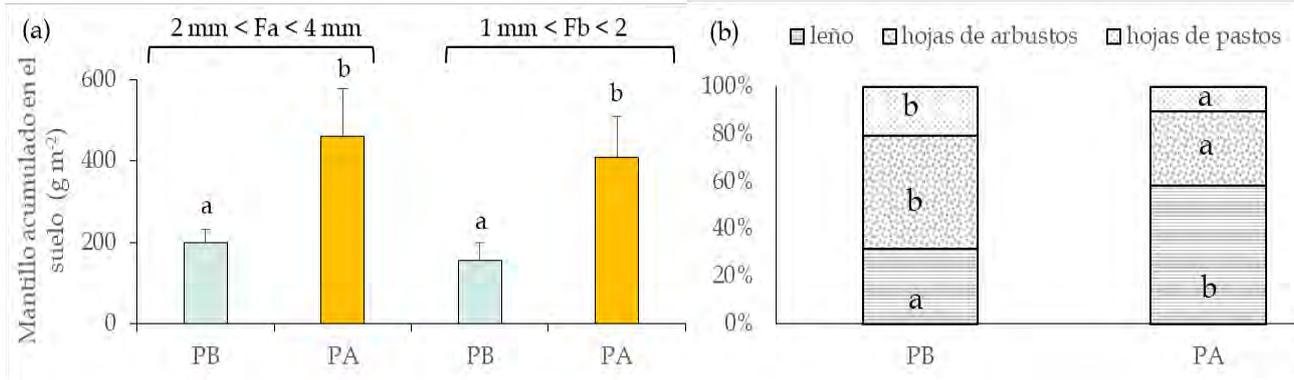


Figura 2. (a) Valores medios (+ES) de la biomasa de mantillo vegetal acumulado sobre el suelo debajo del canopeo de los parches de vegetación en sitios con baja (PB) y alta (PA) intensidad de pastoreo. (b) Valores medios del porcentaje de tejidos leñoso y foliares en la fracción 2 mm < Fa < 4 mm. Las letras minúsculas diferentes denotan diferencias significativas entre los sitios para: (a) las fracciones de tamaño 2 mm < Fa < 4 mm y 1 mm < Fb < 2 mm, y (b) cada tejido.

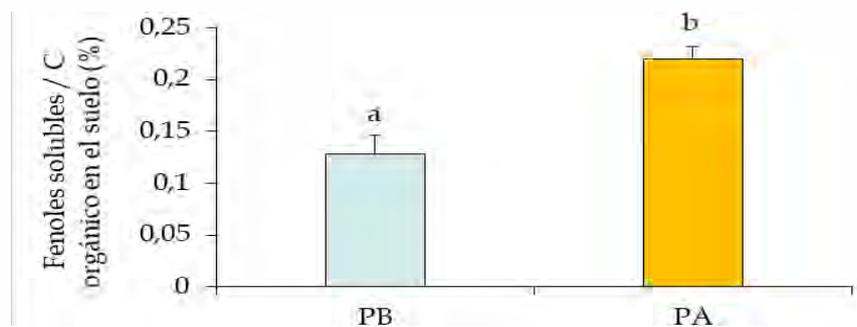


Figura 3. Valores medios (+ES) de la relación fenoles solubles totales /carbono orgánico del suelo (%). Las letras minúsculas diferentes denotan diferencias significativas entre los sitios.

CONCLUSIONES

Los resultados indican que la disminución en la riqueza y cobertura de pastos perennes, y de arbustos caducifolios y siempreverdes de porte medio, inducida por el pastoreo intensivo, afecta la composición de la materia orgánica que llega al suelo, y favorece la acumulación de mantillo leñoso. Además, impacta en la calidad del carbono orgánico, resultando en una mayor concentración de fenoles solubles por unidad de carbono orgánico en los suelos asociados a los parches de vegetación. Estos cambios pueden afectar el establecimiento temprano de las especies de pastos perennes que son preferidas por el ganado y que reducen su cobertura con intensidades altas de pastoreo con consecuencias sobre la conservación y sustentabilidad de las áreas de pastoreo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a HM Carrera por permitirnos el acceso a los sitios de muestreo. Este estudio fue financiado por los proyectos PICT 2017 2074 y PICT 2021-I-A-00623. El trabajo se desarrolló en el marco del PUE- IPEEC-2016 22920160100044.

BIBLIOGRAFÍA

- Ares, J.O., Beeskov, A.M., Bertiller, M.B., Rostagno, C.M., Irisarri, M., Anchorena, J., Defossé, G., Merino, C. (1990). *Structural and dynamic characteristics of overgrazed lands of northern Patagonia, Argentina*. En: Breymer, A. (Ed.), *Managed Grasslands*. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands, pp. 149-175.
- Asner, G. P., Elmore, A. J., Olander, L. P., Martin, R. E., & Harris, T. (2004). *Grazing systems, ecosystem responses, and global change*. *Annual Review of Environment and Resources*, 29, 261–299.
- Bertiller, M.B., Bisigato, A.J., Carrera, A.L., del Valle, H.F. (2004). *Estructura de la vegetación y funcionamiento de los ecosistemas del Monte austral*. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 39, 139-158.
- Bisigato, A. J. & Bertiller, M. B. (1997). *Grazing effects on patchy dryland vegetation in northern Patagonia*. *Journal of Arid Environments*, 36, 639–653.
- Blume, H. P. (1985). Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney (Ed., 1982): *Methods of soil analysis; 2. Chemical and microbiological properties*, 2. Aufl. 1184 S., American Soc. of Agronomy (Publ.), Madison, Wisconsin, USA.
- Bosco, T., Bertiller, M. B., & Carrera, A. L. (2016). *Combined effects of litter features, UV radiation, and soil water on litter decomposition in denuded areas of the arid Patagonian Monte*. *Plant and Soil*, 406, 71-82.
- del Valle, H. F., & Rosell, R. A. (2000). *Mineral composition of perennial vegetation of shrub patches in northeastern Patagonia*. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 14, 15–25.
- León, R. J. C., Bran, D., Collantes, M., Paruelo, J. M., & Soriano, A. (1998). *Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extra andina*. *Ecología Austral*, 8, 125-144.
- Muñoz, G. M., Carrera, A. L., Bertiller, M. B., & Saraví Cisneros, H. (2024). *Effects of neighbor shrub propagules and soils from shrubby patches on perennial grass germination in arid rangelands of the Patagonia Monte, Argentina*. *Journal of Vegetation Science*, 35(3), e13257.
- Oliva G, Gaitan J, Ferrante D. (2016). *Humans cause deserts: evidence of irreversible changes in Argentinian Patagonia rangelands*. En: Behnke, R., Mortimore, M. (eds) *The End of Desertification?* Springer Earth System Sciences. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Saraví Cisneros, H., Bertiller, M. B., Furlong, J. J. P., & Carrera, A. L. (2022). *Similar structural complexity of phenols in plant morphotypes with contrasting soluble phenol concentration and richness in arid rangelands of Patagonia*. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 295, 152134.
- Segesso, L., Carrera, A. L., Bertiller, M. B., & Saraví Cisneros, H. (2019). *Soluble phenolics extracted from Larrea divaricata leaves modulate soil microbial activity and perennial grass establishment in arid ecosystems of the Patagonian Monte, Argentina*. *Plant Ecology*, 220, 441–456.
- Sinsabaugh R.L., Carreiro M.M., Alvarez S. (2002). *Enzyme and microbial dynamics during litter decomposition*. En: *Enzymes in the Environment*. Richard Burns Ed. pp 249-266. Marcel Dekker.

División 3

Uso y Manejo del Suelo



Imagen creada con IA (<https://deepai.org>), empleando los términos “use and management of the soil, real picture, 3d imagen”.



Coordinador de División
Dr. Pablo Preciado Rangel

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL TALLO Y RENDIMIENTO DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) TIPO SALADETTE EN INVERNADERO

Juan Manuel Barrios-Díaz^{1*}; Andrea García-Monroy¹; Wendy Cruz-Romero¹;
Benjamín Barrios-Díaz²; Jesús Mao Estanislao Aguilar-Luna²;
Ángel Jair Juárez Córdova¹

¹Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
Av. Universidad S/N, San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. C.P. 73965.

²Complejo Regional Universitario - BUAP, Tetela de Ocampo, Puebla, México. C.P. 73640.

*Autor para correspondencia: juan.barrios@correo.buap.mx

RESUMEN

En la presente investigación fueron establecidas plantas de jitomate tipo saladette en condiciones de invernadero, para analizar el crecimiento del tallo en diámetro (DT) y longitud (LT), dimensiones utilizadas para monitorear las relaciones fuente - demanda y su influencia en el rendimiento y características físicas de los frutos. Los tratamientos correspondieron a tres híbridos de jitomate, Dickens, Misión y AH6205®, evaluados con un diseño de bloques completamente al azar, con cuatro repeticiones y cinco plantas a doble tallo fueron la unidad experimental. Los resultados mostraron que en LT hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en las etapas iniciales del cultivo y Dickens resultó con la mayor elongación; por otro lado, los modelos matemáticos de crecimiento del DT y LT resultaron con muy baja desviación entre valores observados y estimados, y con parámetros de ajuste similares de los tres híbridos; con respecto al rendimiento y peso de los frutos no se presentaron diferencias estadísticas entre los cultivares. El híbrido Dickens mostró mayor vigor inicial, lo cual es una característica apreciada por los productores.

PALABRAS CLAVE

Agricultura protegida, Análisis funcional, Modelo logístico.

INTRODUCCIÓN

En México, el cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es importante económica y socialmente; en el año 2023, la producción de jitomate tipo saladette en condiciones protegidas fue de 1,842,265 t en 12,200 ha sembradas y con un valor de 10,456 millones de pesos (SIAP, 2023). Considerando la relevancia que tiene el cultivo, los agricultores continuamente evalúan variedades y prácticas de manejo para optimizar el rendimiento, la calidad y la rentabilidad económica de su cosecha; por ejemplo, utilizar porta-injertos y variedades con crecimiento indeterminado muy vigoroso les permite guiar la planta con dos o más tallos, aumentar la resistencia a patógenos y enfermedades del suelo y reducir los costos de producción.

El análisis de crecimiento, clásico o funcional, se utiliza para comparar la respuesta fenotípica entre variedades (Di Benedetto y Tognetti, 2016), debido a que facilita dar

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

seguimiento al desarrollo del cultivo y establecer con respecto a las relaciones metabólicas entre los órganos fuente y demanda, si las plantas se encuentran balanceadas en su desarrollo o con tendencia vegetativa o generativa.

El monitoreo del crecimiento con muestreos no destructivos y mediciones frecuentes de algunos órganos de la planta, por ejemplo, del tallo (diámetro y/o longitud) y la hoja (número y/o área foliar), posibilita visualizar de forma sencilla el estado de la relación fuente - demanda, para mantenerla estable si es adecuado el desarrollo del cultivo o realizar ajustes en la nutrición, el riego, el control ambiental en invernaderos, o llevar a cabo prácticas de manejo como podas o aclareos.

Por lo anterior, en la presente investigación fue analizado el crecimiento del tallo y el rendimiento de los frutos cosechados de plantas de jitomate tipo saladette en condiciones de invernadero, en el municipio de Tetela de Ocampo, Puebla, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue desarrollada en un invernadero de producción comercial con superficie de 10,000 m², ubicado en Tetela de Ocampo, Puebla, México (19° 49' 24.30" N y 97° 51' 8.57" W). El análisis de fertilidad del suelo reportó textura franco arcillosa, 0.2 dS m⁻¹ de CE, 1.6 % de MO, 12.3 mg kg⁻¹ de NO₃⁻, 46.7 mg kg⁻¹ P disponible, 0.6 mg kg⁻¹ B, 10.5 cmol_c kg⁻¹ de Ca²⁺, 1.6 cmol_c kg⁻¹ de Mg²⁺, 0.3 cmol_c kg⁻¹ de Na⁺, 0.9 cmol_c kg⁻¹ de K⁺ y 14.9 cmol_c kg⁻¹ de CIC.

El material vegetal fueron tres híbridos de jitomate cuyas plántulas fueron trasplantadas el 8 de abril de 2022. El riego del cultivo fue con base al monitoreo de la tensión de humedad del suelo (THS), realizado con sensores de matriz granular y un lector digital marca Watermark®, se instalaron dos sensores en una repetición de cada tratamiento a 0.15 y 0.30 m de profundidad. En el invernadero fue instalada una estación meteorológica Davis Vantage Pro 2® que registró cada hora la radiación solar, temperatura y humedad relativa. Se calcularon los grados día de crecimiento (°C día) con GDC = (T°C máx + T°C mín)/2 - T°C base; T°C base = 10 °C.

Los tratamientos evaluados fueron los tres híbridos de jitomate tipo saladette: T1, Dickens de Enza Zaden®; T2, Misión de Syngenta®; y T3, AH6205 de AHERN®. El diseño experimental empleado fue de bloques completamente al azar con tres tratamientos, cuatro repeticiones y la unidad experimental fueron cinco plantas a doble tallo.

Las variables de crecimiento evaluadas fueron el diámetro de tallo (DT, mm); la longitud del tallo (LT, cm); el rendimiento y peso de los frutos cosechados, realizado en seis cortes que iniciaron 84 días después del trasplante (ddt).

El análisis de crecimiento del DT y LT de las plantas fue con mediciones al momento del trasplante, 14, 28, 42, 56, 70 y 84 ddt. La metodología utilizada fue el análisis funcional de acuerdo al modelo logístico siguiente:

$$y = \frac{A}{1 + \exp^{-K(t-T_m)}}$$

Dónde: A es la asíntota superior, K>0 y T_m es el tiempo en que se alcanza la tasa máxima de crecimiento (R_{máx}=KA/4). Los parámetros A, K y T_m fueron estimados por el método de Gauss-Newton (Proc NLIN de SAS) y la desviación (DP, %) entre los datos observados (y_i) y calculados con el modelo (y_c) fue mediante la relación:

$$DP = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_c)}{\sum_{i=1}^n y_c} \right) * 100$$

El análisis de varianza y prueba de comparación de medias por Tukey ($\alpha=0.05$) fue con el paquete estadístico SAS versión 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el crecimiento del tallo y rendimiento de frutos de las plantas de jitomate cultivadas en invernadero, los procesos de captación de energía solar, distribución de fotoasimilados y acumulación de biomasa por sus distintos órganos, fueron reguladas por factores bióticos, abióticos y prácticas de manejo realizadas al cultivo. En el contexto anterior, los frutos son prioritariamente el destino de la mayor proporción de los productos metabolizados en las hojas (principal órgano fuente) y junto con los tallos, raíces y brotes axilares, crecen y compiten de acuerdo al avance en el desarrollo de la planta.

El crecimiento del DT no fue diferente entre los híbridos evaluados y por cada muestreo realizado, los parámetros estimados del modelo de crecimiento para cada híbrido se presentan en Cuadro 1 y la cinética promedio de engrosamiento del tallo se observa en la Figura 1a, en la cual, el DT máximo alcanzado fue de 11.8 mm con una $R_{\text{máx}}$ de 0.188 mm día⁻¹, obtenida a 22 ddt, esto indica que se presentó prácticamente a inicios de la etapa vegetativa, cuando las hojas de la planta, tallos y raíces crecen y se expanden rápidamente, por lo tanto, en esta etapa las condiciones de temperatura y radiación solar al interior del invernadero influyen de forma significativa en la tasa de fotosíntesis neta. En este aspecto, la irradiación solar promedio fue 10.3 MJ m⁻² día⁻¹, valor poco menor al óptimo (12 MJ m⁻² día⁻¹) según Castellanos (2009), pero al parecer estos niveles de radiación solar no afectaron al desarrollo y la producción, hasta 84 ddt se recibieron 862.1 MJ m⁻² día⁻¹.

En el crecimiento de LT se presentaron diferencias significativas en los muestreos correspondientes al momento del trasplante, 14, 28 y 70 ddt (Cuadro 2), en los cuales Dickens fue el de mayor LT, pero a 28 y 70 ddt fue estadísticamente igual a AH6205; al respecto, Van der Ploeg *et al.* (2007) indicaron que la altura de planta es una característica fenotípica de cada cultivar. A 84 ddt, la LT promedio de los tres híbridos fue de 209.2 cm, pero de acuerdo al modelo matemático que representó el crecimiento promedio de los tres híbridos (Figura 1b, la máxima LT fue de 222.3 cm y a 47 ddt se obtuvo la $R_{\text{máx}}$ de 4.074 cm día⁻¹, esto corresponde a una elongación semanal promedio de 28 cm, semejante a la óptima indicada para cultivares de tomate tipo saladette (Castellanos, 2009). En este aspecto, la temperatura influye de manera determinante y en promedio fue de 23.8 °C, con máxima de 35.5 °C y mínima de 12.1 °C, desde el trasplante y hasta el inicio de la cosecha (84 ddt) se acumularon 1,011.9 °C día al interior del invernadero.

Cuadro 1. Parámetros del modelo de crecimiento logístico, tasa máxima de crecimiento (Rmáx) y desviación promedio (PB), del diámetro y longitud del tallo de plantas de jitomate tipo saladette conducidas a doble tallo en invernadero.

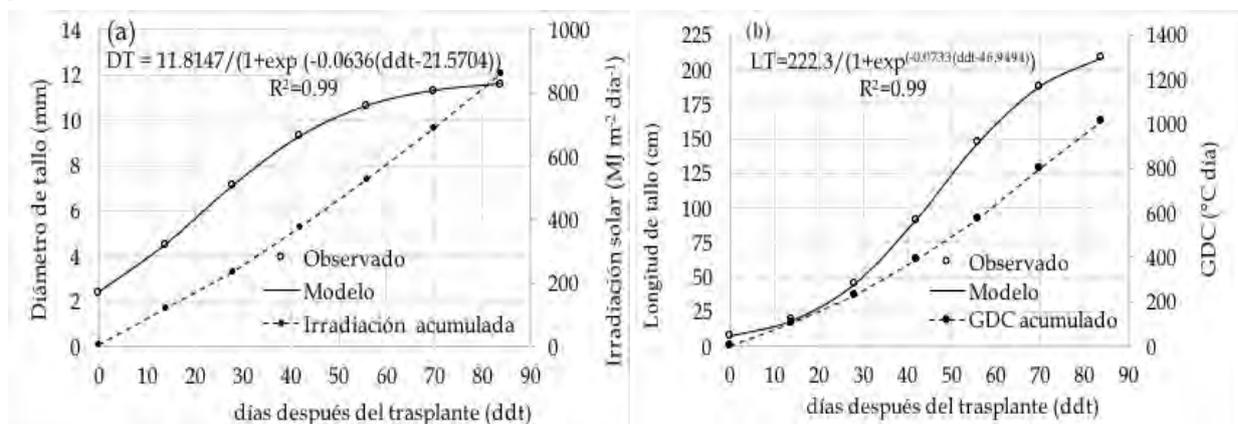
Híbrido	Diámetro de tallo (mm)					Longitud de tallo (cm)				
	A	K	Tm	Rmáx	PB	A	K	Tm	Rmáx	PB
Dickens	11.479	0.062	18.840	0.178	0.20	236.4	0.066	46.578	3.895	0.34
Misión	11.572	0.066	23.869	0.190	0.42	192.7	0.084	46.040	4.071	0.99
AH6205	12.206	0.066	21.420	0.203	0.33	238.7	0.073	48.263	4.332	0.18

Cuadro 2. Longitud del tallo (cm) a diferentes días después del trasplante (ddt) en plantas de tres híbridos de jitomate tipo saladette cultivados en invernadero.

Híbrido	0 ddt	14 ddt	28 ddt	42 ddt	56 ddt	70 ddt	84 ddt
Dickens	10.45 a	31.05 a	52.22 a	93.72 a	161.25 a	192.20 a	217.58 a
Misión	7.25 b	22.57 b	32.97 b	75.67 a	139.90 a	168.18 b	185.10 a
AH6205	6.97 b	17.67 b	40.37 ab	92.22 a	157.00 a	191.90 a	224.80 a
DMS	1.57	8.04	12.65	20.7	21.84	23.62	25.63
CV	8.82	15.6	13.92	10.94	17.52	3.73	2.91

Valores con letras iguales por columna no son estadísticamente diferentes ($\alpha=0.05$). DMS = diferencia mínima significativa. CV = coeficiente de variación.

Figura 1. Crecimiento del tallo, estimado con datos promedio de tres híbridos de jitomate tipo saladette. (a) Diámetro de tallo (DT) observado y modelado, y la irradiación solar acumulada. (b) Longitud de tallo (LT) observada y modelado, y los grados día de crecimiento (GDC) acumulados.



Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

En el rendimiento de frutos no fueron encontradas diferencias estadísticas entre los híbridos evaluados y el promedio en cada corte de los seis realizados fue de 0.819, 0.961, 1.107, 1.224, 1.252 y 0.992 kg planta⁻¹, respectivamente, con los cuales fue integrado un rendimiento total promedio de 11.12 kg m⁻². El peso promedio de los frutos tampoco fue estadísticamente diferente entre los híbridos comparados y por cada categoría de clasificación según su diámetro ecuatorial, los resultados fueron 34.5 g (muy pequeños, < 38 mm), 81.9 g (pequeños, 38 a 52 mm), 121.7 g (medianos, 52 a 60 mm), y 148.9 g (grandes, 60 a 71 mm). En el crecimiento de los frutos de jitomate son críticos e indispensables los procesos de absorción de agua y nutrientes, los cuales son regulados por el flujo de transpiración en las plantas y por las condiciones de humedad del suelo y ambientales.

La variación de la humedad del suelo reflejó dos tendencias generales, la primera fue descendente, a partir del establecimiento y hasta la mitad de la etapa vegetativa (30 ddt), en este periodo la THS fluctuó entre 7 y 30 kPa, el descenso fue debido a riegos ligeros y al incremento de la transpiración por la creciente área foliar. En la segunda etapa, la tendencia de variación de la humedad del suelo fue ascendente, provocada por una mayor frecuencia y dosis de riego para cubrir los requerimientos hídricos del cultivo en pleno crecimiento, aproximadamente desde 30 a 65 ddt, la THS varió de 30 a 15 kPa; posteriormente, cuando inició el crecimiento acelerado de los frutos y durante la etapa de cosecha, se trató de mantener la THS alrededor de 10 kPa para que los frutos completaran su crecimiento sin daños fisiológicos. Con respecto a la humedad relativa, el promedio general al interior del invernadero fue de 62.3 %, con máxima de 84 % y mínima de 40.6 %, valores que no afectaron el crecimiento ni limitaron la polinización.

En las etapas avanzadas del desarrollo de la planta, los frutos de jitomate se convierten en los principales demandantes de fotoasimilados, inclusive compiten entre sí en el mismo racimo, y los demás órganos vegetativos desaceleran su crecimiento, dicha situación fue reflejada por los híbridos en estudio después de alcanzar la R_{máx} de LT (47 ddt o 450 °C día), en cuanto al crecimiento del DT fue observado que la R_{máx} sucedió prácticamente al inicio del cultivo, por lo cual en esta etapa se debe abastecer adecuadamente de agua y nutrientes a las plantas, estimulando su crecimiento general y el engrosamiento del tallo. En una evaluación realizada en condiciones y con un cultivar similar, Barrios *et al.* (2023) encontraron que a 90 ddt, la proporción de biomasa aérea acumulada por los frutos de jitomate fue 37%, mientras que los tallos y hojas representaron el 23 y 40 %, respectivamente.

CONCLUSIONES

El híbrido de jitomate tipo saladette Dickens tuvo la mayor longitud del tallo durante las etapas iniciales del cultivo, lo cual es indicativo del vigor que tiene este cultivar después del trasplante, pero en el diámetro de tallo, rendimiento y características de tamaño y peso de los frutos, la respuesta fue similar a Misión y AH6205, lo cual fue corroborado con los modelos de crecimiento del tallo obtenidos y analizados para los tres cultivares evaluados.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

BIBLIOGRAFÍA

- Barrios-Díaz, J. M., Platas-Galindo, L., Cruz-Romero, W., Barrios-Díaz B., Pérez-Marroquín, G. J. & Joaquín-Medina, E. (2023). Enmiendas orgánicas al suelo, rendimiento y calidad de jitomate tipo saladette cultivado en invernadero. En E. Joaquín-Medina, A. Marín-Andrade & R. Escobar-Hernández (Eds). *Sustentabilidad en los procesos agropecuarios. Producción sostenible* (pp. 231-244). Editorial Académica Española.
- Di Benedetto, A. & Tognetti, J. (2016). *Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos*. Revista de Investigaciones Agropecuarias, 42 (3), 258-282.
- Castellanos, J. Z. (2009). *Manual de producción de tomate en invernadero*. Intagri.
- Van der Ploeg, A., Van der Meer, M. & Heuvelink, E.. (2007). *Breeding for a more energy efficient greenhouse tomato: past and future perspectives*. Euphytica, 158(1-2), 129-138.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2023). Gobierno de México.

ANÁLISIS ESPACIAL DE ÁREAS VERDES URBANAS DE UNA LOCALIDAD EL NOROESTE DE MÉXICO, CIUDAD OBREGÓN

Masuly G. Vega Puga¹; **Jaime Garatuza Payán**^{1,2}; **Martha L. Vargas Terminel**¹; **Francisco Alejandro Elías González Castro**¹; **Enrico A. Yépez**^{1,2}

¹Instituto Tecnológico de Sonora, Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente, 5 de febrero 818 sur, Cp. 85000, Ciudad Obregón, Sonora, México

²Sede Regional Sur de Sonora, Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía (LANGEM) 5 de febrero 818 sur, Cp. 85000, Ciudad Obregón, Sonora, México.

RESUMEN

Las áreas verdes urbanas brindan múltiples bienes y servicios a la población, los cuales tienen alcances ambientales, económicos y sociales. En la actualidad se observa la necesidad de información acerca de los ecosistemas urbanos para guiarlos a un funcionamiento eficiente y sostenible. El manejo de las áreas verdes requiere herramientas que permitan sostener un monitoreo que integre diferentes escalas espaciotemporales, como la percepción remota. Conocer el estado, extensión y distribución de estas áreas permitirá incorporarlas en la planeación urbana. El presente trabajo busca analizar espacialmente las áreas verdes urbanas de una localidad del Noroeste de México, Ciudad Obregón (CEN), utilizando imágenes satelitales de alta resolución espacial como parte de las estrategias para conservar y mejorar los ecosistemas urbanos. Acorde al Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) de octubre de 2023 de CEN, se encontró que esta localidad cuenta con alrededor de 242 ha de vegetación densa (constituida principalmente por árboles), así mismo, 606.94 ha de vegetación no densa (constituida principalmente por pastos y arbustos), representando el 4 % y 10 % del área total de la mancha urbana, respectivamente. Se contrastaron los años 2016 y 2023 y se encontró una disminución de 29 ha de vegetación densa y 47 ha de vegetación no densa. Este análisis muestra que en este periodo no se ha logrado incorporar grandes espacios de áreas verdes urbanas públicas o compensar lo desmontado.

PALABRAS CLAVE

Bienes y servicios ecosistémicos; Ecosistemas áridos y urbanos; Percepción remota.

INTRODUCCIÓN

Las áreas verdes urbanas juegan un rol importante en las ciudades debido a que brindan múltiples bienes y servicios a la población, los cuales tienen alcances ambientales, económicos y sociales. Los beneficios sociales más visibles que encontramos sobre las áreas verdes son el fomentar la práctica de ejercicio físico y otras actividades recreativas, impactando de manera positiva en la salud física y mental de los habitantes (Li *et al.*, 2022), así mismo, esto incide en la salud pública y los índices delictivos (Luneke, 2021). En términos ambientales, algunos de sus beneficios son captura de carbono atmosférico, zona de recarga de lluvia y amortiguamiento de las

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

altas temperaturas, siendo especialmente importante en las regiones áridas y semiáridas (Sahagún *et al.*, 2020; Santamouris *et al.*, 2020; Ojeda-Revah, 2021).

Debido al cambio climático y a la naturaleza de los materiales de construcción que dominan en México (i.e casas, equipamiento urbano, caminos y carreteras), el incremento de la temperatura es inminente, siendo las zonas áridas y semiáridas las más afectadas, por situaciones que van desde altos pagos por el uso de equipo de refrigeración hasta el fallecimiento por golpes de calor (Díaz-Caravantes *et al.*, 2014; Santamouris *et al.*, 2020). Por ello, una de las opciones más viables y de menor costo para amortiguar el incremento en las altas temperaturas, es el establecer áreas verdes de manera estratégica dentro de las ciudades (Santamouris *et al.*, 2020). Si bien, el conocimiento ha sido enfocado en su mayoría a ecosistemas naturales y agroecosistemas, en la actualidad se observa la necesidad de contar también con información acerca de los ecosistemas urbanos, para guiarlos a un funcionamiento eficiente y sostenible (Tan *et al.*, 2020). Para el manejo de las áreas verdes, se requieren herramientas que permitan sostener un monitoreo a gran escala espaciotemporal, como la percepción remota. Este conocimiento acerca del estado, extensión y distribución de las áreas verdes urbanas permitirá incorporarlas dentro de las estrategias formales de planeación urbana sostenible. Por ello, el presente trabajo busca analizar espacialmente las áreas verdes urbanas de una localidad del Noroeste de México, CEN, utilizando imágenes satelitales de alta resolución espacial, como parte de las estrategias para conservar y mejorar los ecosistemas urbanos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio. CEN, se ubica en el sur de Sonora, en el municipio de Cajeme (Figura 1). y tiene alrededor de 329 404 habitantes acorde al último censo de INEGI. El clima en la región es semiárido con una temperatura promedio anual de 24 ° C, llegando a experimentar temperaturas máximas de hasta 42 ° C y, por otra parte, la precipitación promedio anual es de 317 mm (Navarro-Estupiñán *et al.*, 2018; Torres-Cruz *et al.*, 2021).

Imágenes satelitales de alta resolución espacial y su procesamiento. Para la obtención de las imágenes se accedió a la plataforma de Copernicus Browser de la Agencia Espacial Europea (ESA). Los criterios de búsqueda consideraron lo siguiente: a) extensión de terreno (mancha urbana de CEN), b) misión, Sentinel 2, c) Nivel de corrección atmosférica, nivel 2A y d) fecha, octubre-noviembre de 2016 y 2023, esto con el fin de tener presencia de vegetación activa, por las lluvias de verano, pero minimizando la presencia de nubosidad. Para el procesamiento de estas se utilizó el sistema de información geográfica de código abierto, QGIS (versión 3.28.12). El cálculo del NDVI requiere las reflectancias en las regiones del espectro electromagnético del infrarrojo cercano y el rojo (Ozyavuz *et al.*, 2015), es decir, $NDVI = (IC-R) / (IC+R)$, donde: el IC es infrarrojo cercano y R es el rojo. Dado que la zona urbana de CEN requiere dos escenas diferentes de Sentinel 2 para cubrir su extensión total, previo al cálculo del NDVI, fue necesario combinar las bandas 4 y 8 de las dos escenas y recortar solo la mancha urbana correspondiente al año 2013.

El polígono de la mancha urbana se obtuvo de la Plataforma de Información Geoespacial del Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (<https://idegeo.centrogeo.org.mx>), particularmente, del mapa temático localidades

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Urbanas Geoestadísticas de México. Contando con las bandas combinadas y recortadas se procedió al cálculo del NDVI. Posteriormente, el índice fue reclasificado para agrupar en categorías las coberturas y objetos en la superficie de interés en las siguientes: categoría 0 (-1 a 0.2), cuerpos de agua, suelo desnudo y construcción, categoría 1 (0.2 a 0.3), vegetación no densa y categoría 2 (0.3 a 1), vegetación densa (Ozyavuz et al., 2015). Finalmente, se obtuvieron las áreas de cada categoría.

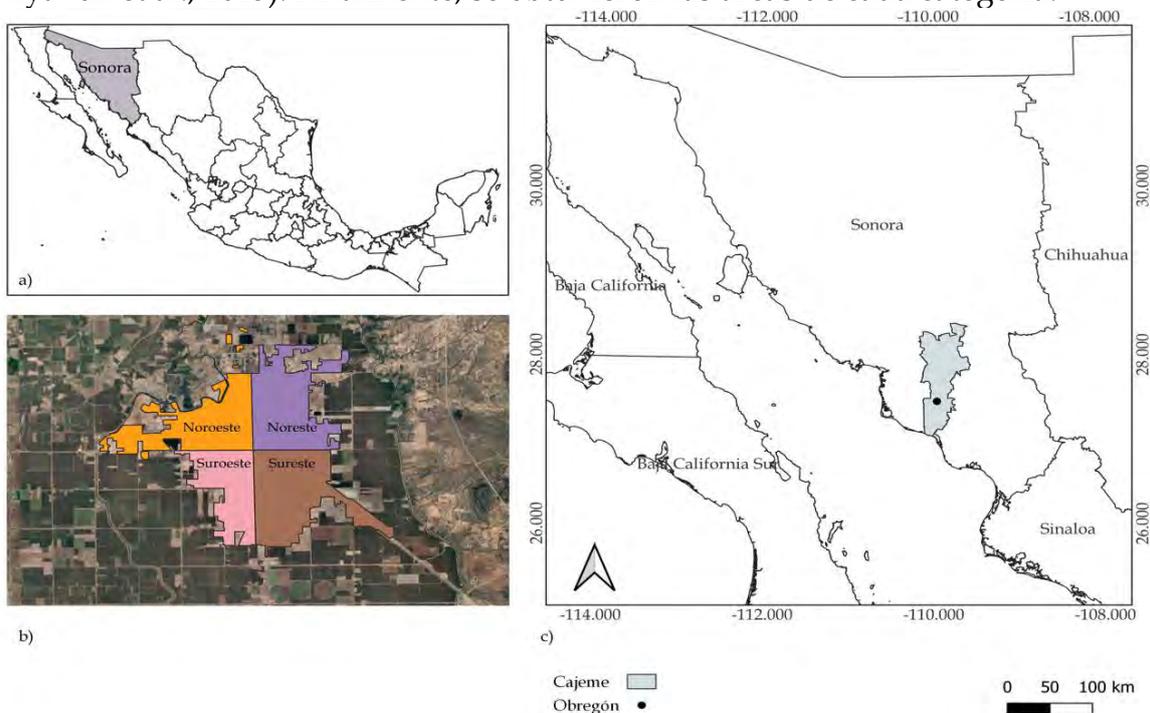


Figura 1. Sitio de estudio, a) estado de Sonora, b) mancha urbana de CEN en 2024 y sus alrededores (imagen de Google Earth®) y c) localización de CEN en el estado de Sonora.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La variación espacial de NDVI de octubre de 2023 de CEN, mostró que la localidad cuenta con alrededor de 242 ha de vegetación densa, así como 606.94 ha de vegetación no densa (4 % y 10 % del área total de la localidad, respectivamente). Ambos tipos de vegetación no se encuentran distribuidos de manera homogénea, logrando visualizar que el cuadrante noroeste de la localidad presenta más áreas verdes (Figura 2, a), esto debido principalmente a la presencia de la Laguna del Náinari, que está conectada con uno de los canales de riego agrícola principales del Valle del Yaqui, además del área verde del Parque Infantil Ostimuri y una unidad deportiva, lo cual podría tener una relación con el nivel socioeconómico (medio a alto). En trabajos previos donde se buscó analizar el acceso a áreas verdes en otras ciudades de México, particularmente, Hermosillo, capital de Sonora y con un contexto sociocultural similar a CEN, se encontró que los habitantes de estratos socioeconómicos bajos recorren una mayor distancia para llegar a áreas verdes (Ojeda-Revah, 2021). En CEN se observan dos áreas verdes grandes con forma lineal (Figura 2, a) paralelas a el Bulevar Ignacio Ramírez y la Avenida Rodolfo Félix Valdés (al costado de la avenida se presenta un canal de riego agrícola).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Estas zonas representan las principales áreas verdes públicas de los cuadrantes sur y tienen un valor esencial en los habitantes de dicha zona ya que se llevan a cabo actividades de recreación, pero también económicas, como mercados ambulantes que se establecen en algunos días de la semana. En el caso del cuadrante noreste, se observa una menor presencia de vegetación localizada, principalmente, en múltiples terrenos desmontados, sin un uso de suelo específico, los cuales, son espacios que bien podrían ser utilizados para establecer áreas verdes. Estos espacios abiertos permiten la erosión del suelo y favorecen la posibilidad de que sean utilizados como basureros o como refugio de la delincuencia, además, este cuadrante, al igual que el cuadrante sureste, presentan algunas áreas destinadas a la industria, por tanto, aportan a la presencia de grandes extensiones edificadas, pero también, desmontadas para la maniobra de maquinaria industrial. En la mayoría de las propiedades privadas, principalmente casas habitación, se observa vegetación tanto arbórea como arbustiva (Figuras 2, a), contribuyendo en gran medida a los servicios ecosistémicos brindados a la ciudad y conectados a las percepciones estéticas y ambientales de los habitantes de CEN. Finalmente, para poder evaluar la evolución de las áreas verdes de CEN en los últimos ocho años, se compararon los años 2016 y 2023, encontrándose una disminución de 10.65 ha de vegetación densa y 7.15 ha de vegetación no densa en el 2023. Esto se originó, principalmente, por el desmonte de terrenos que cómo se mencionó anteriormente, no presentan un uso de suelo establecido. Algunos de estos desmontes han sido principalmente parte de actividades de limpieza, creación de acceso a nuevas colonias o para la construcción de edificios. En la Figura 2, b se muestra la distribución espacial de las áreas que tuvieron una disminución de vegetación en color amarillo, y en color negro, aquellas áreas que presentaron un incremento. Este análisis espacial evidencia que durante este periodo de 8 años no se incorporaron áreas verdes urbanas públicas o se compensaron en su totalidad los desmontes.

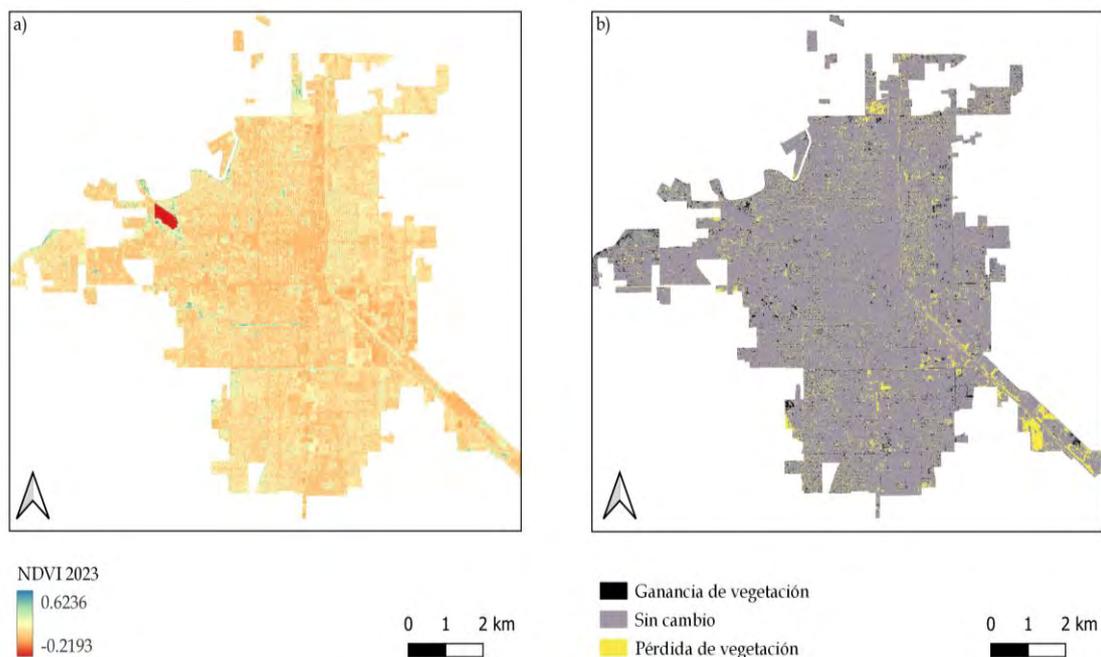


Figura 2. En a) Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada durante el mes de octubre de 2023 y en b) Contraste de áreas verdes entre 2016 y 2023, en Ciudad Obregón, Sonora.

CONCLUSIONES

Por medio de las imágenes satelitales de alta resolución espacial se logró calcular las áreas verdes urbanas de una localidad del Noroeste de México, Cd. Obregón, con ello, se encontró un decremento de cobertura vegetal en los últimos ocho años. Particularmente, las áreas verdes urbanas representan < 15 % del área total de esta ciudad semiárida.

BIBLIOGRAFÍA

- Díaz-Caravantes, R. E., Castro Luque, A. L., & Aranda Gallegos, P. (2014). Mortalidad por calor natural excesivo en el noroeste de México: Condicionantes sociales asociados a esta causa de muerte. *Frontera norte*, 26(52), 155-177.
- Li, X., Xia, G., Lin, T., Xu, Z., & Wang, Y. (2022). Construction of Urban Green Space Network in Kashgar City, China. *Land*, 11(10), 1826. <https://doi.org/10.3390/land11101826>
- Luneke Reyes, A. (2021). Inseguridad urbana, participación ciudadana y cuidado vecinal: la búsqueda por protección en los barrios. *Revista INVI*, 36(102), 302-327. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-83582021000200302>
- Navarro-Estupiñan, J., Robles-Morua, A., Vivoni, E. R., Zepeda, J. E., Montoya, J. A., & Verduzco, V. S. (2018). Observed trends and future projections of extreme heat events in Sonora, Mexico. *International Journal of Climatology*, 38(14), 5168-5181.
- Ojeda-Revah, L. (2021). Equidad en el acceso a las áreas verdes urbanas en México: revisión de literatura. *Sociedad y ambiente*, (24), 1-28.
- Ozyavuz, M., Bilgili, B. C., & Salici, A. (2015). Determination of vegetation changes with NDVI method. *Journal of environmental protection and ecology*, 16(1), 264-273.
- Sahagún Sánchez, F. J., Aceves Sánchez, J., Sánchez Romero, E., & Plazola Zamora, L. (2020). Valoración de los servicios ecosistémicos en áreas verdes. El caso del Parque Metropolitano de Guadalajara, México. *Acta universitaria*, 30. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2635>
- Santamouris, M., & Osmond, P. (2020). Increasing green infrastructure in cities: impact on ambient temperature, air quality and heat-related mortality and morbidity. *Buildings*, 10(12), 233.
- Tan, P. Y., Zhang, J., Masoudi, M., Alemu, J. B., Edwards, P. J., Grêt-Regamey, A., ... & Wong, L. W. (2020). A conceptual framework to untangle the concept of urban ecosystem services. *Landscape and urban planning*, 200, 103837.
- Torres-Cruz, M. M., Castro-Quiroa, L. A., Fuentes-Dávila, G., & Félix-Valencia, P. (2021). Determination of climatic zones of influence in the Yaqui and Mayo Valleys, Mexico. *International Journal of Agriculture, Environment and BioResearch*, 6(4), 44-56.

APLICACIÓN AL SUELO DE CARBONATO DE CALCIO Y MICROORGANISMOS PARA EVALUAR PRODUCCIÓN EN NOGAL PECANERO

Francisco Javier Piña Ramírez¹; Juan Manuel Soto Parra¹; Silvia Amanda García Muñoz^{1*}; Arwell Natan Leyva Chávez¹; Anabel Ortega Rodríguez¹; Ofelia Adriana Hernández Rodríguez¹

¹Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Campus I, Chihuahua, Chih., México. C.P. 31000.

*Autor para correspondencia: smunoz@uach.mx

RESUMEN

En México el nogal pecanero es uno de los principales cultivos, siendo el Estado de Chihuahua el principal productor de nuez pecanera por su alto valor económico, siendo para el estado una actividad en crecimiento, lo que ha generado falta de agua, baja nutrición de los suelos, bajo contenido de materia orgánica, entre otros, lo que ha provocado una disminución de la producción de la nuez. Por lo que el objetivo de la presente investigación fue la evaluación de la producción de nuez pecanera con aplicaciones al suelo de carbonato de calcio, enmiendas orgánicas y microorganismos. Los factores son: carbonato de calcio (CaCO_3), hongos micorrízicos, humus líquido, humus sólido y 4 niveles para cada factor con los que se generaron 16 tratamientos aplicados en tres repeticiones, cada repetición consistió de un árbol. Así como trichoderma, como factor activo para todas las repeticiones. Un segundo estudio se realizó en un diseño experimental de bloques completamente al azar con 8 tratamientos de CaCO_3 y Ca, y 3 repeticiones por tratamiento, cada repetición consistió de un árbol. La variable de respuesta que se evaluó fue la producción. Se empleó, una estructura Taguchi para generar los tratamientos, se utilizó un análisis de superficie de respuesta cuadrática completa, para el análisis de los resultados obtenidos a partir del experimento. Para obtener una producción de 3.14 t ha^{-1} , es necesario la aplicación de trichoderma 4.6 l ha^{-1} , CaCO_3 64.3 kg ha^{-1} , humus sólido $1331.2 \text{ kg ha}^{-1}$, h umus líquido 735.9 l ha^{-1} y micorrizas 16.7 kg ha^{-1} .

PALABRAS CLAVE

Micorrizas; Trichoderma; Solubilizadores; Western schley.

INTRODUCCIÓN

La nuez del nogal pecanero (*Carya illinoensis* Koch), es un fruto seco muy consumido en México y a nivel mundial por su alto contenido de antioxidantes, grasas saludables, y con alta rentabilidad, por lo que en México ha aumentado el cultivo de dicho frutal (Zaragoza *et al.*, 2011). México es uno de los principales productores de nueces pecanas, junto con Estados Unidos, siendo los estados más productores Chihuahua, Sonora y Coahuila.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Con una producción de nuez a nivel nacional en el año 2023 de 167,226.79 t, en una superficie de 120,562.74 ha dedicadas a este cultivo. Mientras que el mismo año Chihuahua participó con una producción de 100,206.84 t, en una superficie de 73,440.69 ha, ocupando el primer lugar en producción de nuez a nivel nacional (SIAP-SADER, 2024).

El cultivo del nogal pecanero requiere alta cantidad de agua, suelos ricos en nutrientes, alto contenido de materia orgánica y climas agradables para el cultivo, pero en los últimos años ha sido todo adverso lo que ha provocado una disminución en la producción de la nuez pecanera (Piña *et al.*, 2019), con rendimientos promedio de 1.36 t ha⁻¹ (SIAP-SADER, 2024). Actualmente, para alcanzar una mayor producción de nuez se ha incrementado el uso de agroquímicos sintéticos, los cuales han causado daños a la rizosfera, y a la salud humana, así como también sobre sus poblaciones microbianas (Youssef *et al.*, 2014), por lo que en la actualidad es necesario una transición hacia prácticas agrícolas más respetuosas y sostenibles al planeta y a la humanidad. Una alternativa es la inoculación al suelo de microorganismos que interactúen en forma directa o indirecta con las plantas, mejorando la disponibilidad de los nutrientes y la liberación de fitohormonas que estimulan el desarrollo vegetativo, así como enzimas que solubilizan los minerales presentes en el suelo para que la planta pueda tomarlos (Chauhan *et al.*, 2017), y cuya aplicación permite reducir el uso de agroquímicos (Hassen *et al.*, 2016).

En estos grupos se encuentran hongos y bacterias, que colonizan la rizosfera de la planta y ayudan en el crecimiento de raíces secundarias y éstas en el aprovechamiento de los nutrientes disponibles en el suelo, otras que participan en la fijación de nitrógeno, y en solubilización de fósforo (Bhattacharjee y Dey, 2014). Los microorganismos como las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (RPCP) que aplicadas cercanas a las raíces aportan efectos positivos para el desarrollo y producción vegetal (Labra *et al.*, 2012).

Por otro lado, el calcio es transportado por la planta a través del xilema junto con el agua, por lo que la absorción del calcio es pasivo y está directamente relacionado con la transpiración de la planta (Smart, 2020), a la vez juega un papel importante para la resistencia de las enfermedades, ya que este protege las paredes celulares de las enzimas desintegradoras secretadas por los patógenos. El calcio participa como componente estructural en las paredes celulares y mantiene la integridad de la membrana plasmática, por lo que la deficiencia de este elemento incrementa la permeabilidad de la membrana (Gómez, 2015), los síntomas por deficiencia son raramente observados en las plantas de nogal pecanero.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la producción de nuez pecanera con aplicaciones al suelo de carbonato de calcio, enmiendas orgánicas y microorganismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en un huerto localizado en el municipio de Aldama, Chihuahua., México, que tiene una latitud 28°50'21.46" Norte y la longitud 105°53'40.25" Oeste, con una altura de 1267 msnm, en árboles de nogal pecanero de la variedad Western Schley con una edad de 42 años y con una distancia de plantación de 12 x 12.

Se realizaron dos estudios de manera simultánea, el primero consistió en una estructura Taguchi L16 con 4 factores Ca/CaCO₃ (0, 7.5, 75, 150 kg ha⁻¹), humus sólido (0, 150, 1500, 3000 kg ha⁻¹), humus líquido (0, 75, 750, 1500 lt ha⁻¹), micorrizas (0, 1.5, 15,30 kg ha⁻¹) y 4 niveles de concentración (0, 1, 10, 20) para cada factor, con los que se generaron 16 tratamientos aplicados en tres repeticiones, cada repetición consistió de un árbol. Se utilizó como factor activo para todas las repeticiones los hongos *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma viridae* a concentraciones de 0, 5 y 10 l ha⁻¹. Un segundo estudio se realizó en un diseño experimental de bloques completamente al azar con 8 tratamientos (concentración de aplicación de carbonato de calcio) y 3 repeticiones por tratamiento, cada repetición consistió de un árbol, concentración de Ca en kg ha⁻¹ (0, 15, 45, 75, 105, 150, 195 y 240) y de CaCO₃ kg ha⁻¹ (0, 42.4, 127.19, 211.98, 296.78, 423.97, 551.16 y 678.35). Se estimó la producción con peso en kilogramos por cada árbol, se extrapoló la producción en toneladas por hectárea al multiplicar la producción de cada árbol por el número de árboles por hectárea. Para la generación de los tratamientos y por la naturaleza factorial se utilizó una estructura Taguchi, para el análisis de los resultados obtenidos se ajustó la superficie para determinar los niveles de los factores para óptima respuesta (SAS, 1989; Vargas *et al.*, 1991), mientras que para analizar los datos se utilizó la superficie de respuesta cuadrática completa, se estima una superficie de respuesta cuadrática por regresión con el método de mínimos cuadrados. El propósito inicial de estas técnicas es diseñar un experimento que proporcione valores razonables de la variable de respuesta y determinar el modelo matemático que mejor se ajuste a los datos obtenidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la producción se observa una R² del 75 % y una producción promedio de 2.11 toneladas por hectárea, el cual se encuentra por encima de lo reportado a nivel nacional de 1.4 toneladas por hectárea (SIAP_SADER, 2024). Soto *et al.*, 2014, en los años 2005 al 2011 alcanzaron una producción promedio de 2.65 toneladas por hectárea con fertilización nitrogenada, por lo que dicho valor está por encima de la encontrada en esta investigación. Los factores que mostraron un ajuste lineal y cuadrático respecto a la regresión son el año y Micorrizas, mientras que *Trichoderma* solamente cuadrática, por otro lado, las interacciones entre los factores fueron el año con *Trichoderma* y el Humus Líquido, por otra parte, el *Trichoderma* interactuó con el Humus Líquido.

Para la obtención de una producción de 3.14 t ha⁻¹ en un (145 %), es necesario disminuir la aplicación de *Trichoderma* 4.6 l ha⁻¹ hasta en un (7.8 %), CaCO₃ 64.3 kg ha⁻¹ en un (14.3 %), Humus Sólido 1331.2 kg ha⁻¹ en un (11.3 %) y Humus Líquido 735.9 l ha⁻¹ en un (1.9 %) y aumentar las Micorrizas 16.7 kg ha⁻¹ en un (11.3 %), con respecto a la media. Los hongos micorrízicos intervienen fuertemente en la productividad de las plantas, debido a que dichos hongos intervienen en la fertilidad del suelo, y actúan en la descomposición de la materia orgánica, así como en los ciclos de los minerales, e n la salud de las plantas y la nutrición (Finlay, 2008).

Cuadro 1. Producción en nogal pecanero tratado con carbonato de calcio, materia orgánica y microorganismos promotores del desarrollo vegetal.

Regresión	Factores kg - L ha ⁻¹						
	Año	<i>Trichoderma</i>	CaCO ₃	Hum_Sol	Hum_Liq	Micorrizas	
	<.0001 ^v	0.1653	0.0651	0.4591	0.0567	0.1404	
Lineal (L)	<.0001 ^v	L, C ^x					L, C
Cuadrática(C)	<.0001	<i>Tricho</i> ^y					
Productos Modelo	0.0408	Hum_liq					
	<.0001						
		R ²	0.7519	C. 26.24		μ 2.11	
				V.			
		Valores predichos					
t ha ⁻¹	Error E.	Kg - L ha ⁻¹					
1.28	0.405	2.0 ^z	5.0	75.0	1500.0	750.0	15.0
1.40	0.390	2.1	5.0	72.2	1458.8	732.1	15.3
1.53	0.380	2.2	5.0	70.2	1427.7	723.1	15.6
1.67	0.372	2.3	4.9	68.7	1404.6	719.4	15.8
1.83	0.366	2.4	4.9	67.7	1386.9	718.8	16.0
2.00	0.361	2.5	4.8	66.8	1373.0	719.9	16.2
2.19	0.355	2.6	4.8	66.2	1361.7	722.2	16.3
2.40	0.351	2.7	4.7	66.6	1352.3	725.1	16.4
2.62	0.346	2.8	4.7	65.1	1344.3	728.4	16.5
2.87	0.343	2.9	4.7	64.9	1337.3	732.1	16.6
3.14	0.340	3.0	4.6	64.3	1331.2	735.9	16.7
		Porcentaje de incremento (+) decremento (-) con respecto a la media simple					
+145.3			-7.8	-14.3	-11.3	-1.9	+11.3

^uSuperficie de respuesta máxima, análisis de cordillera (Ridge). μ Media general, C.V. Coeficiente de variación, R² Coeficiente de determinación. Pr ≥ 0.05 NS, 0.05 ≤ Pr ≤ 0.01 S, Pr ≤ 0.01 AS. ^x Respuesta (Pr > |t|) significativa lineal (L), cuadrática (C); ^yProductos significativos de ese factor con el resto. Fuentes: CaCO₃_V marmolina; CaCO₃_C carbonato de calcio Cementos de Chihuahua; Hum_Liq Humus de Lombriz líquido (OptiHumus^{MR}); Hum_Sol Humus de lombriz sólido (OptiHumus^{MR}); Micorrizas (Sehumic- Vam^{MR}, *Acaulospora scobiculata*, *Gigaspora margarita*, *Glomus fasciculatum*, *G. constrictum*, *G. tortuosum*, *G. geosporum* con 20,000 esporas viables kg⁻¹). *Trichoderma Harzianum* - *Trichoderma viridae*.

CONCLUSIONES

Para poder alcanzar la mayor producción hasta en un 145.3 % es necesario disminuir *Trichoderma* en un (7.8 %), CaCO₃ (14.3 %), humus sólido (11.3 %), humus líquido (1.9%) y aumentar las micorrizas hasta un (11.3 %). Por lo que es necesario evaluar el estiércol que se utiliza para elaborar la composta.

BIBLIOGRAFIA

- Bhattacharjee, R. y Dey, U. (2014). *Biofertilizante, un camino hacia la agricultura orgánica: una revisión*. Revista Africana de Investigación en Microbiología, 8 (24), 2332-2343.
- Chauhan, A., Guleria, S., Balgir, P., Walia, A., Mahajan, R., Mehta, P. y Shirkot, C. 2017. *Tricalcium phosphate solubilization and nitrogen fixation by newly isolated Aneurinibacillus aneurinilyticus CKMV1 from rhizosphere of Valeriana jatamansi and its growth promotional effect*. Brazilian Journal of Microbiology, 48(2): 294–304.
- Finlay, R. D. 2008. "Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium." J Exp Bot 59: 1115-26.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Gómez, V. (2015). *El calcio y su asimilación por parte de las plantas*. Cannabis Magazine: La revista de los profesionales y amantes del cáñamo, (125), 58-63.
- Hassen, A. I., F. L. Bopape, and L. K. Sanger. 2016. *Microbial Inoculants as Agents of Growth Promotion and Abiotic Stress Tolerance in Plants*. In: Singh D., H. Singh, and R. Prabha. (eds). *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity*. Springer, New Delhi. pp: 23 – 36.
- Labra-Cardón, D., Guerrero-Zúñiga L., Rodríguez T., Montes Villafán S., Pérez-Jiménez S. y Rodríguez-Dorantes A. 2012. *Respuesta de crecimiento y tolerancia a metales pesados de Cyperus elegans y Echinochloa polystachya inoculadas con una rizobacteria aislada de un suelo contaminado con hidrocarburos derivados del petróleo*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 28(1): 7-16.
- Lagarda, M. A., M. D. C. Medina, and J. Arreola. 1998. *Productive performance of 14 pecan cultivars in the arid zone of the North of Mexico*. pp. 194-200. In: Third National Pecan Workshop Proceedings. Las Cruces, NM, USA.
- Piña-Ramírez, F.J., Soto-Parra, J.M., García-Muñoz, S.A., Yáñez-Muñoz, R.M., Pérez-Leal, R. 2019. *Aplicación de enmiendas orgánicas y microorganismos para optimizar parámetros del suelo y rendimiento del nogal pecanero*. Revista Biológico Agropecuario Tuxpan. 7(2): 22-32.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca (SIAP-SADER). 2024. *Producción Agrícola*. Producción Mensual Agrícola. México D.F: SIAP; 2024. Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/
- Smart. 2020. *El calcio en las plantas*. Disponible en <https://www.smartfertilizer.com/es/articles/calcium-in-plants/>
- Soto, P. J. M., J. X. Uvalle, B., E. Sanchez, Ch., R. M. Yáñez, M., D. F. Montes. 2003. *Diagnóstico Diferencial Integrado: Una Herramienta para el uso racional de los fertilizantes*. In: 1er Congreso Iberoamericano de Nutrición Vegetal – Agrolatino, “Fertilización, Rentabilidad y Medio Ambiente”, Suplemento de Fruticultura Profesional No. 139. Extraordinario 2003:152- 156.
- Soto, P. J. M., F. J. Piña, R., E. Sánchez, Ch., R. Pérez, L., M. Basurto, S. 2016. *Alternativas Orgánicas para disminuir la aplicación de nitrógeno en nogal pecanero*. Nova scientia, 8(16), 140-161.
- Youssef MMA, Eissa MFM. 2014. *Biofertilizers and their in management of plant parasitic nematodes*. A review. J Biotechnol Pharm. Res. 2014; 5: 1-6.
- Zaragoza-Lira, M. M., P. Preciado-Rangel, U. Figueroa-Vira montes, J. L. García-Hernández, M. Fortis-Hernández, M. A. Segura-Castruita, A. Lagarda-Murrieta, and E. Madero Tamargo. 2011. *Application of compost and pecan yield*. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 17: 33 - 37.

APLICACIÓN DE NANOPARTÍCULAS VERSUS SULFATO Y QUELATO DE ZINC SOBRE PARÁMETROS FISIOLÓGICOS EN FRIJOL BÓRDALES

Alan Alvarez Monge¹; Esteban Sánchez Chávez^{1*}; Alejandro Palacio Marquez²;
María Laura Diaz Baca²; Ricardo Valdez Morales²

¹ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Av. 4ta. Sur 3820, Fracc. Vencedores del Desierto. Cd. Delicias, Chihuahua. México. C. P. 33089.

² Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Km 2.5 Carretera Delicias a Rosales, Delicias, Chihuahua. México. C. P. 33000.

*Autor de correspondencia: esteban@ciad.mx

RESUMEN

El frijol es un alimento importante por ser complemento nutricional esencial en la dieta. Sin embargo, la producción ha disminuido constantemente en los últimos años por factores climáticos adversos. Las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) ayudan a contrarrestar el estrés por el cual atraviesan las plantas sujeto a los diversos factores. Sin embargo, la información que existe actualmente en la aplicación de nanopartículas de zinc en el desarrollo de cultivos nativos como el frijol Bórdales es escasa. El objetivo del presente estudio fue evaluar la aplicación de nanopartículas versus sulfato y quelato de zinc sobre parámetros fisiológicos en frijol bórdales. Las variables evaluadas fueron biomasa aérea, biomasa radicular, pigmentos fotosintéticos, área foliar y valores SPAD. Los resultados obtenidos indican que la aplicación forma foliar de nanopartículas de óxido de zinc + quitosano mejoraron la biomasa aérea, radicular, clorofila a, clorofila b y clorofila total en comparación a las fuentes de Sulfato de Zn, Quelato de Zn y el control. Por otro lado, no se encontraron variaciones significativas en las variables área foliar y valores SPAD por efecto de las diferentes fuentes de zinc aplicadas. Finalmente, se concluye que la mayor efectividad, se logró con la aplicación via foliar de nanopartículas de óxido de zinc + quitosano en comparación al sulfato y quelato de zinc en plantas de frijol Bórdales.

PALABRAS CLAVES

Frijol bórdales; Micronutriente; Nanotecnología; Zinc; *Phaseolus vulgaris* L.

INTRODUCCIÓN

Las leguminosas son el segundo alimento con mayor importancia para el consumo humano, ya que aportan el doble de proteína que los cereales (Molina *et al.*, 2021). Sin embargo, a través de los años su producción ha disminuido considerablemente, debido a las condiciones climáticas que afectan el cultivo. Uno de los factores más limitantes son las temperaturas altas, principalmente a los sistemas de producción en condiciones de temporal (Martínez-González *et al.*, 2017). Para contrarrestar los efectos nocivos de las temperaturas altas en los cultivos, se han implementado el uso de micronutrientes, aplicados en forma de nanopartículas que han obtenido resultados prometedores en la mejora de las plantas a distintos tipos de estrés (Agüero-Esparza *et al.*, 2022). Las

nanopartículas de óxidos metálicos, particularmente las de óxido de zinc (ZnO), han sido evaluadas como nano fertilizantes, debido que el Zn es un elemento esencial en varios procesos bioquímicos en la planta (Martínez-González *et al.*, 2017). No obstante, a pesar de los resultados favorables obtenidos hasta el momento, la información acerca del uso de nanopartículas de zinc en plantas de frijol de variedades nativas como el Bórdales es limitada. El objetivo del presente estudio fue evaluar la aplicación de nanopartículas *versus* sulfato y quelato de zinc sobre parámetros fisiológicos en frijol bórdales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en invernadero con malla sombra en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) en Delicias, Chihuahua, México durante los meses febrero a abril del 2024. En el estudio, se utilizaron plantas de frijol bórdales. Durante el experimento se irrigaron con una solución nutritiva estándar Hoagland con un pH de 6 ± 0.1 la cual se aplicó cada 48 h. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 4 tratamientos que consistieron en: un control sin aplicación, y 3 fuentes de zinc: sulfato de zinc, quelato de zinc y nano zinc + quitosano a dosis 100 ppm, los cuales fueron aplicados vía foliar. Se tuvieron 4 repeticiones por tratamiento.

Los parámetros fisiológicos evaluados fueron: biomasa (g planta^{-1} p.f.), área foliar (cm^2), concentración de clorofila a, clorofila b y carotenos ($\mu\text{g cm}^2$) y unidades SPAD.

Una vez obtenidos los datos se ingresaron a un análisis de varianza y una prueba de separación de medias mediante la prueba de LSD a un intervalo de confianza de 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La biomasa es uno de los parámetros esenciales para determinar la eficiencia de los nutrientes en los cultivos (Szarka *et al.*, 2012). En la investigación actual, se observaron diferencias significativas en la biomasa aérea por efecto de las diferentes fuentes de zinc aplicadas vía foliar, sobresaliendo con mayor biomasa aérea la fuente nano Zn + quitosano y sulfato de Zn, en relación al control y quelato de Zn con menor biomasa aérea (Figura 1A). Con respecto a la biomasa radicular, las distintas fuentes de Zinc presentaron un comportamiento no muy distintivo a la biomasa aérea, sobresaliendo con la mayor biomasa radicular la fuente nano Zn + quitosano y Sulfato de Zn en relación el control y quelato de Zn con la menor biomasa radicular (Figura 1B).

Estos resultados nos indicaron que la fuente nano Zn + quitosano puede ser una opción interesante para el desarrollo y el crecimiento del cultivo de frijol Bórdales. Resultados similares fueron publicados por diversos autores encontrando que la implementación de nanopartículas de zinc y quitosano ha demostrado efectos positivos en la acumulación de biomasa en frijol especialmente a dosis por debajo de 25 ppm pudieron aumentar la biomasa y el rendimiento en frijoles verdes (Bautista-Díaz *et al.*, 2021).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

El área foliar es una variable importante en diferentes tipos de estudios agrícolas y fisiológicos involucrados en el crecimiento vegetal, captación de luz, eficiencia fotosintética, respiración, transpiración y respuesta al riego y a la fertilización (Casierra-Posada *et al.*, 2008). En el presente trabajo, no se observaron diferencias significativas en el área foliar por efecto de las diferentes fuentes de zinc aplicadas vía foliar, lo que indica que cualquier fuente de zinc es buena para el área foliar (Figura 1C).

La fotosíntesis es muy importante ya que es un proceso en el cual las plantas convierten la energía de la luz solar en energía química para su crecimiento y desarrollo (Kanwar *et al.*, 2019). En el presente estudio, se observaron diferencias significativas en la concentración de clorofila a, clorofila b y clorofila total por efecto de las diferentes fuentes de zinc aplicadas vía foliar, sobresaliendo con la mayor acumulación de clorofila a, clorofila b y clorofila total las fuentes nano Zn + quitosano, sulfato de Zn y quelato de Zinc en relación con el control que presentó la menor acumulación de clorofila a, clorofila b y clorofila total (Figura 2 E,F,G).

Con respecto a la concentración de carotenos no se observan diferencias significativas con la aplicación de las diferentes fuentes de zinc aplicadas vía foliar, lo que indica que cualquier fuente de zinc es buena para la concentración del área foliar (Figura 2H). La clorofila a (Figura 2E) obtuvo su mayor concentración en el tratamiento de sulfato de Zn, que incrementó en un 24.8 % con respecto al control. Sin embargo, cabe mencionar que no obtuvo diferencia significativa frente a las otras fuentes de zinc. Un comportamiento similar ocurrió con la concentración de clorofila b (Figura 2F), el cual incrementó significativamente un 29.6 % con la aplicación vía foliar de nanopartículas de Zn más quitosano con respecto al control.

Finalmente, la concentración de clorofila total obtuvo un valor más alto con el tratamiento de sulfato de zinc, que fue un 26.5 % más alto que el control y sin diferencia significativa frente a las otras fuentes de zinc (Figura 2G). Estos resultados podrían indicar que cualquier fuente de zinc es buena para la concentración de pigmentos.

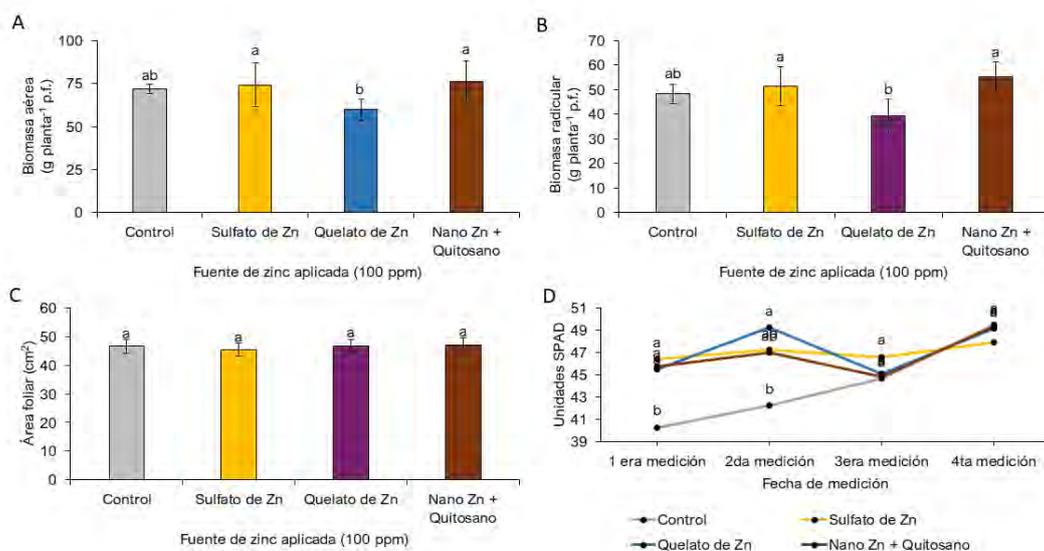


Figura 1. Impacto de la aplicación foliar de los tratamientos de zinc sobre biomasa aérea (A), biomasa radicular (B), área foliar (C) y unidades SPAD (D).

El índice SPAD es relativamente la cantidad de clorofila presente en la hoja (Markwell *et al.*, 1995). En la presente investigación, se observaron diferencias significativas en la segunda fecha de muestreo en los valores SPAD por efecto de las diferentes fuentes de zinc aplicadas vía foliar, sobresaliendo con los mayores valores SPAD las fuentes quelato de Zn, sulfato de Zn y nano Zn+ quitosano en relación al control que presentó los menores valores SPAD. En la cuarta y última fecha de muestreo de datos no se encontraron diferencias significativas por efecto de las diferentes fuentes de zinc aplicadas vía foliar, lo que indica que cualquier fuente de zinc es buena para mejorar el verdor de las hojas (Figura 1D).

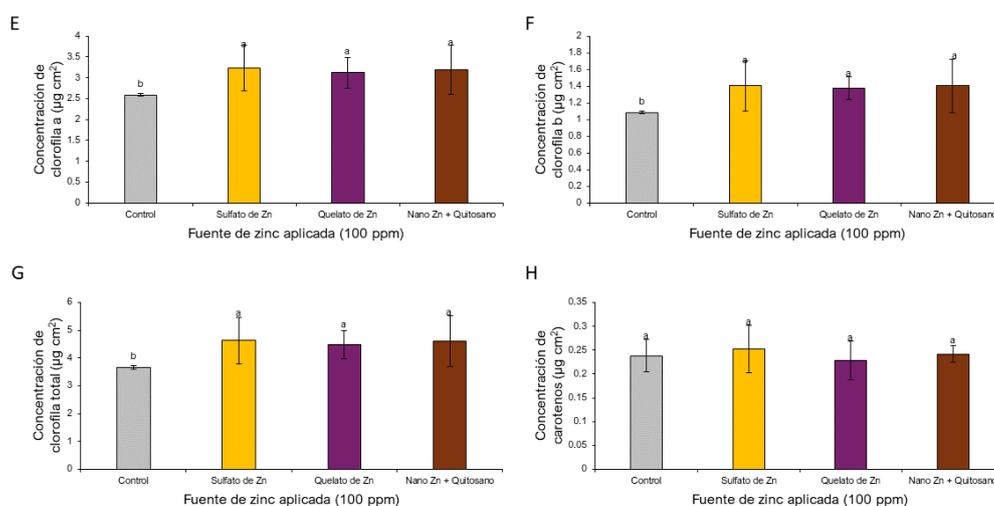


Figura 2. Impacto de la aplicación foliar de los tratamientos de zinc sobre nivel de concentración de clorofila a (E), clorofila b (F), clorofila total (G) y carotenos (H).

CONCLUSIONES

La aplicación vía foliar de nanopartículas de óxido de zinc + quitosano mejoraron la biomasa aérea, radicular, clorofila a, clorofila b y clorofila total en comparación a las fuentes de sulfato de Zn, quelato de Zn y el control. Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas en las variables área foliar y valores SPAD por efecto de las diferentes fuentes de zinc aplicadas vía foliar. Finalmente, se concluye que la mayor efectividad de la aplicación foliar de zinc fue con de óxido de zinc + quitosano en comparación al sulfato y quelato de zinc en plantas de frijol Bórdales.

BIBLIOGRAFÍA

Agüero-esparza, M., Villalobos-Cano, O., Sanchez, E., Perez-Alvarez, S., Sida-Arreola, J. P., Palacio-Marquez, A., & Ramirez-Estrada, C. A. (2022). Effectiveness of foliar application of biostimulants and nanoparticles on growth, nitrogen assimilation and nutritional content in green bean. *Notulae Scientia Biologicae*, 14(3), 11261-11261.

Bautista-Diaz, J., Cruz-Alvarez, O., Hernández-Rodríguez, O. A., Sánchez-Chávez, E., Jacobo-Cuellar, J. L., Preciado-Rangel, P., ... & Ojeda-Barrios D. L. (2021). Zinc

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- sulphate or zinc nanoparticle applications to leaves of green beans. *Folia Horticulturae*, 33(2), 365-375.
- Casierra-Posada, F., Peña Z, G.R., & Peña-Olmos J.E. (2008). Estimación indirecta del área foliar en *Fragaria vesca* L., *Physalis peruviana* L, *Acca sellowiana* (Berg.) Burret, *Rubus glaucus* L., *Passiflora mollissima* (Kunth) L.H. Bailey y *Ficus carica* L. *La Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica* 11(1): 95 - 102.
- Kanwar, M.K., Sun, S., Chu, X., & Zhou J., (2019). Impacts of Metal and Metal Oxide Nanoparticles on Plant Growth and Productivity. In: *Nanomaterials and Plant Potential*. Husen, A., Iqbal, M., (Eds). Springer, Cham. pp. 379-392.
- Markwell, J., Osterman, J. C., & Mitchell, J. L. (1995). Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. *Photosynthesis research*, 46, 467-472.
- Martínez-González, L., Maqueira-López, L., Nápoles-García, M. C., & Núñez-Vázquez, M. (2017). Efecto de bioestimulantes en el rendimiento de dos cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Biofertilizados. *Cultivos Tropicales*, 38(2), 113-118.
- Molina, M. G., de la Cruz Lázaro, E., Chávez, E. S., Martínez, J. R. V., Osorio, R. O., & Quiroz, C. M. (2021). Rendimiento, contenido mineral y actividad antioxidante de frijol caupí biofortificado con combinaciones de sulfatos de hierro y zinc. *Agrociencia*, 55(4), 357-367.
- Ponce-García, C. O., Soto-Parra, J. M., Sánchez, E., Muñoz-Márquez, E., Piña-Ramírez, F. J., Flores-Córdova, M. A., ... & Yáñez Muñoz R. M. (2019). Efficiency of nanoparticle, sulfate, and zinc-chelate use on biomass, yield, and nitrogen assimilation in green beans. *Agronomy*, 9(3), 128.
- Szarka, A., Tomasskovics, B., & Bánhegyi, G. (2012). The ascorbate-glutathione- α -tocopherol triad in abiotic stress response. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(4), 4458-4483.

APTITUD DEL TERRITORIO PARA UN NUEVO RELLENO SANITARIO DE LA ZONA METROPOLITANA DE CHIHUAHUA, MEDIANTE EVALUACIÓN MULTICRITERIO

Karen Merz-Molina¹; Alfredo Pinedo-Alvarez¹; María Cecilia Valles-Aragon²; Federico Villarreal-Guerrero¹; Jesús Alejandro Prieto-Amparán^{1*}.

¹Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), Periférico, Francisco R. Almada km 1, Chihuahua 31453, Chihuahua, México, *jamparan@uach.mx

²Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), Ave. Pascual Orozco s/n, Campus 1, Chihuahua, Chihuahua 31350, México

RESUMEN

El estudio aplicó una metodología de Evaluación Multicriterio (EMC) combinada con Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el Análisis Jerárquico Ascendente (AHP) para determinar la aptitud territorial en la Zona Metropolitana de Chihuahua para el desarrollo de un nuevo relleno sanitario. Se analizaron 21 criterios que incluyeron factores ambientales, sociales y técnicos. La estandarización de los criterios se realizó utilizando una escala de aptitud de 1 a 5. Posteriormente, estos criterios fueron ponderados mediante AHP. Las ponderaciones se integraron a través de la combinación lineal ponderada, generando mapas que reflejan los niveles de aptitud del territorio. Los resultados indican que el 44.71% de la zona metropolitana tiene una alta aptitud, mientras que un 29.52% presenta una muy alta aptitud para el establecimiento del relleno sanitario.

PALABRAS CLAVE

Aptitud territorial; RSU; EMC; Combinación lineal ponderada; AHP.

INTRODUCCIÓN

Con el crecimiento demográfico y la expansión urbana, la producción de residuos sólidos urbanos (RSU) ha aumentado significativamente, haciendo que la selección de sitios para su tratamiento sea un desafío complejo para los gobiernos locales. Este reto se ve agravado por factores como el incremento en la generación de residuos, los costos y disponibilidad del suelo, la necesidad de conservación territorial, y la rápida industrialización y urbanización (Santhosh y Sivakumar, 2018). La gestión de RSU es esencial para la planificación urbana, pero implica una serie de procesos interrelacionados, como el diseño de rutas de recolección, la ubicación de estaciones de transferencia y el manejo de instalaciones de tratamiento (Soltani *et al.*, 2015).

La selección de sitios para rellenos sanitarios debe considerar criterios sociales, técnicos y ambientales, ya que estos sitios pueden impactar significativamente el entorno biofísico y la ecología local. Los criterios pueden variar según las condiciones locales y otros factores como el presupuesto y el acceso. Un sitio adecuado debe minimizar el impacto ambiental, social y económico, y ser aceptado por la población (Kao y Lin, 1996). Los métodos de Evaluación Multicriterio (EMC) junto con Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas efectivas para evaluar estos criterios con un enfoque espacial detallado (Vasiljevic *et al.*, 2012).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

En Chihuahua, los RSU se trasladan al relleno sanitario actual, cuyo propósito es controlar los impactos ambientales mediante técnicas como la compactación. Sin embargo, según personal de SEMARNAT, la vida útil de este relleno ha concluido (comunicación personal). Por lo tanto, es fundamental evaluar la idoneidad de nuevas áreas para un relleno sanitario, utilizando los criterios de la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 y conocimientos locales en la zona metropolitana de Chihuahua, Aldama y Aquiles Serdán. Este estudio tiene como objetivo determinar la aptitud de estos territorios para el desarrollo de un nuevo relleno sanitario mediante SIG-EMC y Análisis Jerárquico Ascendente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se integra por los municipios de Chihuahua, Aldama y Aquiles Serdán, los cuales cuentan con una población de 937,674, 26,047 y 24,344 habitantes respectivamente, lo que da un total de 988,065 habitantes para la zona metropolitana (Figura 1). La superficie de los municipios es de 836,792.78 ha, 920,246.39 ha, 49,354.87 ha (Chihuahua, Aldama y Aquiles Serdán correspondientemente).

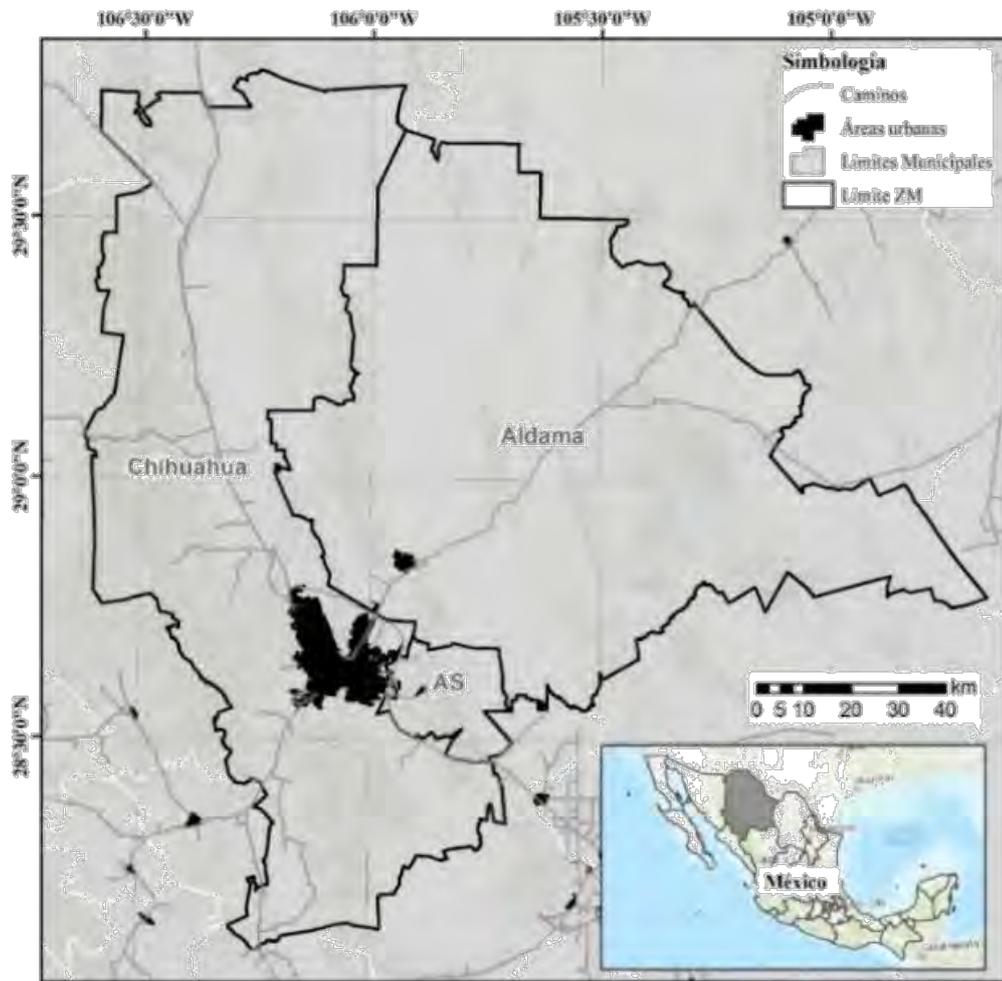


Figura 1. Zona metropolitana de Chihuahua.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Criterios

Los criterios seleccionados para determinar la aptitud para el desarrollo de un relleno sanitario fueron 21, los cuales se observan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Criterios empleados en la identificación de la aptitud para el desarrollo de un nuevo relleno sanitario.

No	Criterio	Tipo	Unidad
1	Aeropistas	Distancia	m
2	Aeropuerto	Distancia	m
3	Áreas naturales protegidas	Distancia	m
4	Localidades mayores a 2500 habitantes	Distancia	m
5	Humedales	Distancia	
6	Planicies aluviales	Categorico	N/A
7	Planicies fluviales	Categorico	N/A
8	Zonas de inundación	Distancia	
9	Zonas arqueológicas	Distancia	m
10	Fallas y fracturas	Distancia	m
11	Cuerpos de agua	Distancia	m
12	Corrientes de agua	Distancia	m
13	Lagos	Distancia	m
14	Traza urbana	Distancia	m
15	Pozos	Distancia	m
16	Limite intermunicipal	Distancia	m
17	Pendiente del terreno	Grados	°
18	Caminos		m
19	Vaso presa	Distancia	m

Los criterios se presentan en diferentes formatos (vectorial o raster) y escalas. Antes del análisis multicriterio, se realizó una homogeneización de todos, convirtiéndolos en formato ráster, con un tamaño de celda de 15 m x 15 m, en el software ArcMap 10.5®.

Proceso de estandarización

Se estandarizaron los criterios en una escala de aptitud del 1 al 5, siguiendo la recomendación de la FAO (1976). El valor 1 se asignó a los criterios menos adecuados y el 5 a los más favorables para el desarrollo del relleno sanitario, categorizados en niveles de aptitud que van de Muy Bajo a Muy Alto.

Ponderación de los criterios

La ponderación de criterios, fundamental en la toma de decisiones, varía según las prioridades de los distintos actores. Mientras los ambientalistas priorizan la protección de recursos, los desarrolladores se enfocan en costos y estética. Las ponderaciones se calcularon usando el Análisis Jerárquico Ascendente (AHP), un método reconocido para la selección de sitios con potencial (Saaty y Vargas, 2001).

Combinación lineal ponderada

Las ponderaciones se integraron mediante la combinación lineal ponderada en ArcGIS 10.5, utilizando la herramienta "Weighted Overlay". Esta técnica ha sido ampliamente aplicada en estudios globales para la selección de sitios de rellenos sanitarios (Demesouka et al., 2019; Mallick, 2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La selección de los sitios potenciales para el establecimiento de un relleno sanitario metropolitano incluyó la integración de SIG-EMC mediante AHP y la combinación lineal ponderada. En relación con los pesos asignados o ponderación, la distancia al aeropuerto fue el criterio con la mayor importancia, seguido de la pendiente del terreno, fallas y fracturas y el límite intermunicipal (Figura 2). Esto es razonable, ya que, en primera instancia, la NOM-083-SEMARNAT-2003, considera como un criterio principal de restricción la lejanía del aeropuerto, y, por otro lado, la cercanía al límite intermunicipal es importante, ya que el nuevo relleno debe proveer servicio a los tres municipios.

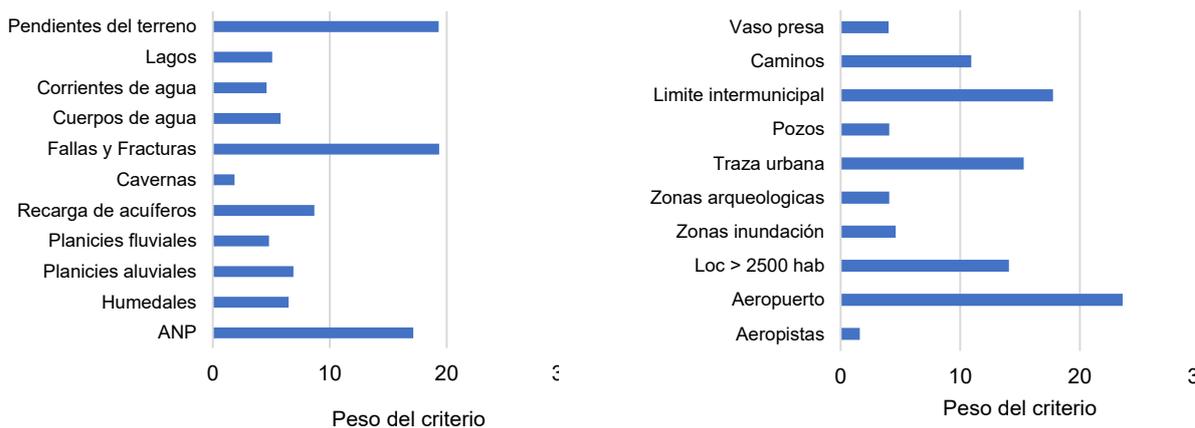


Figura 2. Pesos obtenidos a partir de la comparación por pares bajo el enfoque AHP.

La aplicación del EMC-SIG con AHP permitió evaluar la aptitud del área de estudio para el desarrollo de un relleno sanitario con base en 19 criterios. Lo anterior permitió representar espacialmente cinco niveles de aptitud en un mapa final de decisión Figura 3. Las superficies correspondientes a cada nivel de aptitud del área se muestran en la. Para el nivel de aptitud Alto, bajo el escenario AHP, con una superficie de 807,572.52 ha, que corresponde al 44.71% de ocupación de la zona metropolitana. Por otro lado, en cuanto al nivel de idoneidad Muy Alto, se obtuvo una superficie de 533,195 ha (29.52 %). Mientras que la superficie moderada mostró una superficie de 292,216.51 ha (16.18%). Las aptitudes baja y muy baja obtuvieron un porcentaje de ocupación de 9.7% en conjunto. Los lugares con un nivel de aptitud Alto cuentan con superficies con conexión entre ellas. Estas superficies se distribuyen principalmente en la zona norte de los municipios de Chihuahua y Aldama.

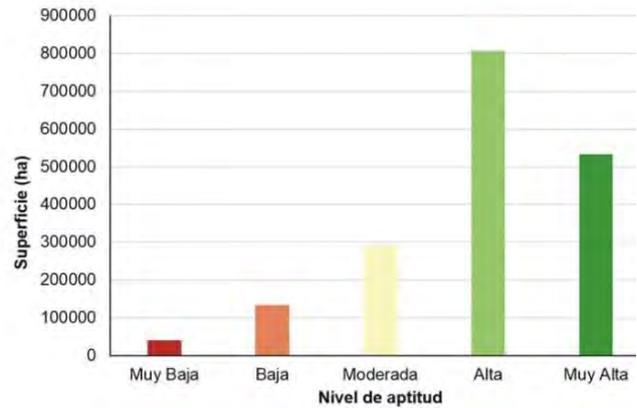
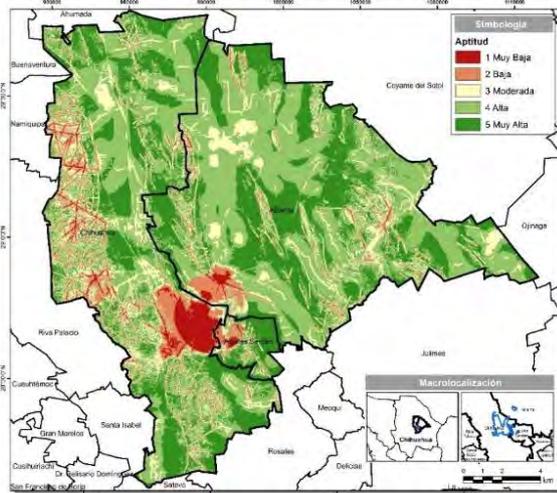


Figura 3. Superficie correspondiente a los cinco niveles de aptitud para el desarrollo del relleno sanitario bajo el enfoque AHP.

La identificación de áreas con alta aptitud para un nuevo relleno sanitario no solo optimiza el uso del territorio, sino que también minimiza los impactos ambientales y sociales al considerar la proximidad a infraestructuras críticas y la preservación de recursos naturales. La integración de criterios locales, como los establecidos en la NOM-083-SEMARNAT-2003, con prácticas internacionales y el conocimiento experto, subraya la relevancia de una evaluación exhaustiva y contextualizada en la planificación territorial. Este estudio también destaca la necesidad de involucrar a las comunidades locales y otras partes interesadas para garantizar la aceptación social y la sostenibilidad a largo plazo del proyecto propuesto.

CONCLUSIONES

La metodología de soporte de decisión implementada en este estudio, que combina EMC-SIG y el Análisis Jerárquico Ascendente, demuestra ser eficaz para identificar áreas de Alta y Muy Alta Aptitud dentro de la Zona Metropolitana de Chihuahua para el desarrollo de un nuevo relleno sanitario. Este enfoque permite la integración explícita y espacial de criterios establecidos en la NOM-083-SEMARNAT-2003, complementados con referencias de la literatura internacional y el conocimiento experto local. La flexibilidad de la metodología AHP no solo facilita la inclusión de un amplio rango de criterios, sino que también permite ajustes dinámicos en la ponderación de estos, lo que puede mejorar la precisión y relevancia de los mapas de aptitud generados. El uso de esta metodología no solo ofrece una solución técnica robusta, sino que también asegura un proceso de planificación territorial más informado y adaptativo, capaz de responder a las necesidades y desafíos específicos de la región.

BIBLIOGRAFÍA

- Demesouka, O. E., Anagnostopoulos, K. P., & Siskos, E. (2019). Spatial multicriteria decision support for robust land-use suitability: The case of landfill site selection in Northeastern Greece. *European Journal of Operational Research*, 272(2), 574-586.
- FAO. (1976). *A framework for land evaluation*. FAO and agriculture organization of the United Nations. Disponible en: <https://www.fao.org/3/x5310e/x5310e00.htm>
- Kao, J. J., & Lin, H. Y. (1996). Multifactor spatial analysis for landfill siting. *Journal of Environmental Engineering*, 122(10), 902-908.
- Mallick, J. (2021). Municipal solid waste landfill site selection based on fuzzy-AHP and geoinformation techniques in Asir Region Saudi Arabia. *Sustainability*, 13(3), 1538.
- Saaty, T., & Vargas, L. (2001). *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*. Driven Demand and Operations Management Models. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6>
- Santhosh, L. G., & Sivakumar Babu, G. L. (2018). Landfill site selection based on reliability concepts using the DRASTIC method and AHP integrated with GIS—a case study of Bengaluru city, India. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 12(3), 234-252.
- Soltani, A., Hewage, K., Reza, B., & Sadiq, R. (2015). Multiple stakeholders in multi-criteria decision-making in the context of municipal solid waste management: a review. *Waste Management*, 35, 318-328.
- Vasiljevic, T. Z., Srdjevic, Z., Bajcetic, R., & Miloradov, M. V. (2012). GIS and the analytic hierarchy process for regional landfill site selection in transitional countries: a case study from Serbia. *Environmental Management*, 49(2), 445-456.

ASIMILACIÓN DE NITRÓGENO, BIOMASA Y RENDIMIENTO EN RESPUESTA A LA APLICACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE HIERRO EN ESPINACA

Cristina Larissa Franco-Lagos; Esteban Sánchez-Chávez*; Ezequiel Muñoz-Márquez; Celia Mendoza-Chávez; Alejandro Guevara-Aguilar

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Av. 4ta. Sur 3820, Fracc. Vencedores del Desierto. Cd. Delicias, Chihuahua. México. C. P. 33089.

*Autor de correspondencia: esteban@ciad.mx

RESUMEN

La asimilación del nitrógeno (N) es fundamental para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Los micronutrientes son esenciales en el metabolismo del nitrógeno porque actúan como cofactores de enzimas y proteínas involucradas en su asimilación. Su adecuada disponibilidad mejora la absorción y procesamiento del nitrógeno, favoreciendo el correcto desarrollo de las plantas. Por lo que, el objetivo del presente estudio fue evaluar la aplicación de nanopartículas (NPs) *versus* sulfato y quelato de hierro (Fe) sobre la acumulación de biomasa, rendimiento y asimilación de nitrógeno de plantas de espinaca cv. Viroflay. Los tratamientos consistieron en la aplicación foliar de 3 fuentes de Fe: quelato de hierro (Fe-EDDHA), sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) y NPs de Fe a dosis de 0, 25, 50 y 100 ppm. Las variables evaluadas fueron: índice de clorofila, biomasa, rendimiento, concentración de aminoácidos y proteínas solubles y actividad nitrato reductasa. Los resultados obtenidos mostraron que la aplicación de NPs de Fe a 25 ppm favoreció el índice de clorofila un 36.62% respecto al control y la biomasa un 46.85% respecto al control. Así mismo, la dosis de 50 ppm de sulfato de Fe favoreció el contenido de proteínas un 59.3%, respecto al control. En conclusión, las NPs de Fe son una buena alternativa para mejorar la efectividad en la asimilación de nitrógeno en plantas de espinaca cv. Viroflay, disminuyendo la dosis de aplicación respecto a las fuentes convencionales.

PALABRAS CLAVE

Spinacia oleracea L.; Nanotecnología; Metabolismo nitrogenado; Hierro; Nanopartículas.

INTRODUCCIÓN

La asimilación del N es el proceso clave mediante el cual las plantas absorben el N disponible en el suelo (nitratos NO_3^- y amonio NH_4^+) convirtiéndolo en compuestos orgánicos, como aminoácidos y proteínas, a través de la enzima nitrato reductasa. (Broadley *et al.*, 2012). El hierro es un componente esencial en la reducción de nitratos ya que incluye un complejo S-Fe, y participa en la transferencia de electrones a través de la ferredoxina durante la fotosíntesis y la asimilación del nitrógeno (Taiz, L., & Zeiger, E. 2006). Diversas investigaciones muestran que la aplicación de micronutrientes, como el Fe, puede mejorar el crecimiento, la biomasa y asimilación de N en cultivos como frijol, lechuga y pepino. Sin embargo, la información sobre el

impacto de las NPs de Fe sobre la asimilación de N en el cultivo de espinaca sigue siendo limitada. Por lo que, el objetivo del presente trabajo de investigación fue estudiar la efectividad de la aplicación foliar de NPs de Fe *versus* sulfato y quelato de hierro, sobre la biomasa, rendimiento y asimilación de nitrógeno en plantas de espinaca cv. Viroflay.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones del CIAD en Delicias, Chihuahua, México durante el mes de Abril y Mayo del 2023. Se estableció bajo condiciones de invernadero con malla sombra a una temperatura media de 32.48 °C. Se utilizaron semillas de espinaca (*Spinacea olerácea* L.) cv. Viroflay, las cuales se cultivaron en macetas de plástico con una mezcla de sustrato vermiculita y perlita (2:1 v/v). Las plantas se regaron con solución nutritiva propuesta por Sánchez *et al.*, (2004). Se empleó un diseño experimental completamente al azar con 3 tratamientos de Fe: quelato de hierro (Fe-EDDHA), sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) y NPs de Fe a dosis de 0, 25, 50 y 100 ppm con 4 repeticiones por tratamiento. Los tratamientos se aplicaron a partir de los 15 días después de la aparición de las hojas verdaderas de manera foliar, cada diez días. Las variables evaluadas fueron: biomasa, rendimiento, actividad nitrato reductasa utilizando la metodología propuesta por Jaworski (1971) y Maurino (1986), índice de clorofila, utilizando el clorofilómetro portátil SPAD-502, la concentración de aminoácidos con el método utilizado por Yemm y Cocking (1955), y la concentración de proteínas solubles con el método propuesto por Bradford (1976). Los datos fueron sometidos a una prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) y una prueba de separación de medias mediante LSD con un 95% de significancia ($\alpha \leq 0.05$) mediante el software estadístico SAS 8.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Biomasa

Uno de los parámetros clave para evaluar la eficiencia de los nutrientes es la acumulación de biomasa (Szarka *et al.*, 2012). En este estudio se encontraron diferencias significativas. Donde, las NPs de Fe a dosis de 100 ppm mostraron un incremento de 49.73% respecto al control. Además, con la aplicación de quelato se observó una toxicidad conforme incrementaban las dosis (Figura 1a). El uso de NPs de Fe mejora la disponibilidad de nutrientes, lo que incrementa la producción de biomasa y actividad fotosintética en los cultivos (Adeleke, *et al.*, 2020).

Rendimiento

El hierro es necesario para la fotosíntesis, la respiración y la reducción de nitratos. En este estudio, se obtuvieron diferencias significativas destacando la dosis de NPs de Fe a 100 ppm, con un incremento del 40% respecto al control (Figura 1b). De acuerdo con Drostkar *et al.*, (2016), indicó que la aplicación foliar de NPs de óxido de hierro (Fe_2O_3) mostraron un aumento del 47% en el rendimiento del cultivo de garbanzo en comparación con el control. Esto puede deberse a que la rápida liberación de NPs de hierro puede llevar a rasgos fisiológicos elevados, que pueden ser benéficos para los cultivos, como un mayor rendimiento, en comparación a las fuentes convencionales de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ y Fe-EDDHA.

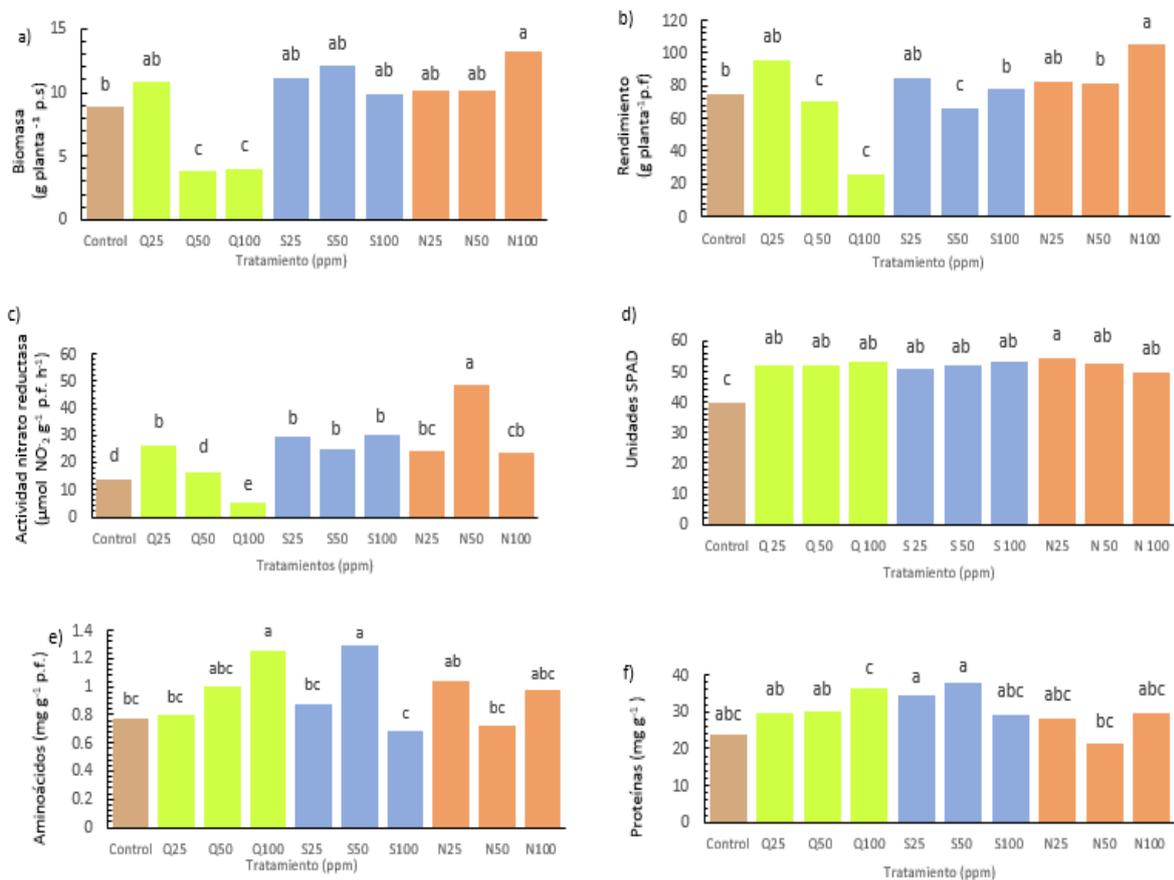


Figura 1. Características de planta.

Asimilación de nitrógeno

El hierro es fundamental para la reducción de nitratos al ser un componente esencial de la enzima nitrato reductasa, clave en la asimilación del nitrógeno en las plantas (Yaneva *et al.*, 2000). En el presente estudio, se encontraron diferencias significativas para la variable de asimilación de N, destacando la aplicación de NPs a dosis de 50 ppm con un incremento del 246.2% respecto al control (Figura 1c). De acuerdo con Marschner, (2011), cuando las plantas asimilan correctamente el nitrógeno, se refleja directamente en un mayor rendimiento.

Índice de clorofila

La cuantificación de los valores SPAD constituye un método rápido y no destructivo para evaluar los niveles de clorofila en las plantas, permitiendo inferir su estado nutricional. En el presente estudio, la aplicación de Fe incrementó los valores SPAD destacando el tratamiento de NPs de Fe a dosis de 25 ppm, con un incremento de 36.62% respecto al control (Figura 1d). Estos resultados concuerdan con Rui *et al.*, (2016), quienes reportan un incremento del 35.25% en los valores SPAD en el cultivo de cacahuate al aplicar nanopartículas de Fe₂O₃.

Concentración de aminoácidos y proteínas solubles

Fe está involucrado en diversos procesos metabólicos, precursores de la síntesis de proteínas y aminoácidos solubles, esenciales para el crecimiento y desarrollo vegetal. En el presente estudio, no se encontraron diferencias estadísticas significativas en la concentración de aminoácidos entre las fuentes aplicadas respecto al control. Sin embargo, destacan los tratamientos de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ a dosis de 50 ppm con un incremento del 68.61%, seguido del Fe-EDDHA a 100 ppm con un aumento del 63.09%, finalmente, NPs de Fe a dosis de 25 ppm con incrementos de 34.58% respecto al control (Figura 1e). Con respecto a la concentración de proteínas solubles, las dosis más efectivas por fuente fueron $\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_3$ a 50 ppm, con un incremento del 59.3%, seguido de Fe-EDDHA a 100 ppm con un aumento del 53.6%, y nanopartículas de Fe a 100 ppm con un incremento del 25.5% respecto al control (Figura 1f). Según Wang *et al.*, (2019), estas variaciones pueden estar relacionadas con el estrés oxidativo, ya que las plantas producen proteínas como mecanismo de adaptación a diferentes tipos de estrés.

CONCLUSIÓN

La aplicación de NPs de Fe a 50 ppm mostró en los parámetros de asimilación de N y rendimiento incrementos del 246.2% y 48.66% respectivamente. Para el índice de clorofila mejoras del 36.62% en la dosis de NPs a 25 ppm respecto al control, lo que indica una mejora en la absorción de nutrientes. Además, aunque la fuente de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ a 50 ppm reveló el mayor aumento en el contenido de proteínas solubles (59.3%). Finalmente, las NPs de Fe muestran ser una alternativa viable al permitir reducir dosis en comparación con las fuentes convencionales de Fe, minimizando así posibles toxicidades y presentar un potencial significativo como fertilizantes para optimizar el rendimiento y asimilación de N en el cultivo de espinaca, contribuyendo a prácticas agrícolas más sostenibles.

BIBLIOGRAFÍA

- Adeleke, R., & Babalola, O. O. (2020). "Nanoparticles in Agriculture: Opportunities and Challenges." *Agronomy*, 10(7), 1175. DOI: 10.3390/agronomy10081175.
- Drostkar, E., Talebi, R., & Kanouni, H. (2016). Foliar application of Fe, Zn and NPK nano-fertilizers on seed yield and morphological traits in chickpea under rainfed condition.
- Fraceto, L. F., Grillo, R., de Medeiros, G. A., Scognamiglio, V., Rea, G., & Bartolucci, C. (2016). Nanotechnology in agriculture: which innovation potential does it have?. *Frontiers in Environmental Science*, 4, 20.
- Gutiérrez-Ruelas, N. J. ., Palacio-Márquez, A. ., Sánchez, E., Muñoz-Márquez, E. ., Chávez-Mendoza, C., Ojeda-Barrios, D. L., & Flores-Córdova, M. A. (2021). Impact Of The Foliar Application Of Nanoparticles, Sulfate And Iron Chelate On The Growth, Yield And Nitrogen Assimilation In Green Beans. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 49(3), 12437.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Guillén-Enríquez, Reyna Roxana, Zuñiga-Estrada, Lamberto, Ojeda-Barrios, Damaris Leopoldina, Rivas-García, Tomas, Trejo-Valencia, Redamés, & Preciado-Rangel, Pablo. (2022). Efecto de la nanobiofortificación con hierro en el rendimiento y compuestos bioactivos en pepino. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13 (spe28), 173-184. Epub 13 de enero de 2023.
- Mahakham, W., Sarmah, A. K., Maensiri, S., & Theerakulpisut, P. (2017). Nanoprimering technology for enhancing germination and starch metabolism of aged rice seeds using phytosynthesized silver nanoparticles. *Scientific Reports*, 7(1).
- Sánchez-Alcalá, I., del Campillo, M. D., Barrón, V., and Torrent, J. (2014). Evaluation of preflooding effects on iron extractability and phytoavailability in highly calcareous soil in containers. *Plant Nutr. Soil Sci.* 177, 150-158.
- Vasconcelos, M. W., and Grusak, M. A. (2014). Morpho-physiological parameters affecting iron deficiency chlorosis in soybean (*Glycine max* L.). *Plant Soil* 374, 161-172.
- Raigon M.D., García-Martínez M.D., Guerrero C. y Esteve P. (2006). Actividad de NR y su relación con los factores productivos en lechuga.: VII Congreso SEAE. Zaragoza, España. 157: 1-11.
- Rout, G. R., & Sahoo, S. (2015). role of iron in plant growth and metabolism. *Reviews in Agricultural Science*, 3(0), 1-24.
- Rui M, Ma C, Hao Y, Guo J, Rui Y, Tang X, Zhao Q, Fan X, Zhang Z, Hou T and Zhu S (2016) Iron Oxide Nanoparticles as a Potential Iron Fertilizer for Peanut (*Arachis hypogaea*). *Front. Plant Sci.* 7:815.
- Yaneva I.A., Baydanova V.D. y Vunkova-Radeva R.V. (2000). Nitrate reductase activation state in leaves of molybdenum-deficient winter wheat. *Journal of Plant Physiology.* 157(5): 495- 501.
- Wang, Y., Wang, S., Xu, M., Xiao, L., Dai, Z., & Li, J. (2019). The impacts of γ -Fe₂O₃ and Fe₃O₄ nanoparticles on the physiology and fruit quality of muskmelon (*Cucumis melo*) plants. *Environmental Pollution*.

BIOESTIMULACIÓN CON NANOPARTÍCULAS DE QUITOSANO EN EL CULTIVO DE MELÓN

Edgar Rafael Marín-Gómez¹, Leticia Alfaro-Hernández¹,
Pablo Preciado-Rangel¹, Elizabeth Macías-Cortés²

¹Tecnológico Nacional de México Campus-Instituto Tecnológico de Torreon Carretera Torreon-San Pedro km 7.5, ejido Ana, Torreon, Coahuila, México. CP. 27170

²Tecnológico Nacional de México campus Lerdo - Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez - Lerdo Km. 14.5, Lerdo, Durango, México. C.P. 35150
rmaringomez54@gmail.com

RESUMEN

La bioestimulación de cultivos agrícolas con nanomateriales se ha posicionado como una técnica agronómica que mejora la calidad de los productos cosechados. En la presente investigación, se evaluó la utilización de nanopartículas de quitosano (NPsCS) en frutos de melón. Los tratamientos consistieron en la aplicación foliar de cuatro dosis crecientes de NPsCS: 0.2, 0.4, 0.6 y 0.8 mg mL⁻¹ y un tratamiento control (agua destilada). En la cosecha se estimó el rendimiento, peso de fruto, sólidos solubles totales y la firmeza de los frutos de melón. Los resultados indicaron que una dosis intermedia (0.4 mg mL⁻¹) eleva el contenido de sólidos solubles totales y con la dosis más alta incrementa la firmeza de la pulpa. La bioestimulación del cultivo de melón con NPsCS permite mejorar la calidad del fruto sin afectar el rendimiento.

PALABRAS CLAVE

Aplicación foliar, Nanomateriales, *Cucumis melo* L.

INTRODUCCIÓN

Mejorar e incrementar las características nutricionales de los productos agrícolas es una realidad que actualmente se tiene al alcance, esto gracias a la bioestimulación de cultivos con diversos materiales de origen orgánico o inorgánico, esta técnica agronómica permite incrementar la biosíntesis de compuestos activos en los productos agrícolas con beneficios potenciales en la salud de la población (De Groote *et al.*, 2021). Se han estudiado una diversidad de materiales con capacidad bioestimulante y en su mayoría estos provienen de materiales orgánicos y los componentes constituyentes varían, pero sus efectos se enfocan principalmente en procesos fisiológicos, en la mejora de la actividad metabólica, contribuyendo a procesos de absorción de nutrientes, síntesis de compuestos bioactivos y el incremento de la productividad (Cabrera *et al.*, 2022). La nanotecnología se enfoca a la creación, diseño y caracterización de estructuras y sistemas en un complejo de modificación de la materia a escala nanométrica (Mendoza y Rodríguez, 2007). Esta tecnología ofrece una gama amplia de posibilidades para la agronomía como lo es la disminución en el uso de fertilizantes químicos que repercuten de manera negativa en el agroecosistema (Chhipa, 2019), o efectos directos en los vegetales como son los cambios en la morfología y fisiología de estos (Magdaleno *et al.*, 2023).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Las nanopartículas de quitosano se han utilizado con éxito en diferentes especies vegetales, entre ellos se puede mencionar cereales, ornamentales y diversos cultivos hortícolas. El quitosano ha demostrado ser un bioestimulante de origen natural el cual causa diversas respuestas positivas según su estructura y las dosis de aplicación resaltando que la aspersión foliar es el método con mayor eficiencia (Ruíz *et al.*, 2019). El biopolímero quitosano está compuesto por macronutrientes como N, C, O, P, los cuales son promotores de la elongación celular, la actividad enzimática y la síntesis de proteínas, procesos que fisiológicamente ayudan a incrementar la producción (Ramírez *et al.*, 2024). Por otro lado, el melón (*Cucumis melo* L.), es una, el fruto que aporta diferentes beneficios a la salud, es abundante en agua, lípidos, proteínas, contiene altos contenidos de vitamina C y beta-carotenos (Maiaetti, *et al.*, 2012). Este cultivo es muy importante especialmente en el norte del país motivo por el cual es necesario la implementación de técnicas novedosas que permitan incrementar los rendimientos y la calidad y ser respetuosos con el medio ambiente. Con base en lo anteriormente descrito el objetivo del presente trabajo de investigación consistió en evaluar el efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de quitosano y su efecto en el rendimiento y calidad biofísica de frutos de melón.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio y material vegetal

El experimento fue realizado en el Ejido Concordia perteneciente al municipio de San Pedro en el estado de Coahuila de Zaragoza (25° 48'31" latitud norte y 103° 5'56.4" longitud oeste, altitud 1,016 msnm). En la región la temperatura anual oscila entre 22 y 24°C y una precipitación anual de 125-400 mm. El suelo presenta una textura franco-limosa; densidad aparente de 1.56 g cm³; pH 7.63 y C.E. de 4.28 dS m⁻¹. Se utilizaron bordos de doble hilera formando camas a una distancia de 4 m entre bordes y una separación entre plantas de 30 cm obteniendo 16, 665 plantas por hectárea. La siembra y labores culturales fueron las prácticas estándar de la región, barbecho, cultivo cruzado y nivelación en condiciones de cielo abierto con acolchado y riego por cintilla. El material utilizado fue melón cv crusier.

Tratamientos y diseño experimental

Se aplicaron de manera foliar cuatro dosis crecientes de nanopartículas de quitosano (0.2, 0.4, 0.6, 0.8 mg mL⁻¹) y un testigo (agua destilada) utilizando un diseño en bloques completos al azar. Cada tratamiento tuvo seis repeticiones por lo que se contó con un total de 30 unidades experimentales (cada unidad experimental de 4 m lineales con un promedio de 14 plantas). Se realizó una primera aplicación después del trasplante con un intervalo de 15 días con cuatro aplicaciones en total.

Variables evaluadas

En la cosecha se eligieron tres melones al azar por tratamiento y repetición, los cuales fueron sometidos a evaluaciones físicas para determinar el efecto de las nanopartículas en los parámetros comerciales del fruto de melón.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

En la cosecha se estimó el rendimiento cuantificando todos los frutos a madures comercial de todas las unidades experimentales, el peso de cada fruto (PF) fue estimado con una báscula Gutstark® modelo 10, con capacidad de 40 kg. Los sólidos se determinaron tomando una muestra de la pulpa de melón y se colocó una gota sobre el vidrio de un Refractómetro óptico AT-Master53T (Twiligh® USA), para ser reportados en °Brix. La firmeza de fruto se estimó en tres frutos de cada repetición con un penetrómetro Extech® (FHT200), utilizando una punta o embolo de 8 mm, los resultados se reportaron como fuerza máxima de compresión (N). Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El peso de fruto y el rendimiento no fueron afectados por la utilización de nanopartículas de quitosano, aunque en dosis más alta se incrementa el diámetro polar y por consiguiente el peso del fruto, tal como lo reporta Jiménez *et al.* (2015) al aplicar quitosano en el cultivo de tomate. Los sólidos solubles en la pulpa de melón fue mejorada significativamente con la dosis de 0.4 mg mL^{-1} . Iriti *et al.* (2009), indican que esta respuesta se debe a que el quitosano afecta positivamente la clorofila y mejora la tasa fotosintética de las plantas. Con relación a la firmeza del fruto, esta se mejora con la dosis de 0.8 mg mL^{-1} , esta mejora es atribuida a la capacidad del nanoquitosano para disminuir la tasa de respiración de frutos cosechados (Ali *et al.*, 2010), inhibiendo la degradación de la pectina, proceso que es asociado a la disminución de la firmeza de los frutos (García *et al.*, 2014).

Cuadro 1. Valores promedio de Rendimiento, Peso de fruto (PF), Sólidos solubles (SS) y Firmeza (FF) en frutos de melón por el efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de quitosano.

NPcCS	Rendimiento	PF	SS	FF
mg mL^{-1}	ton ha^{-1}	kg	°Brix	Newton
Testigo	22.22a	1.568a	10.1667b	11.583c
0.2	23.98a	1.525a	10.0000b	12.330abc
0.4	18.32a	1.568a	12.0000a*	11.842bc
0.6	22.99a	1.546a	11.3333b	14.758ab
0.8	21.15a	1.546a	10.5000b	15.158a*

*medias con letra distinta dentro de una misma columna indican diferencia significativa (Tukey; $p \leq 0.05$)

CONCLUSIONES

La aspersión foliar de nanoquitosano afecta positivamente la calidad biofísica de frutos de melón. Dosis intermedias de 0.4 mg mL^{-1} elevan los sólidos solubles, mientras que una dosis alta de 0.8 mg mL^{-1} mejora la firmeza de la pulpa. La bioestimulación foliar del cultivo de melón con NPcCS permite mejorar la calidad del fruto sin afectar el rendimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Ali, A., Maqbool, M., Ramachandran, S., & Alderson, P. (2010). Gum arabic as a novel edible coating for enhancing shelf-life and improving postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 58, 42-47. doi: <http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.05.005>
- Cabrera Barros, J. S., Yáñez Araujo, E. A., & García Batista, R. M. (2022). Efecto en las aplicaciones de tres bioestimulantes en la germinación y desarrollo de especies hortícolas. *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(3), 27-40. Obtenido de <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/559>
- Chakraborty, M., Hasanuzzaman, M., Rahman, M., Khan, M., Rahman, A., & Bhowmik, P. (2020). Mechanism of plant growth promotion and disease suppression by chitosan biopolymer. *Agric*, 10(12), 624.
- Chhipa, H. (2019). Applications of nanotechnology in agriculture, in methods in microbiology (First edition ed.). London, , United Kingdom: Academic Press.
- De Groote, H., Tessema, M., Gameda, S., & Guanaratna, N. S. (2021). Soil zinc, serum zinc, and the potential for agronomic biofortification to reduce human zinc deficiency in Ethiopia. *Scientific Reports*, 11(1), 8770.
- García, M., Casariego, A., Díaz, R., & Robledo, L. (2014). Effect of edible chitosan/zeolite coating on tomatoes quality during refrigerated storage. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 26(3), 238-246. doi: <https://doi.org/10.9755/ejfa.v26i.16620>
- Iriti, M., Picch, I. V., Rossoni, M., Gomarasca, S., Ludwig, N., Gargano, M., & Faoro, F. (2009). Chitosan antitranspirant activity is due to abscisic acid dependent stomatal closure. *Environ Exp. Bot*, 66(3), 493-500.
- Jiménez Arteaga, M. C., Terrero Soler, J. C., González Gómez, L. G., Paz Martínez, I., & Falcón Rodríguez, A. (2015). Evaluación de la aplicación de quitosana sobre parámetros agronómicos del cultivo de tomate H-3108 (*Solanum lycopersicum* L.) en casas de cultivos protegidos. *Centro Agrícola*, 42(3), 81-88.
- Magdaleno García, G., Juárez Maldonado, A., Betancourt Galindo, R., Gonzáles Morales, S., Sánchez Vega, M., Cabrera De la Fuente, M., & Méndez Lopez, A. (2023). Aplicación de nanopartículas de óxido de zinc y cloruro de sodio en chile pimienta. *Ecosistemas Y Recursos Agropecuarios*(3), 1-17. doi: <https://doi.org/10.19136/era.a10nIII.3679>
- Maiaetti, A., Tedeschi, P., Stagno, C., Bordiga, M., Travaglia, F., Locatelli, M., & Brandolini, V. (2012). Analytical traceability of melon (*Cucumis melo* var *reticulatus*): proximate composition, bioactive compounds and antioxidant capacity in relation to cultivar, plant physiology state and seasonal variability. *J. Food Sci*, 77(6), 646-652. Obtenido de [10.1111/j.1750-3841.2012.02712.x](https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02712.x).
- Mendoza, U. G., & Rodríguez López, J. L. (2007). La nanociencia y la nanotecnología: una revolución en curso. *Perfiles Latinoamericanos*, ISSN: 0188-7653, 14(29), 161-186.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Rámirez Rodríguez , S., Preciado Rangel , P., Cabrera De la Fuente, M., Gonzáles Morales , S., & Ortega Ortíz, H. (2024). Nanopartículas de quitosano como bioestimulante en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Phyton-Revista Internacional de Botánica Experimental*, 93(4), 777-787. doi:<https://doi.org/10.32604/phyton.2024.048096>
- Ruíz Cruz, S., Valenzuela López, C. C., Chaparro Hernández, S., Ornelas Paz, J., Del Toro Sánchez, C. L., Márquez Ríos , E., . . . Valdez Hurtado, S. (2019). Effects of chitosan-tomato plant extract edible coatings on the quality and shelf life of chicken fillets during refrigerated storage. *Food Science and Technology*, 103-111. doi:<https://doi.org/10.1590/fst.23117>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). Panorama agroalimentario. Ciudad de México. Obtenido de https://drive.google.com/file/d/1FWHntHMgju_uOse_MsOF9jZQDAm_FOD9/view

BIOMASA MICROBIANA: MEDIADORES DE FÓSFORO LÁBIL EN EL SUELO

Daniel Tinoco Varela¹; Oneyda Hernández Lara²; Jeannette Sofía Bayuelo Jiménez¹

¹Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Carretera Morelia-Zinapécuaro km 9.5. 58850 Tarímbaro, Michoacán, México.
bayuelo@umich.mx

² Instituto de Suelos, La Habana, Cuba.

RESUMEN

Los microorganismos constituyen una reserva importante de fósforo (P) en el suelo y median procesos clave como la mineralización de fuentes orgánicas (Po). Se evaluó el aporte de fósforo proveniente de la biomasa microbiana en un suelo ácido con uso agrícola y adición de residuos vegetales (sorgo, frijol y hojarasca de aguacate). Las muestras de suelo con manejo en calle y cajete se incubaron a 28 °C y 65 % de capacidad de campo durante 14 días. Posteriormente, se adicionó el residuo vegetal y se cuantificó el P microbiano a los 1, 35, 40 y 90 días. La concentración de P microbiano fue mayor en el suelo con residuos vegetales (de 3 a 4.3 mg kg⁻¹) que sin éstos (de 1.4 a 3 mg kg⁻¹). Los residuos de sorgo y frijol, con alto contenido de P (0.9 y 1 mg kg⁻¹) y baja relación C: P (39) promovieron un incremento de P de la biomasa microbiana. En el suelo cultivado en cajete, el P microbiano representó entre 2.4 y 2.6 % del P total; mientras que, en el suelo cultivado en calle, la proporción fue menor, de 0.6 a 1.2 %. Los residuos vegetales con una baja relación C: P estimulan el ciclaje de P, particularmente lábil, incrementando el P microbiano en el suelo arable. Los resultados confirman el papel de la biomasa microbiana en el ciclaje de P en suelos ácidos.

PALABRAS CLAVE

Andisoles; Manejo del suelo; Mineralización; Sistemas agrícolas; Ciclaje.

INTRODUCCIÓN

Diversos factores antrópicos como el inadecuado uso de prácticas agrícolas y cambio en el uso de los suelos ácidos, aminoran su calidad física, química y biológica (Maranguit *et al.*, 2017). Estos factores alteran, particularmente, el funcionamiento de la biomasa microbiana en el suelo y el ciclaje de sus nutrientes, particularmente del fósforo (P) (Spohn *et al.*, 2013). La agricultura de conservación es una valiosa estrategia que mitiga la pérdida de la calidad del suelo, promueve la mayor diversidad de microorganismos y acelera los procesos de mineralización de los nutrientes (Smith *et al.*, 2016; Verhulst *et al.*, 2015). De hecho, una de las reservas más importantes de P en el suelo, provienen de los microorganismos. Éstos intervienen en diversos procesos biológicos que modulan la mineralización del P orgánico (Anriquez *et al.*, 2017). En sistemas naturales, los microorganismos aportan Po en el orden de 8 a 24 % del P total, mientras que, en suelos agrícolas, el aporte es de 0.5 a 2.5 % P total (Bünemann, 2015; Kruse *et al.*, 2015). En consecuencia, se espera que, entre mayor sea el aporte de

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

residuos orgánicos al suelo, mayor será el aporte de P proveniente de la biomasa microbiana. En este estudio se evaluó la concentración de P inorgánico proveniente de la biomasa microbiana de un suelo ácido con uso agrícola y adición de residuos vegetales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio: Se incluyó un sistema agrícola de monocultivo de aguacate (*Persea americana* Mill) situado en Ario Rosales (19°13' N y 101°39' O), en Michoacán, México. El clima templado sub-húmedo con lluvias en verano prevalece en esta región. Se distinguen suelos de tipo Andisol (Soil Survey Staff, 1999) con reducida disponibilidad de iones fosfato. El suelo se muestreó en una superficie de 1 ha. Después de su colecta, se secó y tamizó (< 2 mm). El estudio incluyó dos usos de suelo agrícola: en calle y cajete y cuatro tratamientos de manejo agrícola con aporte de residuos vegetales: Sin residuo (SR), residuo de sorgo (*Sorghum bicolor* L., Sb), frijol (*Phaseolus vulgaris* L., Pv) y hojarasca de aguacate (*Persea americana* Mill, Pa).

Incubación del suelo: El suelo se incubó a 28 °C y 65 % de capacidad de campo durante 14 días antes de la aplicación del residuo vegetal con la finalidad de restablecer la actividad microbiana. Posteriormente, se adicionó el residuo vegetal correspondiente y se cuantificó el P microbiano durante 1, 30, 45 y 90 días.

Fósforo de la biomasa microbiana: Se utilizó el método de Morel *et al.* (1996) para cuantificar el P proveniente de la biomasa microbiana del suelo de acuerdo con su uso y manejo. Se utilizó un triplicado de 0.5 g de suelo de cada muestra para la extracción de P. El P disponible (Resina-Pi) se extrajo mediante resinas de intercambio aniónico. Después se lisaron las membranas de los microorganismos con CHCl₃ concentrado (conjunto A) y H₂O desionizada (conjuntos B y C). El extractante de NaHCO₃ 0.5 M se adicionó a los conjuntos A y B; mientras que, el NaHCO₃ 0.5 M + 50 ml de una solución madre de 1000 mg P L⁻¹ se le agregó al conjunto C. Después de 16 h de agitación, se determinó el Pi de cada conjunto. El P microbiano se cuantificó de acuerdo con la fórmula: P microbiano = 50 * (PA - PB) / 0.40 * (PC - PB). Donde PA, PB y PC corresponde al Pi de cada conjunto.

Análisis estadístico: Las diferencias significativas entre uso de suelo y tipo de residuos de cada variable evaluada, se realizó con la prueba de F (SAS, 2000). La prueba de Tukey sirvió para identificar las diferencias entre las medias de las variables evaluadas (SAS, 2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La adición de residuos vegetales incrementó en 25 % el contenido de P microbiano en el perfil del suelo agrícola (Figura 1). La aportación, sin embargo, fue mayor en el mantillo de calle (de 3 a 5 mg kg⁻¹) y cajete (de 6 a 7 mg kg⁻¹) e irrelevante en el suelo (de 1.7 a 2.6 mg kg⁻¹). En el primer día de incubación, dicho incremento se atribuyó al ingreso de residuos de frijol y sorgo. Posteriormente, el aporte fue indistinto del tipo de residuo aplicado. Entre los 30 y 45 ddi, el P microbiano aumentó de 2 a 6 mg kg⁻¹ y de 2 a 4 mg kg⁻¹ en todos los usos de suelo, excepto en el mantillo en cajete.

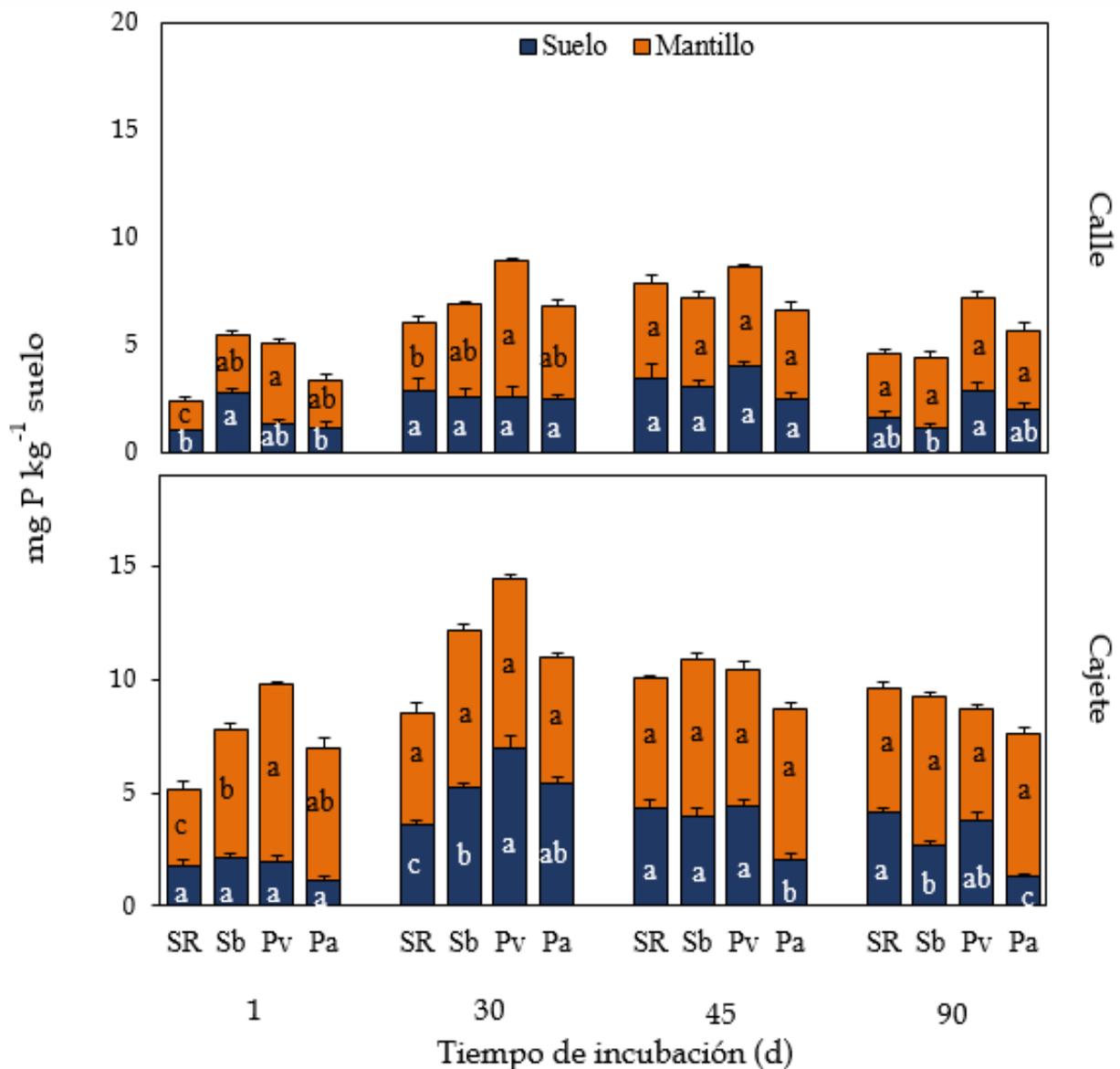


Figura 1. Fósforo en la biomasa microbiana en calle y cajete con residuos vegetales, sin residuo (SR), sorgo (Sb), frijol (Pv) y hojarasca de aguacate (Pa). 1, 30, 45 y 90 días después de la incubación con el residuo vegetal. Medias seguidas de diferente letra entre cada residuo, son estadísticamente diferentes entre sí (Tukey, 0.05). Las medias son el promedio de tres repeticiones ($n = 3$).

La fase inicial de incremento del P microbiano se debió a la adición de C del residuo que acrecentó el crecimiento microbiano y, consecuentemente, a la absorción de P. Bünemann *et al.* (2016) señalaron que el 25 % de ^{33}P que se detectó en la biomasa microbiana, provino del residuo adicionado al suelo, después de 7 ddi. La correlación negativa entre la relación C: P del residuo y P microbiano ($r = 0.54^*$) sugiere que los residuos con una baja relación (C: P = 39) favorecieron la absorción de P microbiano.

El P total y la relación de C: P del residuo afectaron la concentración del P microbiano. Esta concentración se correlacionó positivamente con el P total ($r = 0.58^*$) y negativamente con la relación de C: P ($r = 0.55^*$). Lo anterior es congruente a lo

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

reportado por Kwabiah *et al.* (2003). En dicho estudio se demostró que, para predecir la absorción de P por parte de la biomasa microbiana, es mejor utilizar el P total del residuo vegetal en lugar de la relación C: P. En términos generales, hasta el 75 % del P microbiano se encuentra vinculado a los ácidos nucleicos, 20 % a monoésteres-P y 5 % a fosfolípidos (Kruse *et al.*, 2015). En este estudio, se encontró que, en suelos agrícolas con manejo orgánico, la proporción del P microbiano con respecto al P total fue mayor (de 2.4 a 2.6 %) a la que prevaleció en suelos con manejo convencional (de 0.6 a 1.2 %) (Oehl *et al.*, 2004; Randriamanantsoa *et al.*, 2015; Bayuelo-Jiménez *et al.*, 2019). Esto último confirma la importancia del P microbiano en la reserva de P lábil en el suelo.

CONCLUSIONES

La adición de residuos vegetales con una baja relación C: P promovió mayor actividad microbiana (respiración) y estimuló la absorción de P microbiano al inicio de la incubación del suelo. Los residuos (sorgo y frijol) con alta concentración de P total (1.1 %) y baja relación C: P (45:1) se degradaron más rápido y liberaron más P que los residuos con menos P (0.2 %) y alta relación C: P (225:1) (hojarasca de aguacate) debido a que se cubrió la demanda de P de la biomasa microbiana y, por tanto, la mineralización de P.

AGRADECIMIENTOS

A la Coordinación de Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (6.11/2021-2022). Al Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Michoacán (ICTI-PICIR23-096).

BIBLIOGRAFÍA

- Anriquez, A., Barreto, G., Silberman, J., Domínguez, N. y Nuñez, J.D. (2017). Abundancia y actividad microbiana del suelo en sistemas silvopastoriles de la región chaqueña. *Agrotecnia*, 25: 54.
- Bayuelo-Jiménez, J. S., Muraoka, T., de la Cruz-Torres, E., Quintero-Ponce, E., Paredes-Gutiérrez, L.C, y Zaman, M. (2019). Phosphorus fractions and dynamics as affected by land-use changes in the Central Mexican highlands. *Soil Use and Management*, 36, 240-249.
- Bünemann, E.K., Augstburger, S. & Frossard, E. (2016). Dominance of either physicochemical or biological phosphorus cycling processes in temperate forest soils of contrasting phosphate availability. *Soil Biology and Biochemistry*, 101, 85-95.
- Bünemann, E. (2015). Assessment of gross and net mineralization rates of soil organic phosphorus - A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 89, 82-98.
- Kwabiah, A. B., Palm, C. A., Stoskopf, N. C. & Voroney, R. P. (2003). Response of soil microbial biomass dynamics to quality of plant materials with emphasis on P availability. *Soil Biology and Biochemistry* 35, 207-216.
- Maranguit, D., Guillaume, T. y Kuzyakov, Y. (2017). Land-use affects phosphorus fractions in highly weathered tropical soils. *Catena*, 149, 385-393.
- Morel, C., Tiessen, H., & Stewart, J. W. B. (1996). Correction for P-sorption in the measurement of soil microbial biomass P by CHCl₃ fumigation. *Soil Biology and Biochemistry*, 28(12), 1699-1706.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Oehl, F., Frossard, E., Fließbach, A., Dubois, D. & Oberson, A. (2004). Basal organic phosphorus mineralization in soils under different farming systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 36, 667-675.
- Randriamanantsoa, L., Frossard, E., Oberson, A. & Bünemann, E. K. (2015). Gross organic phosphorus mineralization rates can be assessed in a ferralsol using an isotopic dilution method. *Geoderma*, 257-258, 86-93.
- SAS Institute. 2000. SAS/SAT user's guide: statistics. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Spohn, M., Ermak, A. y Kuzyakov, Y. (2013). Microbial gross organic phosphorus mineralization can be stimulated by root exudates - a ^{33}P isotopic dilution study. *Soil Biology and Biochemistry*, 65, 254-263.
- Smith, C. R., Blair, P. L., Boyd, C., Cody, B., Hazel, A., Hedrick, A., Kathuria, H., Khurana, P., Kramer, B., Muterspaw, K., Peck, C., Sells, E., Skinner, J., Tegeler, C. y Wolfe, Z. (2016). Microbial community responses to soil tillage and crop rotation in a corn/soybean agroecosystem. *Ecology and Evolution* 6, 8075-8084.
- Soil Survey Staff. (1999). Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for marking and interpreting soil survey. Agriculture Handbook 436. United Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Washington, D. C. United States.
- Verhulst, N., François, I. & Govaerts, B. (2015). Agricultura de conservación y captura de carbono en el suelo: Entre el mito y la realidad del agricultor. Mas Agro. D.F., México.

CHEMICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF NITROGEN LOSS IN A WATERSHED UNDER NO-TILLAGE WITHOUT TERRACING

Edson Lucas Camilo¹; Renata Alessandra Martins Borecki¹;
Vinicius Zanlorenzi¹; Leonardo Catapan¹; Miguel David Fuentes Guevara¹;
Cristiano Andre Pott¹; Nerilde Favaretto²; Marcelo Marques Lopes Muller¹

¹Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO), Departamento de Agronomia, Alameda Élio Antonio Dalla Vecchia - 838, 85.040-167, Vila Carli, Guarapuava-PR, Brasil, boreckirenata12@gmail.com; ²Universidade Federal do Paraná (UFPR), Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Rua dos Funcionários - 1540, 80.035-050, Cabral, Curitiba-PR, Brasil, nfavaretto@ufpr.br.

ABSTRACT

To conserve the soil and to reduce the impacts of erosion on soil and water are relevant topics, both for production and for the environment, and also for the economy. Despite of controlling soil erosion, no-tillage (NT) may present significant losses of water and nitrogen (N) through surface runoff, especially on the absence of terraces. This study aimed to evaluate N losses of a watershed of southern Brazil. Daily water samples were collected from a river in a watershed under NT with no terraces, during summer crop season of 2022/2023. Both the N content of the samples and river flow were evaluated, in order to estimate total N loss and the reposition cost (RC). The largest portion of N loss was particulate-N, while in the soluble-N fraction, N-NO₃⁻ prevailed over N-NH₄⁺. The RC of total N loss for the watershed in the period was estimated at U\$ 993.60. The observed loss highlights the necessity of additional conservationist practices to complement NT, such as terracing, a mechanical practice that is quite efficient in controlling water erosion.

KEYWORDS

Ammonium; Nitrate; Water erosion; Water quality.

INTRODUCTION

The conservation of natural resources is a rising concern, specially at the context of food security and climate change. Conservation research began in Brazil in the 1960s and intensified with the implementation of public policies in the 1980s, particularly in Paraná, pioneer state on terracing and no-tillage (NT) research (Pellegrini & Barbosa, 2022).

In South America, NT was recommended as NT system (NTS), with three principles: crop rotation, no soil mobilization and soil mulching by crop residues, to reduce raindrop impact on soil aggregates. This system reduces soil loss through surface runoff and increases soil organic matter content (Almeida *et al.*, 2016). However, concomitant with the adoption of simple NT, conservation practices like terracing were gradually discontinued along decades, even with studies showing that surface runoff reduction under NT is more effective to controls soil losses compared to water and nutrient losses (Cogo *et al.*, 2003; Oliveira *et al.*, 2012).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Terracing, by reducing ramp length and the speed of water runoff, reduces surface runoff and promotes water storage (Freitas, 2020). Therefore, river water quality can be more affected due to absence of terraces in NT areas, and greater soil nutrient losses to rivers also imply economic loss, once the need for nutrient reposition through fertilization is increased. This study evaluated nitrogen (N) water content and losses through river flow in a watershed managed under NT without terracing in southern Brazil, also estimating reposition cost of N lost.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted in a watershed with an area of 118,8 ha, located in the district of Entre Rios, Guarapuava - Paraná. The local climate is Cfb (Köppen), with average annual precipitation close to 2,000 mm (Costa & Andrade, 2017). The analyzed period covered the summer crop season of 2022/2023, with soybean (*Glycine max*), corn (*Zea mays*) and potato (*Solanum tuberosum*) cultivation on the watershed agricultural land.

Between November 2022 and April 2023, samples of the river water were daily collected by means of an automatic sampler (ISCOR® 3700) in a Parshall flume. At the Soils and Plant Nutrition Laboratory of UNICENTRO, the samples were filtered and the contents of total-N (TN), and soluble-N (SN) in the fractions of nitrate (NO_3^-) and ammonium (NH_4^+) were determined. The particulate-N (PN) was estimated from the subtraction of SN content from TN content.

The pluviometric precipitation (rainfall) was monitored using a rain gauge and river flow was measured with a water level data logger, both installed alongside the Parshall flume. N total loss was estimated based on TN data of the samples and river flow data, using the equation 1.

$$Nl = \int_{t_1}^{t_2} QtCt dt \quad (1)$$

Where Nl is the nutrient loss in a given period (t_2-t_1), Qt is the discharge at time t , Ct is nutrient concentration at time t and dt is the infinitesimal time interval.

The reposition cost (RC) of N loss was calculated by means of equation 2, with urea (45% N) as the N source, with a reference cost of US\$ 330.00 Mg^{-1} .

$$RC = \frac{Nl}{\left(\frac{TF}{100}\right)} * P * A \quad (2)$$

Where RC is the reposition cost of the nutrient (US\$ ha), Nl is nutrient loss in the period (Mg^{-1}), TF is content (%) of nutrient in the fertilizer, P is the cost of a Mg^{-1} of the fertilizer (US\$ Mg^{-1}), and A is the contributing area of the watershed (ha^{-1}).

RESULTS AND DISCUSSION

The pluviometric precipitation (PCP) occurred along the study and historical average (1976-2019) for the same period are shown in figure 1. The largest PCP occurred between January and March 2023, with greater volume registered at February (331.83 mm). The observed values differed from the historical average at November 2022 – below average, and at February and March 2023 – above average (Costa & Andrade, 2017; IDR, 2024).

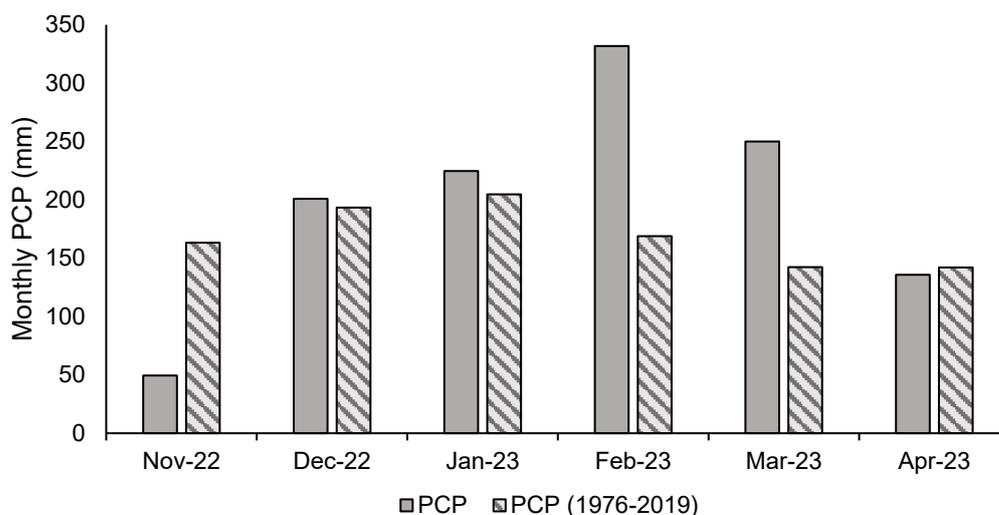


Figure 1. Monthly pluviometric precipitation at the studied period and historical average.

The composition of monthly losses of N is displayed in figure 2. At November 2022 and March 2023, the SN fraction prevailed over the PN fraction in the river water, and NO_3^- was prevalent (Figure 2), corresponding to 63.40% and 48.57% of N losses on those months, respectively. During all the study period, the NO_3^- content prevailed over NH_4^+ content, which is due to the nitrification process and the low adsorption of nitrate to the solid fraction of the soil.

These results differ from Guadagnin *et al.* (2005), who found larger contents of NH_4^+ in comparison to NO_3^- at the surface runoff of a NT area. This is because the authors obtained their result under urea application (amidic-N) at soil surface as top-dressing fertilization, while in the current study there was no N top-dressing in the soil, once soybean was inoculated with *B. japonicum*.

Barbosa *et al.* (2009) observed that after simulated rain, in an area under tillage system, 81% of the NH_4^+ and NO_3^- on the surface runoff water were related to N content at topsoil layer (0–2.5 cm), and urea topdressing for oats had direct impact on the increased water concentration of NH_4^+ .

The largest N losses were observed at January and February 2023, corresponding to 316 and 295 kg of TN, respectively, with 85% and 91% of those losses consisting of PN, indicating that N loss was associated with soil particle transportation in surface runoff (Figure 2). Thus, it becomes evident that surface runoff control is necessary to reduce economic and environmental impacts of water erosion.

The monthly CR of N loss at the studied period is shown in figure 2. At November and December 2022, beginning of summer crop season, CR was inferior to U\$ 75.00 per month. However, with the intensification of rains, in mid-summer between January and March 2023, values of RC increased above U\$ 197.00 per month. The total RC of the watershed was U\$ 993.60 for the six studied months, average of U\$ 8.36 per ha.

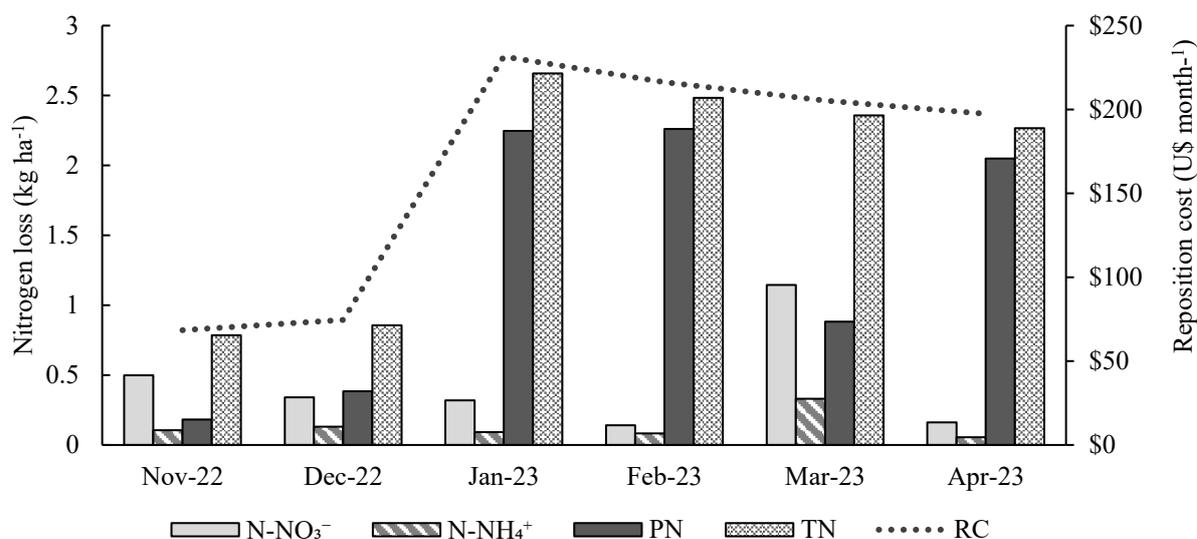


Figure 2. Nitrogen loss (kg ha⁻¹) and reposition cost (U\$ month⁻¹) for N via fertilization, between November 2022 and April 2023 in the watershed.

Studying the relationship between erosion losses and soil management systems, Guadagnin *et al.* (2005) observed that N concentration in sediments was ten times larger than N concentration in water of surface runoff. Utzig *et al.* (2023) noticed that, even in no-till system, sediment losses from surface runoff were 3.1 times greater in areas without terracing than in areas with terraces, highlighting the importance of the association of conservationist practices to reduce economic and environmental impacts of water erosion. Further, according to the authors, the main cause of nutrient loss was surface runoff, which can be reduced by the production and management of plant residues, and by terracing.

CONCLUSIONS

Despite the adoption of no-tillage, nitrogen losses through surface runoff still occur, compromising the quality of water resources and causing economic losses due to the need to resupply the nutrients that were lost. Therefore, it is necessary to combine conservation practices in order to achieve a more efficient and less pollutant agriculture.

ACKNOWLEDGMENTS

FAPA - Cooperativa Agrária for the partnership, and CAPES, CNPq and Fundação Araucária - Paraná for the funding.

BIBLIOGRAPHY

Almeida, W. S. D. *et al.* (2016). Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51, 1110-1119.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Barbosa, F. T. *et al.* (2009). Teor de nitrogênio solúvel na água de erosão hídrica em cultura de aveia e ervilhaca em três formas de semeadura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33, 439-446.
- Cogo, N. P. *et al.* (2003). Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27, 743-753.
- Costa, C. D. & Andrade, A. R. (2017). Dinâmica da precipitação pluviométrica na cidade de Guarapuava, PR: Condicionantes locais e regionais. *Revista Brasileira de Climatologia*, 21.
- Guadagnin, J. C. *et al.* (2005). Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29, 277-286.
- IDR (Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná). (2024) *Dados Meteorológicos Históricos e Atuais*. Accessed August 27, 2024, from: <https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Dados-Meteorologicos-Historicos-e-Atuais>
- Freitas, L. D. R. (2020). *Dinâmica da água no solo em plantio direto com e sem terraço*. [Master's dissertation, Universidade Federal de Santa Maria]. BDTD UFSM. <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/22034>
- Oliveira, J. G. R. D. *et al.* (2012). Erosão no plantio direto: Perda de solo, água e nutrientes. *Boletim de Geografia*, 30(3). 10.4025/bolgeogr.v30i3.17644
- Pellegrini, A. & Barbosa, G. M. D. C. (Ed.). (2023). Manejo e conservação de solo e água: Vol. 1. Formação, implantação e metodologias. SENAR AR/PR.
- Utzig, D. L. *et al.* (2023). Nutrient transport in surface runoff and sediment yield on macroplots and zero-order catchments under no-tillage. *Catena*, 231, 107333.

CHITOSAN EFFECT ON THE GROWTH STIMULATION OF AN IN-VITRO CULTURE OF *vanilla planifolia* ANDREWS

Gabriela Lucero Cuatra-Xicalhua¹; Daniel Tapia-Maruri²; Norma Gabriela Rojas-Avelizapa³; Argelia López Bonilla²; Luz Irene Rojas-Avelizapa^{1*}

¹Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana (Orizaba-Córdoba) Josefa Ortiz de Domínguez S/N. Peñuela, 94945. Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.

²Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, I.P.N. Carretera Yauatepec - Jojutla s/n-km. 85, San Isidro, 62739 San Isidro, Morelos, México.

³ Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, I.P.N. Cerro Blanco 141, Colinas del Cimatario, Querétaro 76090, Querétaro, México.

*Corresponding author: luzrojas@uv.mx

ABSTRACT

Vanilla planifolia Andrews is an orchid of international economic importance to obtain vanillin, a flavored substance mainly used in food and cosmetic industries. The main objective of this study was to evaluate the effect of adding different concentrations of chitosan (15, 20, 25, 30, and 35 ppm) to Murashige and Skoog (MS) media, replacing the use of growth regulators 6-benzylaminopurine (BAP), 1-Naphthaleneacetic acid (NAA) and cysteine. Chitosan was added during the multiplication phase of an *in vitro* culture of *V. planifolia*. The complete MS medium was used as a control of *V. planifolia* growth. Bioassays were carried out using 10 jars for each treatment with three replicates evaluated during 12 weeks. Parameters evaluated were number of sprouts, leaves, and roots. The results showed that the addition of 20 ppm of chitosan to MS culture medium promoted the formation of 10.1 ± 1.1 shoots, 7.1 ± 0.65 leaves, and 4.52 ± 0.5 roots, higher values than observed in the MS control. Chitosan at 15 ppm, also promoted elongation of plants after 4 weeks. For all plants treated with chitosan, an increase in the size, number of chloroplasts, and a greater concentration of chlorophyll was observed (C20 ppm chloroplast diameter 6.27 ± 0.29 ^a and MS 4.57 ± 0.25 ^b, chloroplast length C20 12.57 ± 1.17 ^a and MS 4.47 ± 1.17 ^b). Chitosan stimulates the propagation and *in vitro* growth of Vanilla.

KEYWORDS

Chitosan; Development; Growth; Orchids.

INTRODUCTION

Chitosan is a natural biopolymer of easy degradation having multiple applications in the medical, industrial, cosmetic, biotechnological, and agricultural fields. It has been evaluated in *Dendrobium formosum* Roxb as a growth stimulator, increasing the germination rate of seeds (Kananont *et al.*, 2010). On the other hand, Vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) is a native orchid from the rainforests of Southeastern Mexico and Central America from which vanillin is obtained (Gätjens *et al.*, 2018). Vanillin is the key substance of 200 components, and it is found in a concentration from 1 to 2 % in cured pods (Bory *et al.*, 2008).

In Mexico, the propagation method used for *V. planifolia* is through cuttings, and its plantations are affected by its slow growth, besides pests and diseases, with a loss of vegetal material of around 50 % (Ramirez *et al.*, 2015). An alternative to obtain healthy and pest-resistant plants is the cultivation of plant tissues, although it faces some problems like slow growth and the low number of outbreaks from each explant (Bello-Bello *et al.*, 2015). Thus, this work proposes the use of shrimp waste-chitosan to replace to use of high cost-phytohormones, to stimulate *in-vitro* growth of *V. planifolia* Andrews in the multiplication phase and also to evaluate its effect during the acclimatization phase which is the most critical phase for the culture of plant tissues .

MATERIALS AND METHODS

Chitosan production. Chitin-protein wastes were collected in the municipality of Alvarado, Veracruz, Mexico. One Kg of shrimp exoskeleton was processed to remove the calcium carbonate with a 1.27 N HCl, subsequently was subjected to a deproteinization process with a NaOH 1 %. To obtain chitosan, the chitin was deacetylate with a 50 % (w/w) alkaline solution of NaOH (Olicon *et al.*, 2017).

Plant material used for experimentation. The mother plant was obtained in the municipality of Papantla, Veracruz, Mexico. After the nursery quarantine period, cuttings were collected. The explants were placed in a flask containing 10 mL of surfactant solution (Lee-Espinosa *et al.*, 2008).

In-vitro growth and monitoring. Modified MS medium (without growth regulators) was prepared with different concentrations of chitosan: 15, 20, 25, 30, and 35 ppm. Parameters of temperature between 23 and 26°C during the day and 18°C at night, 16/8-hour photoperiods (light / dark) and light intensity of 25-28 μem^{-1} were maintained (Lee *et al.*, 2008). Ten repetitions were performed of each experimental set with three replicates, evaluating parameters (weeks (number of shoots, leaves and roots) during for 12 weeks. Each experimental data set was subjected to an ANOVA analysis of variance; mean comparisons were performed using the LSD test ($P \leq 0.05$).

Pre-acclimatization of *Vanilla planifolia* Andrews plantlets grown in chitosan. A total of 90 plants were selected chitosan 15,20 ppm and the control (MS medium). The acclimatization process was developed gradually exposing the plants to light, modifying the light hours of 16/8 during two weeks (Hernández *et al.*, 2016).

Acclimatization in greenhouse. Plants were established in a module of 80% shade mesh; in this evaluation, no preventive treatments were applied against the attack of fungi and bacteria. The statistical design was completely randomized with three MS treatments as a control, chitosan at 20 and 15 ppm with 30 repetitions each treatment. The evaluated parameters were stem diameter, height, number of survived plants, and color during three months and data were analyzed with an ANOVA. The mean comparison was performed using the LSD test ($p \leq 0.05$).

Quantification of chlorophyll. The chlorophyll content was determined in leaves according previous reports (Lichtenthaler & Wellburn, 1983; Poorter *et al.*, 2011).

RESULTS

Chitin and chitosan obtention. One Kg of shrimp exoskeleton was used to produce 335.1 g (33.5%) of chitin which was subsequently employed to obtain 227.2 g (22.7 %) of chitosan through a deacetylation process which was stored dried and milled.

Chitosan effect as growth stimulator. Table 1 shows that the greatest increase in the number of shoots was found at a chitosan concentration of 20 ppm (C20). The highest elongation occurred at C15 presenting an average size of 6.4 cm, in comparison with 1.2 cm in the MS control.

Table 1. Effect of chitosan on the in-vitro cultivation of vanilla.

Treatment	Number of shoots	Number of leaves	Number of roots
C15 ppm	9.24 ± 0.97 ^{ab}	6.59 ± 0.69 ^{ab}	2.90 ± 0.48 ^a
C20 ppm	10.1 ± 1.01 ^b	7.1 ± 0.65 ^a	4.01 ± 0.50 ^a
C25 ppm	7.20 ± 1.01 ^{bc}	4.84 ± 0.72 ^b	3.13 ± 0.50 ^a
C30 ppm	6.16 ± 1.01 ^c	4.68 ± 0.72 ^b	3.01 ± 0.50 ^a
C35 ppm	8.35 ± 1.01 ^{abc}	5.50 ± 0.72 ^{ab}	3.07 ± 0.50 ^a
MS	7.49 ± 0.97 ^{abc}	2.25 ± 0.69 ^c	0.05 ± 0.48 ^a

Acclimatization of *Vanilla planifolia* Andrews. During the acclimatization phase, the analysis of variance showed significant differences for the variables plant length, number of leaves and percentage of survival, while the stem diameter did not show significant difference (Table 2).

Table 2. Evaluation of vanilla plants in the acclimatization phase.

Treatments	Plant length	Number of leaves	Stem diameter	Acclimatization survival percentage
C20 ppm	17.15 ± 1.54 ^a	12.57 ± 1.17 ^a	0.52 ± 0.01 ^a	1.06 ± 0.50 ^a
C15 ppm	21.98 ± 1.54 ^b	9.72 ± 1.17 ^{ab}	0.51 ± 0.01 ^a	1.20 ± 0.25 ^b
Ms	4.15 ± 1.54 ^a	4.47 ± 1.17 ^b	0.51 ± 0.01 ^a	1.43 ± 0.50 ^{ab}

Chlorophyll concentration and chloroplasts. During the acclimatization phase, differences in total chlorophyll concentrations were observed between those treatments with chitosan at 15 and 20 ppm, 315 mg/g and 312 mg/g, respectively while the concentration in control was 247 mg/g; in addition to this, the size of the chloroplasts increases for chitosan treatments as it is shown in (Table 3).

Table 3: Evaluation of chloroplast diameter and length.

Treatments	Chloroplast diameter	Chloroplast length
C20 ppm	5.80 ± 0.27 ^a	12.57 ± 1.17 ^a
C15 ppm	6.27 ± 0.29 ^a	9.72 ± 1.17 ^{ab}
MS	4.57 ± 0.25 ^b	4.47 ± 1.17 ^b

DISCUSSION

Bello *et al.*, (2014) report a mean of 7.11 ± 0.31 shoots per explant and Sopalun *et al.*, (2010) assessed the effect of chitosan addition at a concentration of 15 ppm using *G. speciosum*, obtaining an average of 10.2 buds; in the present study, a concentration of 20 ppm of chitosan gave an average from 9.20 to 10.08 shoots, demonstrating the possibility to replace the use of traditional phytohormones. Results obtained in the acclimatization phase are similar to those reported by Hernández *et al.*, (2010) which obtained a 92% survival in a hybridization of *Vanilla* indicating that pre-acclimatized plants with nylon bag have a higher percentage of survival. Plants treated with chitosan at 20 ppm have a survival of 94%, these results exceed those obtained by Ramos *et al.*, (2014) in plants achieved in an immersion system with a survival of 90%. In relation to the plant height, Hernández *et al.*, (2010) reports that the hybridization 195 x 20 had the greatest height (15.75 cm), while in the present study, the plants added with chitosan at 5 ppm reach an average height of 21.80 cm. Regarding the production of roots, an average of 4.52 ± 0.05 was obtained, which is also higher than the one previously reported by Gätjens *et al.*, (2018), who found an average of 2.86 shoots per explant. Some authors like as Malerba & Cerana (2016) studying *Nicotine tabacum* and *Arabidopsis thaliana* mentioned that chitosan induces the synthesis of cytokinins, such as kinetin, promoting cell division and stimulating the number of outbreaks. On the other hand, Uthairatanakij *et al.*, (2007) stated that chitosan induces a signal for the synthesis of gibberellins, which stimulate the elongation of shoots and participate in auxin biosynthesis. It is clear then that the effect of chitosan could depend on the plant species, the origin of the chitosan and/or its degree of deacetylation.

In summary, chitosan at a concentration of 20 ppm and after 12 weeks of *in vitro* culture increases the number of shoots per explant (10.1 ± 1.1 shoots), number of leaves (7.12 ± 0.65 leaves) and number of roots (4.27 ± 0.50 roots) in comparison with the conventional MS medium. The use of chitosan at a concentration of 15 and 25 ppm promotes a greater elongation of the shoots of each explant which reaches 6.5 cm at the fourth week of culture; chitosan acts positively increasing the amount of chlorophyll present in vanilla plants.

REFERENCES

- Bello J., García G., Iglesias L. 2015. *In vitro* conservation of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks.) under slow growth conditions. *Revista fitotecnia mexicana* 38: 165-171. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61038806006>
- Bory S., Michel G., Marie D., Pascale-B., 2008. Biodiversity and preservation of vanilla: Present state of knowledge. *Genetic Resour Crop Evolution*, 55: 551-571. <https://doi.org/10.1007/s10722-007-9260-3>.
- Gätjens O., Acuña C., Montero W., Torres S. 2018. Vanilla mass propagation and protocormic callus formation from root tips. *Polibotánica* 45:157-180. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.45.12>
- Hernández E., Castillo M., Reyes D., Corona T., Avendaño C., García OJ. O. 2016. aclimatacion de hibridos intraespecificos de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews, obtenidos in vitro. *Agroproductividad*, 9 (11), 72.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Kananont N, Pichyangkura R, Chanprame S, Chadchawan, S, Limpanavech, P.2010. Chitosan specificity for the *in vitro* seed germination of two Dendrobium orchids (Asparagales: Orchidaceae). *Scientia Horticulturae*, 124: 239-247 DOI: 10.1016/j.scienta.2009.11.019
- Lee H., Murguía J., García B., Córdova A, Laguna A., Mijango J., Barahona L., Iglesias L., Santana N., 2008. Propagación clonal *in vitro* de vainilla (*Vanilla planifolia* 'Andrews'). *HortScience horts* 43: 454-458. Recuperado el 18 de abril de 2023, de <https://doi.org/10.21273/Horstsci.43.2.454>
- Lichtenthaler H & Wellburn A.1983 Determinaciones de carotenoides totales y clorofilas ayb de extractos de hojas en diferentes solventes. *Transacciones de la Sociedad Bioquímica* 603: 591-592. <http://dx.doi.org/10.1042/bst0110591>
- Limpanavech P., Chaiyasuta S., Vongpromek R., Pichyangkura R., Khunwasi C., Chadchawan S., Bangyeekhun T. 2008. Chitosan effects on floral production, gene expression, and anatomical changes in the Dendrobium orchid. *Scientia Horticulturae* 116: 65-72. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.10.034>
- Malerba M., Rafaella C., 2016. Chitosan Effects on Plant Systems. *International Journal of molecular sciences* 17: 996. <https://doi.org/10.3390/ijms17070996>
- Murashige, T. & Skoog, F. 1962. Un medio revisado para crecimiento rápido y bioensayos con cultivos de tejidos de tabaco. *Physiologia Plantarum* 15: 473-497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
- Olicón D., Vázquez P., Cruz R., & Rojas L. 2017. Comparison of chito-oligosaccharide production from three different colloidal chitosans using the endochitonsanalytic system of *Bacillus thuringiensis*. *Preparative biochemistry & biotechnology* 47: 116-122. <https://doi.org/10.1080/10826068.2016.1181086>
- Preece E. & Sutter G. 1991. Aclimatación de plantas micropropagadas a invernadero y campo. En : Debergh, PC y Zimmerman, RH (Eds.). *Micropropagación: tecnología y aplicación*. Académico Kluwer. Dordrecht. pp.71-93 . ISBN 0-7923-08
- Ramírez M., Iglesias A. 2015. Evaluation of different temporary immersion systems (BIT®, BIG, and RITA®) in the micropropagation of *Vanilla planifolia* Jacks. *In Vitro Cellular and Developmental Biology -Plant* 52: 154-160. <https://doi.org/10.1007/s11627-015-9735-4>.
- Ramos A., Iglesias L., Bello J, Lee H. 2014. Improved propagation of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex-Andrews) using a temporary immersion system. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*. DOI: 10.1007/s11627-014-9602-8
- Sopalun K., Thammasiri K., Ishikawa K .2010. Effects of chitosan as the growth stimulator for *grammatophyllum speciosum* *in vitro* culture. *World Acad Sci Eng Tech* 4:11-29. doi.org/10.5281/zenodo.1061477
- Uthairatanakij A., Teixeira S., Obsuwan K. 2007. Chitosan for improving orchid production and quality. *Orchid Science and Biotechnology* 1: 1-5. ISSN: 1752-3443

CIANOBACTERIAS DIAZOTRÓFICAS DEL AGUA TERMAL DE JULIMES, CHIHUAHUA Y SU POTENCIAL EN AGRICULTURA

Marco Antonio Piñón-Balderrama¹; Ofelia Adriana Hernández-Rodríguez^{1*};
Andrés Francisco Martínez-Rosales²; Damaris Leopoldina Ojeda-Barrios¹;
Graciela Dolores Ávila-Quezada¹.

¹Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua. Avenida Universidad y Avenida Pascual Orozco s/n, 31110 Chihuahua, Chih, México. *aernande@uach.mx

²Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Francisco R. Almada Km. 1, 31453. Chihuahua Chih, México.

RESUMEN

El nitrógeno es un nutriente esencial para la supervivencia de todos los seres vivos, ya que forma parte de biomoléculas como las proteínas, el ADN y la clorofila, entre otras. En agricultura el suministro de nitrógeno se realiza principalmente a través de fertilizantes sintéticos, cuya producción es costosa y contaminante, al grado de condicionar la viabilidad de los sistemas de producción. En este contexto, la búsqueda de alternativas biotecnológicas para proporcionar nitrógeno a los cultivos se vuelve una actividad importante para investigadores y productores, por lo que el objetivo de esta investigación es recolectar, aislar e identificar cianobacterias diazotróficas del agua termal de Julimes, Chihuahua, con potencial uso en agricultura. Se recolectaron muestras de las microalgas del agua termal de la zona en estudio, se establecieron en el laboratorio en un medio de cultivo carente de nitrógeno para verificar la supervivencia en ausencia del mismo, se aislaron paulatinamente para su posterior identificación morfológica a nivel de género. Los resultados obtenidos son el hallazgo de dos especies de cianobacterias diazotróficas cuya morfología sugiere que se trata de cepas de los géneros *Scytonema* y *Nostoc*, ambas con reportes de efectos benéficos en experimentos agronómicos, de manera especial en el tema de la captación de nitrógeno en forma de amonio, una de las formas más asequibles para las plantas.

PALABRAS CLAVE

Biotecnología; Fertilización; Métodos de producción; Nitrógeno.

INTRODUCCIÓN

El suministro de nitrógeno sintético en agricultura es una actividad que se realiza en por lo menos el 60% de los cultivos en el mundo, en que del total de los fertilizantes nitrogenados aplicados se calcula que solamente entre 10 y 40% son aprovechados por las plantas, en donde los excedentes son mayoritariamente lixiviados causando problemas ambientales como la eutrofización de cuerpos de agua. Una de las alternativas para atender esta problemática es disminuir la aplicación de nitrógeno sintético mediante el uso de microorganismos fijadores biológicos de nitrógeno (Vega-Oliva, 2017).

Entre los microorganismos fijadores de nitrógeno se encuentran algunas especies de cianobacterias, únicas capaces de realizar fotosíntesis y de fijar nitrógeno de la atmósfera simultáneamente, estas dos características han llamado fuertemente la atención de muchos investigadores a nivel mundial. Deepali *et al.* (2020) mencionaron que en condiciones de cultivo adecuadas las cianobacterias podrían ser útiles como fuente de nitrógeno para los cultivos.

Cabe señalar que la investigación con microalgas, entre las que se agrupan las cianobacterias, se ha enfocado principalmente en áreas de alta precipitación pluvial, lo que ha generado una brecha en el conocimiento relacionada con especies con potencial de desarrollo en zonas áridas, como lo demuestra el trabajo de Novelo y Tavera (2022), donde se analiza la situación nacional en el tema y se menciona que, en el caso del estado de Chihuahua, los reportes de especies encontradas no han cambiado en los últimos 11 años.

Por los motivos expuestos, el objetivo de esta investigación es recolectar, aislar e identificar cianobacterias diazotróficas endémicas del agua termal de Julimes, Chihuahua, con usos potenciales en agricultura.

Se establece como hipótesis que en las aguas termales de la localidad, existen especies de cianobacterias diazotróficas resistentes a condiciones cambiantes, las cuales pertenecen a géneros que han sido reportados con efectos benéficos en agricultura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Como sitio de estudio se eligió un brote de agua termal en el municipio de Julimes, Chihuahua, con coordenadas 28°24'28.68"N, 105°25'37.2"O. El día 20 de septiembre de 2023 se recolectaron muestras de las colonias de microalgas planctónicas y bentónicas observables, las cuales se depositaron en frascos de vidrio esterilizados conteniendo agua del mismo brote y se colocaron para su traslado en una bolsa térmica para evitar cambios bruscos de temperatura que pudieran dañar a los microorganismos recolectados (Andersen y Kawachi, 2005).

Las muestras fueron trasladadas al microalgario de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua en Chihuahua, Chih, México. Se colocaron en un fotoperíodo de 12 hr de luz y 12 hr de oscuridad a temperatura ambiente, misma que fluctuó entre 20° y 30° C manteniendo el agua termal con la que fueron extraídas.

Transcurridos 7 días de la toma de las muestras, mediante observaciones al microscopio se realizó la primera selección verificando la supervivencia de los microorganismos y seleccionando aquellas colonias donde se detectó la presencia de células diferenciadas, aparentemente heterocistos, una característica única de las cianobacterias diazotróficas donde ocurre la fijación y las primeras reacciones de asimilación de nitrógeno (Mayz-Figueroa, 2004).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Se continuó con una serie de separaciones en lapsos de dos semanas, verificando al microscopio la supervivencia de las especies preseleccionadas y purificándolas gradualmente. Al tener colonias con menos diversidad de especies se sembraron en medio de cultivo BG11⁰, especial para cianobacterias diazotróficas ya que, al carecer de nitrógeno se fomenta la supervivencia de aquellas especies capaces de fijarlo del ambiente. Se les proporcionó aireación continua utilizando para ello una bomba de 3 watts de potencia marca Q7 Series, a la cual se le adaptaron unos micro goteros de la marca flebotec® como reguladores de flujo de aire, para facilitar el intercambio gaseoso y disminuir la contaminación en el medio líquido (Osman *et al.*, 2021).

Para el aislamiento final se tomaron ocho submuestras de 1 mL de cada colonia conservada, se introdujeron en un baño de ultrasonido marca Guang Zhou por 5 minutos. Las muestras se sembraron en frascos de vidrio esterilizados con 80 mL de medio de cultivo BG11⁰ y con diferentes condiciones de iluminación y aireación durante dos semanas. Dichas condiciones se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Tratamientos utilizados en el proceso de aislamiento.

Tratamientos para cada cepa	Medio BG11	Medio BG11 ⁰	Con aireación	Sin aireación	Luz blanca 2000 lux	Luz de espectro completo 6000 lux
1		•	•		•	
2		•	•			•
3		•		•	•	
4		•		•		•
5	•		•		•	
6	•		•			•
7	•			•	•	
8	•			•		•

Transcurrido ese tiempo las muestras se observaron nuevamente al microscopio verificando la supervivencia y el nivel de aislamiento de especies. Teniendo cepas aisladas se realizó la identificación taxonómica hasta nivel de género de acuerdo a sus características morfológicas, mediante el uso del catálogo elaborado por Hauer y Komárek (2022). Finalmente, se relacionaron los hallazgos con los reportes de usos prácticos biotecnológicos en agricultura reportados en literatura científica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron dos cepas de cianobacterias fijadoras de nitrógeno que, de acuerdo a sus características morfológicas, se trata de una especie del género *Nostoc* y una del género *Scytonema*. La primera se desarrolló mejor en el medio BG11⁰, con aireación constante y con luz de espectro completo a razón de 6000 lux, mientras que la segunda con el mismo medio, con aireación constante, pero con luz blanca a razón de 2000 lux.

En la Figura 1 se muestran las fotografías obtenidas de las dos especies seleccionadas y su comparación con dibujos y descripciones de los catálogos y de la base de datos CyanoDB 2.0 de Hauer y Komárek (2022).

Las dos cepas de cianobacterias aisladas en este trabajo pertenecen al orden Nostocales, las cuales se caracterizan por ser capaces de diferenciar algunas células para llevar a cabo la fijación de nitrógeno, la fijación de nitrógeno atmosférico se

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

manifiesta en su capacidad de crecimiento en el medio BG11⁰. Ambas especies han sido reportadas entre las más eficientes en esta actividad fijando hasta 25 kg ha⁻¹ (Deepali *et al.*, 2020), para algunos cultivos esta cantidad representa hasta el 50% del nitrógeno requerido. Torres-Tomaselli *et al.* (2024) reportaron rendimientos en cultivo de pimiento de 15.5 t ha⁻¹ con dosis de 50 kg ha⁻¹ de nitrógeno, esto perfila a las especies encontradas como una opción para disminuir las aplicaciones de fertilizantes sintéticos.

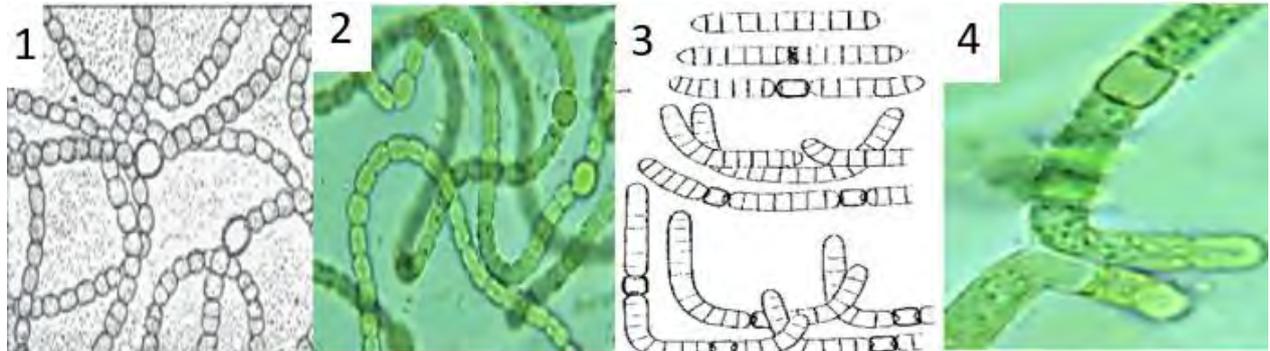


Figura 1: Especies de cianobacterias encontradas en agua de brote termal en Julimes, Chihuahua. 1 y 2, dibujo y fotografía de *Nostoc* sp. respectivamente; 3 y 4 dibujo y fotografía de *Scytonema* sp. respectivamente. Fotografías propias y dibujos tomados de: Hauer y Komárek (2022).

Lo anterior concuerda con el trabajo realizado por Zúñiga-Vega (2022) que utilizó *Nostoc* para mejorar la germinación de semillas y el desarrollo de plantas de *Phaseolus vulgaris* permitiendo reducir al 50% la fertilización nitrogenada, y además, se incrementó la producción de nódulos por bacterias del género *Rhizobium*. Otro caso es el de Osman *et al.* (2010) donde también redujeron al 50% la dosis de fertilización y obtuvieron los mismos resultados en *Pisum sativum* utilizando una especie de *Nostoc*.

Por otro lado, López-Cortés *et al.* (2010) utilizaron una cepa de *Scytonema* sp. para inocular una mezcla de suelo y sustrato orgánico y obtuvieron rendimientos 90% mayores que en los tratamientos donde no se inoculó con la cianobacteria. El experimento se realizó con plantas de *Capsicum annum*, Y los autores sugieren el uso de *Scytonema* sp. como biofertilizante en suelos con bajos contenidos de nitrógeno especialmente en suelos en zonas de baja precipitación pluvial (López-Cortés *et al.*, 2010).

Adicionalmente, se ha reportado que el uso de *Nostoc* sp. y *Scytonema* sp. en agricultura ofrece una serie de beneficios, entre los cuales se incluye una mejora en la estructura del suelo mediante la secreción de sustancias adhesivas, una mejora en la porosidad de suelos arcillosos y un aumento en la capacidad de retención de agua en suelos arenosos debido a su producción de sustancias mucilaginosas, también hay un aumento en la tolerancia de las plantas a la salinidad y la estimulación de la solubilidad de los fosfatos mediante la secreción de ácidos orgánicos (Deepali *et al.*, 2020).

CONCLUSIONES

Las cepas de *Nostoc* sp. y *Scytonema* sp. obtenidas en este trabajo confirman la hipótesis inicial que sugiere la existencia de especies de cianobacterias diazotróficas en

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

los brotes de agua termal de Julimes, Chihuahua, resistentes a condiciones cambiantes y con usos potenciales en la agricultura. La supervivencia y desarrollo de las especies encontradas en medio de cultivo sin nitrógeno confirma su capacidad como fijadores biológicos de este nutriente. La identificación de especies de cianobacterias es el primer paso para la posible obtención de productos útiles para la agricultura que sean a la vez de bajo costo, eficientes y amigables con el medio ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología por la beca de estudiante de maestría otorgada durante la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Andersen, R., y Kawachi, M. 2005. Traditional Microalgae Isolation Techniques. Algal Culturing Techniques. Phycological Society of America. 592 p.
- Deepali, Ch., Mukesh M., Tansukh B., Prashant S., Kanika. 2020. Cyanobacteria as a source of biofertilizers for sustainable agriculture, Biochemistry and Biophysics Reports, Volume 22, 100737, ISSN 2405-5808, Doi: 10.1016/j.bbrep.2020.100737
- Hauer, T. y Komárek, J. (2022): CyanoDB 2.0 - On-line database of cyanobacterial genera. - World-wide electronic publication, Univ. of South Bohemia & Inst. of Botany AS CR
- López-Cortés, A., Maya-Delgado, Y., & Troyo-Diéguéz, E. 2010. Cianobacterias criptobioticas: una alternativa de agricultura.
- Mayz-Figueroa, J. (2004). Fijación biológica de nitrógeno. Revista Científica UDO Agrícola, 4(1), 1-20.
- Novelo, E. y R. Tavera. 2022. Panorama florístico actual de las algas continentales mexicanas. Hidrobiológica 32 (3): 235-243. doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2022v32n3/tavera
- Osman, M. E. H., El-Sheekh MM, El-Naggar AH, Gheda SF. (2010) Effect of two species of cyanobacteria as biofertilizers on some metabolic activities, growth, and yield of pea plant. Biol Fert Soils. 46(8):861-875. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00374-010-0491-7>.
- Osman, W. N. A. W., Nawi, N. I. M., Samsuri, S., Bilad, M. R., Khan, A. L., Hunaepi, H., Lam, M. K. (2021). Sistema de filtración de ultra baja presión para una filtración de microalgas energéticamente eficiente. *Heliyon*, 7(6).
- Torres-Tomaselli, E. V., & Orellana-Solano, K. A. (2024). Respuesta del cultivo de hortalizas a diferentes tipos de aplicación de nitrógeno en la granja Santa Inés.
- Vega-Oliva, C. (2017). Trabajo de fin de grado: Problemas ambientales y de salud derivados del uso de fertilizantes nitrogenados.
- Zúñiga-Vega, M. I. (2022). Uso de la cianobacteria *Nostoc muscorum* como biofertilizante y sus efectos tanto en el desarrollo del frijol (*Phaseolus vulgaris*) como en las características del suelo en condiciones de invernadero.

COMPARACIÓN DE Ca, Mg Y K EXTRAIBLES CON MEHLICH-3 Y ACETATO DE AMONIO EN SUELOS DE MÉXICO

Lorena del C. Hernández Nataren¹; Edith Hernández-Nataren²; Aarón Jarquín Sánchez³

¹Federación Mexicana de palmicultores y extractores de palma de Aceite (FEMEXPALMA), C.P. 86265, Villahermosa, Tabasco; ²Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, C.P. 86500, Cárdenas, Tabasco; ³El Colegio de la Frontera Sur, C.P. 86280, Villahermosa, Tabasco.
lorena.hernandez@femexpalma.com.mx

RESUMEN

El análisis de suelos se usa principalmente para realizar diagnósticos nutrimentales que permitan realizar programas de fertilización adecuados para incrementar los rendimientos de los cultivos, sin detrimento de la salud del suelo. El análisis de cationes intercambiables en suelos se puede realizar con diversos métodos que han sido desarrollados, calibrados y validados, considerando las características y la heterogeneidad de los suelos. En México, el método oficial y más utilizado es AS-12 Acetato de amonio 1N pH 7, y que se recomienda para suelos neutros, por otro lado, en otros países se emplea el método Mehlich-3, el cual es considerado universal ya que permite la medición simultánea de numerosos nutrientes, entre ellos los cationes intercambiables y por sus características podría ser una alternativa que resulte más rápida y económica para los usuarios de análisis de suelos. Por ello, en este trabajo se evaluó la respuesta de los dos métodos mencionados en muestras de suelos procedentes de parcelas cultivadas con palma de aceite en los estados de Campeche, Chiapas y Tabasco para el análisis de los cationes Ca, K y Mg. Los resultados de pH, en las muestras, se clasifican entre fuertemente y moderadamente ácidos, las correlaciones de los tres cationes, fue alta y positiva (K $r=0.939$, Mg $r=0.9920$ y Ca $r=0.9928$, respectivamente) lo cual indica que los métodos son comparables y que por tanto el método Mehlich-3 podría ser implementado por los laboratorios y ofrecerlo a los usuarios como una alternativa más rápida y económica.

PALABRAS CLAVE

Análisis de suelos; Cationes intercambiables; Correlación.

INTRODUCCIÓN

El éxito en los programas de fertilización de los cultivos se basa en la adecuada ejecución de los métodos y técnicas analíticas empleadas en la realización de los análisis de suelos que, a su vez permiten realizar el diagnóstico del estado nutrimental del suelo y la disponibilidad de estos nutrientes para las plantas y por ende establecer las recomendaciones de fertilización adecuadas para el incremento del rendimiento de los cultivos sin detrimento de la salud del suelo (Ferrando *et al.*, 2020).

De manera general, los métodos analíticos para análisis de suelos constan de dos etapas principales: extracción y cuantificación; en la primera se incluyen los procesos de agitación, centrifugación y filtración, además del uso de diferentes soluciones

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

extractantes; y la segunda se puede realizar con técnicas analíticas como son Espectrometría de Absorción Atómica (AAS), Plasma Acoplado Inductivamente a Espectrometría de Emisión Atómica (ICP-OES) entre otras.

Los análisis de cationes como Ca, Mg y K pueden realizarse con diversos métodos y cada uno de ellos con características propias que favorecen su capacidad en concordancia con la heterogeneidad que pueden presentar los suelos; existen métodos como el acetato de amonio 1N pH 7 y el método Mehlich-3 que, si bien estos métodos tienen algunas características químicas contrastantes, por ejemplo, el pH de la solución, los mecanismos principales para la extracción son similares en teoría (Rutter *et al.*, 2019).

El extractante Mehlich-3 fue desarrollado con el propósito de mejorar la eficiencia de extracción del suelo en el laboratorio y proporcionar una solución para análisis de suelos con una amplia gama de propiedades. Esta solución extractante contiene fluoruro y su función es la quelatación del hierro y del aluminio, ácido acético para brindar a la solución la capacidad amortiguadora, EDTA para la quelatación de metales pesados y un alto contenido de amonio el cual desplaza a los cationes (K, Ca, Mg, Na) en los sitios de intercambio; además de permitir la medición de numerosos nutrientes esenciales para las plantas con la misma extracción, con ello se reducen costos operativos de laboratorio y por tanto, se reduce costo de las pruebas del suelo para los usuarios (Sims, 1989, Li *et al.*, 2022).

El uso del Mehlich-3 y la cuantificación con ICP-OES, podría proporcionar a los laboratorios de análisis de suelos un sistema capaz de realizar análisis rápidos y precisos de múltiples elementos, a diferencia del método de acetato de amonio 1 N pH 7 que requiere de múltiples lavados; por otro lado, la interpretación de estas mediciones requiere conocimiento de su relación con la absorción de nutrientes por las plantas, así como la correlación con los métodos de análisis del suelo existentes. La eficiencia del laboratorio aumenta al utilizarlo como método de rutina eliminando la necesidad de extractantes separados para analitos como fósforo, cationes básicos (K, Ca, Mg) y micronutrientes. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la relación de Ca, K y Mg en suelos extraídos por el método Mehlich-3 y acetato de amonio 1N pH 7.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente estudio se seleccionaron 123 muestras de suelos de parcelas cultivadas con palma de aceite (*Eleais guinensis*), ubicadas en los estados de Campeche, Chiapas y Tabasco, muestreadas a una profundidad de 0-30 cm; las cuales presentaron valores contrastantes de pH y materia orgánica (MO) principalmente.

En todas las muestras se determinó el contenido de Ca, Mg y K intercambiables con el método AS-12 Acetato de amonio 1N pH 7 (NH₄Ac) establecido en la NOM-021-RECNAT-2000 y con el método Mehlich-3 (Mehlich, 1984). En ambos métodos, el proceso de extracción fue manual y consistió en lavados mediante agitación, centrifugación y filtración donde se sustituyen los cationes de la muestra por iones amonio.

Para el análisis de las muestras con el método AS-12, se pesaron 5 g de suelo en tubos de centrifuga, se le agregaron 33 mL de la solución de acetato de amonio y se agitaron durante 10 min, luego se centrifugaron por 10 min a 2500 rpm y el

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

sobrenadante se filtró con papel filtro Whatman #42 en matraces volumétricos de 100 mL, este ciclo se repitió tres veces y se aforó a 100 mL para su cuantificación.

La extracción con el método Mehlich-3 se realizó preparando la solución extractante Mehlich-3 (0.2 N CH_3COOH - 0.25 N NH_4NO_3 - 0.015 N NH_4F - 0.013 N HNO_3 - 0.001 N EDTA, ajustando a pH 2.5 (Mehlich, 1984). Se pesaron 5 g de suelo seco en tubos de polipropileno y se agregaron 25 mL de la solución extractora, se agitaron por 5 minutos a 180 rpm y se filtraron en papel Whatman #42.

Las concentraciones de Ca, K y Mg para ambos métodos se cuantificaron mediante ICP-OES de la marca PERKIN ELMER modelo Avio 500, para el cual se preparó una curva de calibración con diferentes puntos de concentración que contenía los elementos de interés con estándares de Ca, Mg y K. Asimismo, se determinó el pH con el método AS-02 pH medido en agua, y el contenido de materia orgánica (MO) por el método AS-07 de la NOM-021-REC NAT-2000. A los resultados obtenidos se les realizó la prueba de correlación de Pearson ($p < 0.05$) con el software R (4.4.1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados encontrados en los suelos analizados muestran que, el pH se clasifica entre fuertemente ácido a neutro principalmente, y según los contenidos de materia orgánica se clasifican de muy bajos a altos (NOM-021-REC NAT-2000) tal como puede observarse en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores de pH y materia orgánica de los suelos

	pH Rel. 1:2	MO (%)
Campeche.	4.1 - 7.0	1.23 - 4.58
Chiapas.	5.1 - 6.7	0.93 - 3.38
Tabasco.	4.7 - 5.9	0.27 - 1.67

Respecto a las correlaciones de los contenidos de los cationes (K, Mg y Ca) determinados con ambos métodos, los valores se muestran en la Figura 1. La correlación es alta y positiva en todo el conjunto de datos (K $r = 0.9018$, Mg $r = 0.9805$ y Ca $r = 0.9962$, respectivamente), estos resultados son similares a los reportados por Fukuda *et al.*, 2017 quienes encontraron, para K, Ca y Mg en suelos de Mozambique, correlaciones lineales superiores a 0.9; y Rutter *et al.*, 2021, en suelos de Kansas.

Las concentraciones de potasio extraídas oscilan entre 0.01-0.45 y 0.01-0.56 Cmol kg^{-1} entre ambos métodos de extracción (Figura 1a), diversos autores reportan coeficientes de determinación por arriba de 0.9 en Ferrando *et al.*, 2020; Rutter y Díaz, 2019 reportan resultados de $r = 0.99$ para correlaciones en la extracción de K en suelos de Kansas; Barbagelata *et al.*, 2006; Gartley *et al.*, 2002.

Las concentraciones de magnesio encontradas oscilaron entre 0.01-4.05 y 0.08-5.42 Cmol kg^{-1} respectivamente (Figura 1b) para NH_4Ac y Mehlich-3. Los altos coeficientes de correlación sugieren que tanto NH_4Ac como Mehlich-3 extraen estos cationes intercambiables en la gama de pH de los suelos analizados.

Los contenidos extraídos de calcio fueron mayores con el método Mehlich-3 comparado con el acetato de amonio pH 7. Las concentraciones de calcio se presentaron entre 0.06-12.80 y 0.46-16.56 Cmol kg^{-1} respectivamente (Figura 1c), con

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

una alta correlación alta entre ambos métodos ($r=0.9962$) similar lo reportado por Wang *et al.*, 2004 en suelos de Louisiana siendo Melich-3 el que extrae ligeramente más calcio.

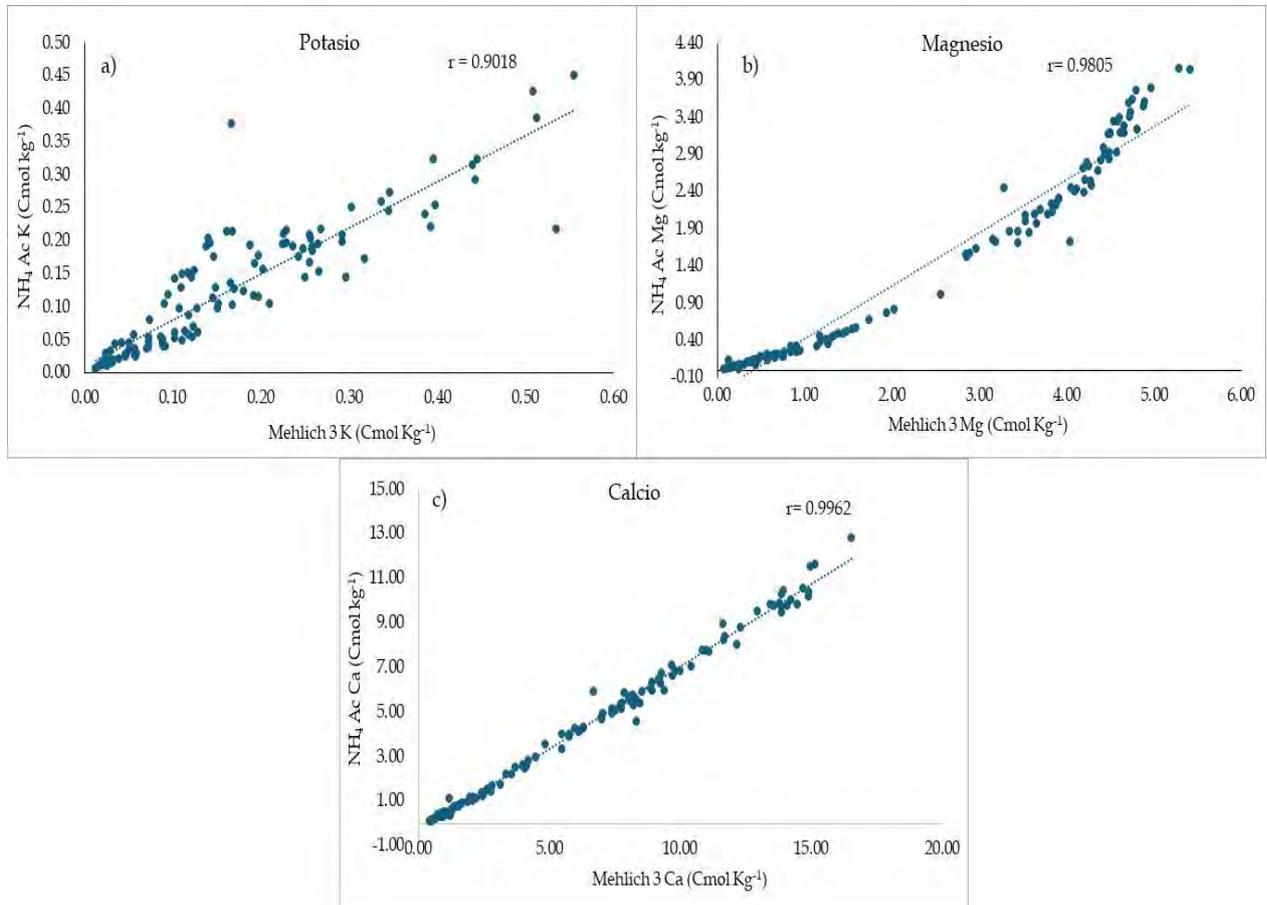


Figura 1. Correlación entre K, Ca y Mg extraídos con acetato de amonio (NH₄ Ac) y Mehlich-3.

CONCLUSIONES

La correlación positiva entre ambos métodos indica que, para el análisis de cationes intercambiables en suelos ácidos y neutros, el método de Melich-3 tiene buena correlación con el método del acetato, sin extraer cantidades importantes de cationes que pudieran causar problemas en la interpretación; sin embargo, es importante realizar más investigaciones con otros tipos de suelos, pero los resultados permiten decir puede ser implementado en los laboratorios para ofrecerlo como una alternativa más rápida, multielemental y económica para los usuarios de análisis de suelos. Además, este método permite realizar el análisis de otros nutrientes lo cual reduciría costos de operación en los laboratorios; analíticamente hablando los métodos son comparables, ahora es necesario realizar más estudios de calibración y correlación con la respuesta de los cultivos a la recomendación de fertilización utilizando Melich-3.

BIBLIOGRAFÍA

- Barbagelata, P. A. 2006. Evaluation of potassium soil tests and methods for mapping soil fertility properties in Iowa corn and soybean fields. PhD Thesis, Iowa State University, Ames.
- Ferrando, M. G., Barbazán, M. M., García F. O. y Mallarino A. P. 2020. Comparison of the ammonium acetate, Mehlich 3, and sodium tetraphenylboron as extractants to evaluate crop available potassium, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, DOI: 10.1080/00103624.2020.1744625.
- Fukuda M., Nakamura S., Lopes F. A. da C., Nasukawa H., Ibraimo M. M., Naruo K., Kobayashi K. & Tetsuji Oya T. 2017. Evaluation of the Mehlich 3 Reagent as an Extractant for Cations and Available Phosphorus for Soils in Mozambique, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48:12, 1462-1472, DOI: 10.1080/00103624.2017.1373789
- Gartley, K. L., J. T. Sims, C. T. Olsen, and P. Chu. 2002. Comparison of soil test extractants used in mid-Atlantic United States. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33 (5-6):873-95. DOI:10.1081/CSS-120003072.
- Li, C., Wang, S., Sun, M., Li, D., Xu, H., Zhang, L., Xue, C., Ma, W., Sun, Z. 2022 Improving the Extraction Process of Mehlich 3 Method for Calcareous Soil Nutrients. *Agronomy* 2, 2907. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112907>.
- Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 15 (12):1407-16. doi:10.1080/00103628409367568
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial*, 23 abril, pp. 1-85.
- R Core Team. 2024. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.
- Rutter, B. and Ruiz Diaz, D. A. 2019. Correlation Between Mehlich-3 and Ammonium Acetate Extractable Potassium in Kansas Soils, *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports: Vol. 5: Iss. 4*. doi.org/10.4148/2378-5977.7759
- Rutter, E. B.; Ruiz Diaz, D. A.; and Hargrave, L. 2021. "Comparison of Mehlich-3 and Ammonium Acetate Extractable Calcium and Magnesium in Kansas Soils," *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports: Vol. 7: Iss. 8*. DOI.org/10.4148/2378-5977.8124.
- Sims, J. T. 1989. Comparison of Mehlich 1 and Mehlich 3 extractants for P, K, Ca, Mg, Mn, Cu and Zn in Atlantic Coastal plain soils. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.*, 20 (17&18), 1707-1726.
- Wang, J. J., D. L. Harrell, R. E. Henderson, and P. F. Bell. 2004. Comparison of soil-test extractants for phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium, zinc, copper, manganese, and iron in Louisiana soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 35 (1-2):145-60. DOI:10.1081/CSS-120027640.

COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD EDÁFICA EN FUNCIÓN DEL SUBSOLADO E IMPACTO SOBRE LA SOYA EN CONDICIONES DE TEMPORAL

Moisés Alonso Báez¹; Manuel Grajales Solís²; Guillermo López Guillén³; Alba Leonorilda Solís Pérez⁴

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Rosario Izapa, Carretera Tapachula-Cacahoatán Km. 18, Tuxtla Chico, Chiapas. C.P. 04010. ¹E-mail: # Autor para correspondencia: alonso.moises@inifap.gob.mx

RESUMEN

En el Soconusco, Chiapas, se siembran 14,000 ha de soya bajo el régimen hídrico de temporal, lo anterior, porque en esta región el cultivo dispone de aceptables condiciones edafo-climáticas, ya que se tiene una estación lluviosa de seis meses (mayo a octubre), cuya magnitud de la precipitación oscila desde el litoral del pacífico sur hacia la zona orográfica de 700 mm a 4500 mm. Sin embargo, su siembra se realiza posterior al inicio de la estación del temporal (mayo), y por esta razón, la preparación del suelo para su siembra regularmente se realiza en condiciones de suelo húmedo. Es sabido que, cuando la preparación del suelo se realiza en condiciones húmedas éstos son más susceptibles a su compactación. En el ámbito de la agricultura sustentable, el propósito del subsolado es romper el piso de arado de suelos compactados a fin de incrementar la infiltración hacia el subsuelo y la mejora de sus parámetros hidráulicos como, lámina infiltrada acumulada e incremento de la humedad edáfica en el perfil radical del cultivo de soya en las condiciones señaladas. Con base en esta premisa, por tres años consecutivos se realizó esta investigación, cuyo objetivo fue evaluar el comportamiento de la humedad edáfica en el subsuelo y su relación con la precipitación en función del subsolado, barbecho y rastreo sobre el rendimiento de soya en condiciones de régimen hídrico de temporal en el Soconusco, Chiapas.

PALABRAS CLAVE

Soconusco; Leguminosa; Cultivo.

INTRODUCCIÓN

En la región del Soconusco, Chiapas, Región Pacífico sur de México, actualmente se siembran 14,000 ha de soya bajo el régimen hídrico de temporal; lo anterior, porque las condiciones edafo-climáticas naturales, obedecen primero, a un periodo de temporal lluvioso que oscila de mayo a octubre (seis meses), y la magnitud de la precipitación estacional va desde el litoral del pacífico hasta la zona orográfica de 700 a 2100 mm, donde esta precipitación se distribuye adecuadamente sobre la zona productora de soya que comprende cinco municipios, y con base en esta magnitud de la lluvia, esta cubre satisfactoriamente los requerimiento del cultivo durante su ciclo de producción de 500 mm.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

En segundo término, su siembra comercial se ha hecho extensiva por la naturaleza del cultivo, ya que éste no es muy exigente de suelos de alta fertilidad y como leguminosa, esta retiene su propio nitrógeno; asimismo, la generalidad de los suelos en esta región, con base en su textura corresponden a los tipos franco y franco limoso de origen volcánico. El cultivo de soya en esta región se introdujo desde 1975 y en los años 80's la superficie sembrada alcanzó un record de 27,000 ha; de aquí que su siembra comercial desde su introducción se realiza durante la segunda quincena de junio hasta el 25 de julio (fechas óptimas de siembra), después de que inició el periodo estacional de temporal, ya que con el inicio del temporal inicia la germinación intensa de maleza sobre estos suelos; por tal motivo, la preparación del suelo para su siembra y eliminar la maleza (Alakukku *et al.* 2003), por siempre, esta actividad se ha realizado en condiciones de suelo húmedo (De Jong-Hughes *et al.*, 2001; Donkor *et al.*, 2002; Rocky, 2011), donde la intensidad de pasos de maquinaria para este propósito ha ocasionado su compactación (Reitam *et al.*, 2005; Bawa *et al.*, 2019; Grajales *et al.*, 2023; Domzal y Hodara, 1991). Actualmente en la generalidad de estos suelos (Alonso *et al.*, 2023), se revelan altos niveles de compactación inmediatamente después de la capa arable (± 30 cm), donde se observa "piso de arado", y por tal razón, con base en los resultados de investigación en esta zona se sugiere el subsolado, enmienda que al romper la compactación coadyuva a incrementar la infiltración del agua en el suelo, y mayor almacenamiento de humedad edáfica en la zona radical del cultivo (Alonso *et al.*, 2023); donde dicha humedad contribuye a contrarrestar el periodo de sequía intraestival, la cual se presenta regularmente cada año en la etapa de crecimiento del cultivo (entre el 15 de julio y 15 de agosto). El subsolado es una actividad que en esta zona se debe realizarse durante el periodo seco en el mes de abril a una profundidad superior (70 cm) al "piso de arado" mencionado (30 cm) a fin de romperlo (Horn and Fleige, 2003; Horn *et al.*, 2004), y permitir mayor tasa infiltración, para que lámina infiltrada acumulada alcance el volumen radical del cultivo (Landl *et al.*, 2019). El subsolado, de acuerdo con lo revelado por la literatura especializada (Alakukku, 1996; Raper *et al.*, 1998; Odey, 2018) se recomienda realizarlo cada tres o cinco años, en función de la intensidad de uso del suelo. En relación con lo anterior, la experiencia de investigación en este contexto realiza el uso de subsolado, ya que mejora las propiedades hidráulicas del suelo en sus parámetros de infiltración básica, conductividad hidráulica a saturación e incremento de la lámina infiltrada acumulada. Sin duda, se evidencia la importancia socioeconómica del cultivo de soya en esta región de Chiapas; sin embargo, la compactación de los suelos debido al manejo histórico para su siembra requiere de enmiendas que disminuyan la severidad de la compactación. Sobre esta base se realizó esta investigación cuyo objetivo fue determinar el impacto del subsolado sobre el comportamiento de la humedad edáfica en función de la lámina infiltrada acumulada sobre el rendimiento de la soya en condiciones de régimen hídrico de temporal en el Soconusco, Chiapas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso experimental comprendió tres años (2019, 2022 y 2023), para lo cual se establecieron dos experimentos en dos sitios de observación: San Antonio y 1° Sección de Tinajas, ambos en el municipio de Tapachula, Chiapas.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Para determinar el nivel de compactación de estos suelos se realizaron estudios preliminares (2019), dónde mediante perfiles de suelo de 1.20 m de profundidad se detectó “el piso de arado” a ± 30 cm de profundidad, y sobre esta base se programó la profundidad del subsolado de 70 cm de profundidad. De acuerdo con el objetivo de esta investigación se propusieron tres tratamientos: subsolado, SUB, barbecho, BAR y rastreo, RAS. Previo al periodo experimental en el año 2019, una vez que se delimitó el área (0.5 ha) que ocuparía cada tratamiento, al interior de estas áreas se realizaron tres pruebas de infiltración por el método del doble cilindro y por un tiempo de 8 horas cada una; después en el año 2023 se repitieron las pruebas de infiltración para sumar 18 pruebas en total; lo anterior para estimar en función de los parámetros de la infiltración el almacenamiento de la humedad edáfica entre tratamientos y su efecto sobre el rendimiento. A partir de la información de campo (infiltración vs tiempo) se determinaron los parámetros hidráulicos promedio del suelo en cada tratamiento: tasa de infiltración, $i(t)$, conductividad hidráulica a saturación, K_s , y lámina infiltrada acumulada, $I(t)$; esta última condujo a estimar cuantitativamente el comportamiento de la humedad edáfica en el perfil radical del cultivo de soya. Las fechas de siembra del cultivo fueron variables entre el 8 y 18 de julio durante los años del periodo experimental (tres años). Se sembró la variedad de soya Huasteca 600 generado en el Campo Experimental Huastecas del INIFAP en Tamaulipas. El manejo agronómico del cultivo se realizó con base en el paquete tecnológico de soya generado por el Campo Experimental Rosario Izapa-INIFAP para la región del Soconusco, Chiapas. Toda vez que los tipos de suelo con base en su textura corresponden al tipo franco, entonces en función de la lámina infiltrada acumulada, $I(t)$, se estimó el comportamiento promedio de la humedad edáfica en el perfil radical del cultivo correspondiente a cada uno de los tratamientos: subsolado, SUB, barbecho, BAR, y rastreo, RAS; así como el impacto de la lámina infiltrada acumulada, $I(t)$, en cada tratamiento sobre el rendimiento promedio de grano de soya.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan los parámetros iniciales de humedad e hidráulicos en cada uno de los sitios de observación, donde los mismos mostraron ligera variabilidad, lo anterior, porque los tipos de suelo en función de su textura corresponden a la categoría de francos. En la Figura 1 se muestran los resultados promedio de tres años de observación experimental sobre el comportamiento de la humedad edáfica en el perfil radical del cultivo correspondiente a cada tratamiento. Dicha humedad edáfica, fue estimada en función de la lámina infiltrada acumulada que, con base en la variabilidad observada, un valor superior de este parámetro, se infiere que el mismo fue inducido por el impacto en el corto plazo debido al uso del subsolado, objetivo fundamental de esta investigación. Esta enmienda con base en la experiencia vertida en la literatura especializada (Alakukku, 1996; Raper *et al.*, 1998; Odey, 2018), tuvo el propósito de romper el piso de arado, ya que dicha práctica origina en primer lugar, flujos preferenciales de agua hacia el interior del subsuelo, aunado al reacomodo de las partículas del suelo que genera un mayor espacio poroso, incrementa la tasa de infiltración y demás parámetros hidráulicos (McCarthy, 2007).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cuadro 1. Parámetros iniciales de humedad e hidráulicos de los sitios experimentales (2019)

Parámetros [‡]	1° Sección de Tinajas Promedio	San Antonio Promedio
θ_{PMP} (cm ³ cm ⁻³)	13.5	14.8
θ_{CC} (cm ³ cm ⁻³)	27.6	27.5
θ_s (cm ³ cm ⁻³)	35.45	37.9
Da (g cm ⁻³)	1.71	1.64
HD (cm m ⁻¹)	13.91	12.71
q _o (cm min ⁻¹)	0.012	0.016
Ks (cm min ⁻¹)	0.00198	0.0056

[‡] θ_{PMP} , θ_{CC} , θ_s , Da, HD, q_o, Ks; corresponden a contenidos volumétrico de humedad a punto de marchitamiento permanente, capacidad de campo, contenido volumétrico de humedad a saturación, densidad aparente, humedad disponible, tasa de infiltración y conductividad hidráulica a saturación, respectivamente.

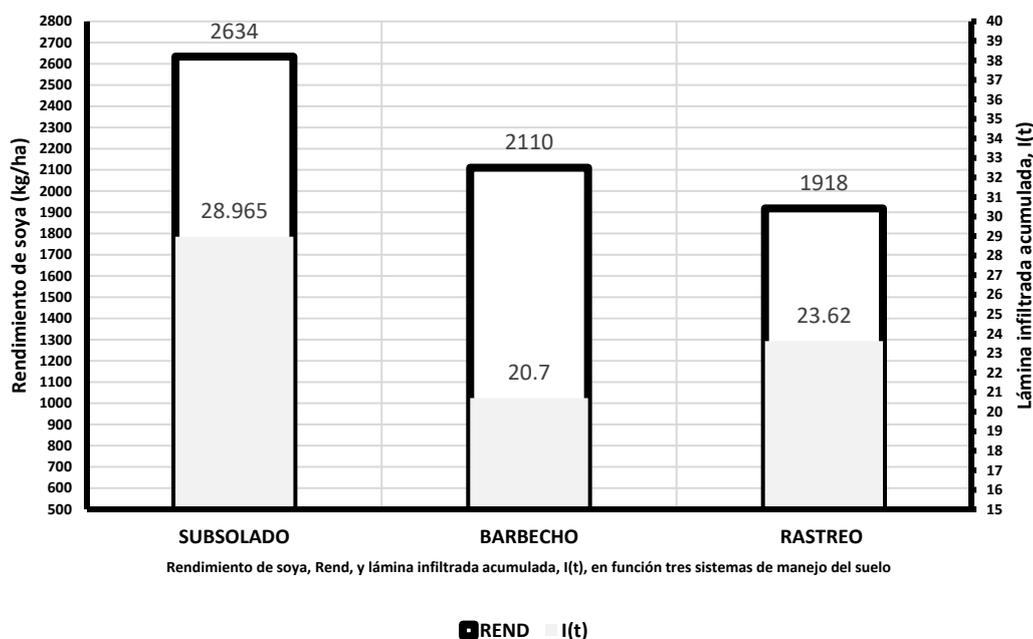


Figura 1. Subsólado y su relación con el barbecho y rastro del suelo sobre el almacenamiento de la humedad edáfica en función de la lámina infiltrada acumulada y rendimiento de grano de soja en condiciones de régimen hídrico de temporal.

En condiciones de agricultura de temporal como fue el caso, la práctica del subsólado favorece el almacenamiento de un volumen mayor de humedad edáfica en el perfil radical del cultivo, y sobre esta base, se incrementa la disponibilidad de agua y nutrimentos en la zona radical del cultivo de soja por un tiempo mayor para mitigar el periodo canicular que regularmente se presenta año con año, principalmente durante el periodo de crecimiento del cultivo. En este contexto, otros beneficios por el uso del subsólado, es porque se ha observado que la infiltración superior, no solo contribuye a disminuir la erosión hídrica en los eventos intensos de la lluvia, sino que

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

permite mayor penetración profunda de las raíces para explorar la humedad (Botta *et al.*, 2010), ya que la lámina infiltrada no sólo se almacena en la vecindad de la superficie, donde las plantas en intenso crecimiento agotan la humedad disponible en esta profundidad, y la humedad edáfica en general alcanza mayor profundidad, a fin de que las raíces del cultivo pueden explorar la humedad disponible a mayor profundidad. En relación con lo anterior, los resultados de esta investigación revelaron que el subsolado en el corto plazo (tres años) promovió una respuesta mayor de la lámina infiltrada acumulada, estrechamente relacionada con un rendimiento promedio mayor de grano de soya, con respecto a los tratamientos de barbecho y rastreo. Estos resultados revelaron que el subsolado promovió mayor rendimiento de grano de soya en función de una mayor lámina infiltrada acumulada de 28.96 cm sobre el promedio de los tratamientos barbecho y rastreo de 22.17 cm; asimismo, esta práctica originó un volumen mayor de humedad edáfica en el perfil radical del cultivo, el cual influyó en el rendimiento promedio superior debido al subsolado 25% y 39% sobre el barbecho y rastreo.

CONCLUSIONES

En el corto plazo el subsolado en relación con el barbecho y rastreo del suelo para la siembra de soya bajo condiciones de régimen hídrico de temporal, mostró una tendencia superior para incrementar el almacenamiento de la humedad edáfica en el perfil radical del cultivo, e incrementó su rendimiento de grano del cultivo bajo las condiciones señaladas en el Soconusco, Chiapas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alakukku, L. 1996. Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. I. Short-term effects on the properties of clay and organic soils. *Soil and Tillage Research* 37, 211-222.
- Alakukku, L.P, Weibkopf, W.C.T, Chamen, F.G, Tijink, J.P, van der Linden, S, Pires, C, Sommer R and Spoor, G (2003). Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: A review. Part 1. Machine/soil interactions- *Soil and Tillage Res.*, 73145- 160.
- Bawa, Seidu Iddrisu, Charles Quansah, Henry Oppong Tuffour, Awudu Abubakari, and Caleb Melenya. 2019. "Soil Compaction and Soil Amendments on the Growth and Biomass Yield of Maize (*Zea Mays* L.) and Soybean (*Glycine Max* L.)". *International Journal of Plant & Soil Science* 27 (6):1-16. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2019/v27i630094>.
- Botta, G. F., Tolon, A., Becerra, X. Lastra Bravo, M. Tourn. Tillage and traffic effects (planters and tractors) on soil compaction and soybean (*Glycine max* L.) yields in Argentinean pampas. *Soil & Tillage Research*, 2010, 110: 167- 174.

CONDICIONES EDAFOCLIMÁTICAS EN DOS REGIONES DEL ESTADO DE CHIHUAHUA EN LOS VIÑEDOS DE UVA SYRAH

Yara Nohely Moncayo Nájera¹; María Antonia Flores Córdova¹; Esteban Sánchez² Chávez; Damián Aarón Porras Flores¹; Rodrigo Alonso Villegas¹

¹Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas

²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo CIAD unidad Delicias

*Autor de correspondencia: ymoncayo@uach.mx

RESUMEN

El clima y el suelo son factores importantes ya que afectan la disponibilidad de los recursos y determinan las condiciones adecuadas para una viticultura de calidad. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar las condiciones edafoclimáticas de dos regiones del estado de Chihuahua con el fin de identificar sus características principales y evaluar su idoneidad para el establecimiento de la uva Syrah en diferentes usos agrícolas y ecológicos. Se evaluaron las variables climáticas de temperatura, precipitación, y velocidad del viento, además de parámetros físicos, básicos y de fertilidad del suelo, en dos viñedos ubicados en la región del Sauz y Bachimba. En los resultados obtenidos se observa que el viñedo del Sauz presenta un clima moderado, mayor precipitación con una acumulación de 42 % mm y un suelo arcilloso/limoso y mayor contenido de P, Ca y Mg. Bachimba tiende a ser cálido, menor precipitación y suelo arcilloso/migajoso. Estos resultados ayudan a definir zonas más adecuadas para la vitivinicultura en Chihuahua.

PALABRAS CLAVE

Variabilidad climática; Suelo; *Vitis vinífera* L.

INTRODUCCIÓN

La idoneidad de una región para cultivar algunas variedades específicas está condicionada principalmente por el clima, que es probablemente el principal componente del terroir que controla la producción y la calidad de la uva. Sin embargo, el suelo y el manejo de la vid también son factores de control importantes en la respuesta de la vid (Ramos, y Martínez, 2020). Las propiedades físicas y químicas del suelo, como la capacidad de retención de agua, y la permeabilidad, influyen en el rendimiento del viñedo, el vigor de las plantas y la calidad del vino (Gogorcena, *et al.*, 2019). Por lo anterior, cualquier modificación edafoclimática de una región podrían tener grandes efectos sobre el rendimiento y calidad de la uva.

Concretamente, en la zona vitivinícola de Chihuahua el suelo-clima es uno de los pilares esenciales que conforman la tipicidad de sus vinos. Sin embargo, existe escasa información acerca de las condiciones edafoclimáticas del cv. Syrah. La uva Syrah proviene de la cruce de dos variedades francesas, Dureza y Mondeuse Blanche. Las bayas tienen un tamaño de pequeño a mediano, la piel es fina de color púrpura oscuro, muy bien adaptada a climas cálidos, fácil de cultivar y vinificar en comparación con otras uvas tintas (De León 2021).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

En el estado de Chihuahua, ubicado en el norte de México, las características del suelo varían considerablemente debido a la diversidad de su topografía y clima. La comprensión de estas variaciones es esencial para el manejo agronómico de los cultivos de la región. Por este motivo, el objetivo de este estudio es analizar y comparar las condiciones edafoclimáticas de dos regiones del estado de Chihuahua con el fin de identificar sus características principales y evaluar su idoneidad para el establecimiento de la uva Syrah en diferentes usos agrícolas y ecológicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo este estudio, se seleccionaron dos regiones dentro del estado de Chihuahua: la región del Sauz (29°07'18"N 106°22'29"W) y la región del Bachimba. (28°23'43"N 105°39'08"W).

Condiciones climáticas

Se monitorearon las variables climáticas de temperatura, velocidad del viento, y precipitación del año 2024 mediante la estación climatológica iMetos 3.3.

Análisis edafológico

En cada región, se realizó muestreo de suelo simple. Se recolectó 1 kg de muestra a una profundidad de 0 a 30 cm. Se determinó textura (método Bouyoucos), pH (dilución con agua destilada 1:10 (p/v) con potenciómetro (Fisher Scientific Accument AB15, US). La conductividad eléctrica se determinó mediante conductivímetro (Solubredge Beackman). La materia orgánica se determinó por el método (Walkley-Black), Nitrogeno total (Nt) método Micro-Kjeldahl. El Fósforo (P) por el método de Olsen. Los micro y macronutrientes se determinaron con un Espectofotómetro de Absorción Atómica (Perkin Elmer Atomic Absorbition Spectro meter Pin AAcle 900H).

Análisis de agua

La captación de las muestras fue realizada en los pozos equipados con bombas. Para tal efecto, los equipos fueron activados por lo menos 1 hora antes de realizar el muestreo. La alícuota de agua fue colectada en envases de capacidad de 2,5 litros. Las técnicas analíticas empleadas en el laboratorio fueron fotometría de llama para la determinación de sodio (Na⁺).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones climáticas

Los patrones de temperatura mostraron que, durante los meses de junio y julio se obtuvieron temperaturas mínimas de 20 °C y máximas de 35 °C en Bachimba y en Sauz de 19°C y 36 °C. Existen reportes indicando que cuando las temperaturas superan los 35 °C, el estrés por calor afectaría la fisiología de la vid, pudiendo inducir daño en las hojas o racimos, reducir la fotosíntesis y disminuir las concentraciones de antocianinas (Cardell, *et al.*, 2019; De Rességuier, *et al.*, 2020; Rogiers, *et al.*, 2022). Por lo tanto, la variedad Syrah puede tolerar temperaturas más altas, aunque es preferible evitar condiciones superiores a 35-40 °C.

La mayor precipitación fue durante los meses de junio, julio y agosto en el viñedo del Sauz y la menor precipitación, en el viñedo Bachimba (Tabla 1) observándose que existe una diferencia de 42 mm acumulados en el viñedo del Sauz, por lo que tiende a presentar mayor humedad.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

La velocidad del viento fluctuó significativamente (Tabla 1). Para el viñedo del Sauz fue de hasta 37 km/h, siendo mayor a la región de Bachimba.

Tabla 1. Condiciones climáticas 2024 de las regiones del Sauz y Bachimba.

Mes	Sauz			Bachimba				
	Viñedo		Precipitación (mm)	Viñedo		Precipitación (mm)		
	Temperatura del aire	Velocidad del viento		Temperatura del aire	Velocidad del viento			
Max	Min	Km/h	Max	Min	Km/h			
Enero	19	1	29	12	18	3	11	9
Febrero	22	5	32	3	22	5	12	6
Marzo	23	6	37	7	25	8	13	4
abril	28	10	36	5	29	12	15	10
mayo	33	15	36	15	32	15	14	11
junio	36	19	3	64	35	20	12	52
julio	33	19	2	176	32	20	10	159
agosto	33	18	3	158	31	19	9	147

Estación climatológica iMetos 3.3.

Análisis edafoclimáticos

Las características texturales de los suelos variaron. La composición mecánica del suelo para el viñedo de Bachimba (Tabla 2), fue menor del 50% de arcilla y entre un 20 y 30% de limo y arena. Las características texturales de este viñedo son típicas de suelos arcilloso\migajoso. Por el contrario, el viñedo ubicado en la región del Sauz (Tabla 2) presentó concentraciones de arena mayores al 40% y aproximadamente 30% de limo y arcilla, por lo que se denomina un suelo arcilloso/limoso. Cabe destacar que los suelos con tendencia arenosa son suelos más ligeros, y han mostrado aumentos de peso de las bayas, y rendimiento de la vid, en comparación con los suelos arcillosos o limosos (Quezada, *et al.*, 2014).

Las características fisicoquímicas del suelo en el viñedo ubicado en el Sauz presentaron una concentración alta de Potasio, Calcio y Magnesio. En contraste con los suelos de Bachimba (Tabla 2) se encontró un exceso de magnesio y deficiencias en manganeso, cobre y zinc. La vid puede desarrollarse prácticamente en cualquier tipo de terreno, salvo en los salinos, pues este es un factor muy limitante para su crecimiento (Castrillón, 2023). Derivado de la concentración de sales en el suelo de las regiones vitícolas estudiadas, todos se clasifican como suelos normales y potencialmente no generan un riesgo para el cultivo de vid, sin embargo, el viñedo Bachimba mostró un valor medio de sodio a diferencia del viñedo del Sauz donde el nivel de sodio fue bajo. Estudios sugieren que las vides requieren suelos con pH entre 6.5 y 7.5 para desarrollarse óptimamente (Macías y Cabello, 2021). Los valores de pH del suelo de ambas regiones fluctuaron entre 6.5 y 7.8, siendo el viñedo de Bachimba el que se encuentra en el límite superior recomendado para el cultivo de la vid. Es importante mencionar que el efecto de alcalinidad se podría presentar especialmente en este viñedo, ya que los valores promedio de pH de suelo están muy cercanos a 8.0. Estas diferencias acentúan la necesidad de enfoques de manejo diferenciados según la región.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Tabla 2. Análisis edafológico de los viñedos de las regiones del Sauz y Bachimba.

Determinación	Método	Viñedo Sauz		Viñedo Bachimba	
Profundidad (cm) 0-30					
pH	1:2 Agua	Resultados 6.5	Interpretación Lig. ácido	Resultados 7.83	Interpretación Lig. Alcalino
C.E	1:1 Suelo:Agua	0.64	Normal	0.58	Normal
% CaCO ₃	NH ₄ OAc(pH 8.5	0	Libre	0	Libre
% Saturación	Sat. CaCO ₃ Me	31	Media baja	51	Med. Alta
%Materia Orgánica	Walkley y Black	0.61	Bajo		Bajo
C.hidráulica cm\hr		26.17	Muy rápida	1.46	Mod. lenta
% Arena	Bouyoucos		44.12		21.13
% Limo			28.24		30.67
% Arcilla			26.17		48.19
Clasificación textura		Arcilloso/limoso		Arcilloso/migajoso	
Nitratos (NO ₃) kg ha-1	NO ₃ Brucina	93.75	Bajo	114.38	Med. Bajo
Fósforo mg kg-1		30.8	Bajo	37.38	Med. Bajo
Fierro (Fe) mg kg-1	E. Menores	3.28	Med. bajo	0.56	Deficiente
Manganeso (Mn) mg kg-	Determinación A. Ext. DTPA-	3.36	bajo	1.04	Deficiente
Zinc (Zn) mg kg-1	TEA	0.56	Bajo	0.1	Deficiente
Cobre (Cu) mg kg-		0.18	deficiente	1.04	Bajo
Calcio (Ca)mg kg-1	Cationes	3300	suficiente	4600	suficiente
Magnesio (Mg) mg kg-	Determinación A. A Ext con	212.5	Med. alto	612.5	Exceso
Sodio (Na) mg kg-1	CH ₃ COONH ₄ 1	400	Bajo	587.5	Medio
Potasio (K) mg kg-1	N	187.5	Med. alto	375	alto

Análisis de agua

En relación al análisis de agua observamos que ambos presentan resultados similares. Sin embargo, el sauz tiene más sodicidad en su agua (Tabla 3). La salinidad de las aguas y las concentraciones en donde los iones salinos específicos, como cloruros y sulfatos, son de suma importancia en relación con la estructura del suelo, el rendimiento de la vid y la composición de las bayas y el vino (Bas Moll, S. 2020).

Tabla 3. Análisis de agua de los viñedos en la región del Sauz y Bachimba.

Determinación	Viñedo Sauz		Viñedo Bachimba	
	Resultado	Interpretación	Resultado	Interpretación
Relación de adsorción sodio	1.7	Bajo	0.83	bajo
Sodio posible	94	Buena para riego	80	Buena para riego
Contenido sodio residual	0.31		0.36	
Salinidad efectiva	2.3	buena	1.3	buena
Salinidad potencial	1.9	buena	0.91	Buena
% de sodio potencial	51.4	buena	170	buena
pH	7.5	Lig. alcalino	7.3	Lig. alcalino
CE	440	medio	400	medio

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

CONCLUSIÓN

Se concluye que las regiones vitivinícolas de Chihuahua presentaron diferencias climáticas y de suelo que pudieran influir en una vitivinicultura de calidad. el viñedo del Sauz presenta un clima moderado, mayor precipitación con una acumulación de 42% mm y un suelo arcilloso/limoso y mayor contenido de P, Ca y Mg. Bachimba tiende a ser cálido, menor precipitación y suelo arcilloso/migajoso. Estos resultados ayudan a definir zonas más adecuadas para la vitivinicultura en Chihuahua y promover un uso sostenible y eficiente de los recursos edáficos en Chihuahua.

BIBLIOGRAFÍA

- Bas Moll, S. (2020). Evaluación de la composición de las uvas de la variedad Monastrell en función de la calidad del agua de riego aplicada en el viñedo. (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia.
- Cardell, M. F., Amengual, A., & Romero, R. (2019). Future effects of climate change on the suitability of wine grape production across Europe. *Regional Environmental Change*, 19, 2299-2310. <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01502-x>.
- Castrillón Astorga, C. (2023). Caracterización de suelos de viñedo del marco de Jerez (Tesis de licenciatura). Universidad de Cadiz.
- De Rességuier, L., Mary, S., Le Roux, R., Petitjean, T., Quénot, H., & Van Leeuwen, C. (2020). Temperature variability at local scale in the Bordeaux area. Relations with environmental factors and impact on vine phenology. *Frontiers in plant science*, 11, 515. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1094633>
- Ramos, M. C., & Martínez de Toda, F. (2020). Proyecciones de cambio en la viña de Rioja DOCa bajo escenarios de cambio climático. *European Journal of Agronomy* 115, 126014.
- Gogorcena, Y., Sánchez-Monfort, M., & López-Vicente, M. (2019). Rendimiento de la vid y calidad del vino en viñedos pirenaicos españoles antiguos: Influencia de los parámetros climáticos y fisiográficos. *VITIS - Journal of Grapevine Research*. <http://doi.org/10.5073/VITIS.2019.58.SPECIAL-ISSUE.103-110>
- Macías-Carranza, V., & Cabello-Pasini, A. (2021). Climatología y evapotranspiración en valles vitivinícolas de Baja California. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(5), 849-863. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2816>
- Quezada, C., Soriano, M. A., Díaz, J., Merino, R., Chandía, A., Campos, J., & Sandoval, M. (2014). Influencia de las propiedades físicas del suelo sobre el rendimiento de la vid y los componentes de la madurez en un suelo de palexérfal último, centro-sur, Chile. *Revista Abierta de Ciencias del Suelo*, 4(04), 127.
- Rogiers, S. Y., Greer, D. H., Liu, Y., Baby, T., & Xiao, Z. (2022). Impact of climate change on grape berry ripening: An assessment of adaptation strategies for the Australian vineyard. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1094633. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1094633>.

CONTROL DE LA ACIDEZ EN SUELOS DE ORIGEN VOLCÁNICO

**Magdalena Francisco-Catarina¹; Demetrio Salvador Fernández-Reynoso^{1*};
Rogelio Carrillo-González¹; Héctor Manuel Ortega Escobar¹;
José Luis García Rodríguez²; Axel Eduardo Rico-Sánchez¹**

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo. 56230 Texcoco, Estado de México, México.

² Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Calle José Antonio Novais, 10. 28040 Madrid (Edificio A), España.

*Autor de correspondencia (demetrio@colpos.mx)

RESUMEN

Los suelos de origen volcánico, son el resultado de la meteorización de la ceniza volcánica que dan origen a minerales de silicato amorfos como el alofano, imogolita y el oxihidróxido de hierro que en conjunto con los factores de formación del suelo propician la existencia de suelos con problemas de acidez. En Hidalgo, el suelo es producto de la intemperización de materiales volcánicos con suelos de ligeramente a moderadamente ácidos. La investigación consistió en modificar el pH del suelo a través de la aplicación de enmiendas como la cal, dolomita, roca fosfórica y ceniza de madera para la mejora del P y micronutrientes en el suelo en condiciones de laboratorio. Se caracterizó el suelo. Se aplicaron 24 tratamientos con tres repeticiones. Se midió el pH durante tres semanas consecutivas después de la incubación y a los dos meses se cuantificó P, Mn, Fe, Zn y Cu. Los datos se sometieron a un análisis de varianza y comparación de medias (Tukey). El mejor tratamiento para aumentar el pH del suelo resultó ser la dosis más alta de cal (2.7 t ha⁻¹) que disminuyó al mismo tiempo la concentración de Fe. En cuanto a la disponibilidad de P, la roca fosfórica fue la más efectiva. Con respecto a los micronutrientes, la ceniza de madera disminuyó la concentración de Mn. El Cu se mantuvo en el suelo con el uso de la cal y en el caso del Zn no hubo efecto significativo en ninguna de las cuatro enmiendas.

PALABRAS CLAVE

Enmienda; Cal; Dolomita; Roca fosfórica.

INTRODUCCIÓN

Los suelos ácidos se refieren a aquellos que contienen un pH inferior a 5.5 durante la mayor parte del año o un pH menor a 7.0 originado por la presencia de iones activos de hidrógeno y/o aluminio (SEMARNAT, 2000; FAO, 2023). Están asociados con un número de toxicidades como el Aluminio y el Hierro y otras condiciones restringentes para las plantas. Una gran parte de los suelos ácidos pertenecen a Acrisoles, Alisoles, Podzoles y sub grupos Dístricos de otros suelos y pueden ubicarse en zonas nortes templadas húmedas, cubiertas principalmente por bosques de coníferas y en zonas tropicales húmedas, cubiertas por la sabana y selva tropical (FAO, 2023).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Se estima que el 15 % de los suelos de la república mexicana están afectados por procesos de acidificación (SEMARNAP, 1999). La superficie de suelos ácidos en México es de 13 128 300 ha, lo que representa el 6.69% del territorio nacional. Del total de suelos ácidos del país, 8 373 000 ha son Andosoles, 2 131 200 ha Gleysoles, 879 500 ha Acrisoles, 856 400 ha Cambisoles, 626 800 ha Nitisoles, 139 000 ha Planosoles y 122 400 ha Histosoles.

Los Andosoles son suelos ácidos formados a partir de la meteorización de la ceniza volcánica que dan origen a minerales de silicato amorfos o poco cristalizados como el alofano, imogolita y el oxihidróxido de hierro (Weil y Brady, 2016). Estos suelos se distribuyen a lo largo del Eje Neo volcánico (Veracruz, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, México, Morelos, Querétaro, Guanajuato, Michoacán, Guerrero, Jalisco, Colima, Nayarit y Ciudad de México). El estado de Hidalgo forma parte del Eje Neo volcánico, cuenta con una superficie total de 2 110 573 ha de éstas el 22 % de los suelos tienen características ácidas (Acevedo-Sandoval, 2000). Según Acevedo-Sandoval *et al.* (2010) la zona que abarca el municipio de Acaxochitlán, estado de Hidalgo, México corresponde a una porción de los suelos ácidos del estado. El municipio de Huasca de Ocampo se ubica aproximadamente a unos 50 km de Acaxochitlán y de acuerdo con los estudios realizados al suelo en varias parcelas de cultivo de maíz, el pH del suelo oscila entre 4.8 y 6.0 (Vega-Blancas *et al.*, 2022), lo que significa que son suelos con problemas de acidez clasificados de moderadamente ácido a fuertemente ácido (Bruce y Rayment, 1982).

La investigación consistió en modificar el pH del suelo a través de la aplicación de materiales como la cal, dolomita, roca fosfórica y ceniza de madera para la mejora del fósforo disponible y micronutrientes en el suelo en condiciones de laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubica en el ejido de Santo Domingo Agua Zarca en las coordenadas 20° 9'43.18"N latitud norte y 98°29'42.65"O longitud oeste (Figura 1), municipio de Huasca de Ocampo, Hidalgo. El área forma parte del eje Neovolcánico transversal, específicamente en la subprovincia de llanuras y sierras de Querétaro e Hidalgo. El muestreo fue de tipo sistemático en la parcela de dos ejidatarios de la localidad. El sitio de muestreo se encuentra a 2294 m de altitud; la temperatura promedio es de 17 °C; el suelo predominante es vertisol crómico con una alta proporción de arcillas expandibles y la vegetación corresponde a bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva (Hernández Sánchez *et al.*, 2019).

Para la caracterización del suelo se determinó capacidad de campo (CC), pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), cationes intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} y Na^{+}), fósforo disponible (P) y micronutrientes (Cu, Fe, Zn y Mn). La capacidad de campo se hizo con el método AS-06 de la Norma NOM-021 RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). El pH se determinó con un potenciómetro, utilizando 10 g de suelo tamizado en malla número 10 (2 mm), relación suelo: agua de 1:5 a través del método AS-24 de la Norma NOM-021 RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). La conductividad eléctrica se determinó con un conductímetro en una muestra de 10 g tamizada en malla # 10 (2 mm) con el extracto de saturación a través del método AS-18 de la Norma NOM-021 RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

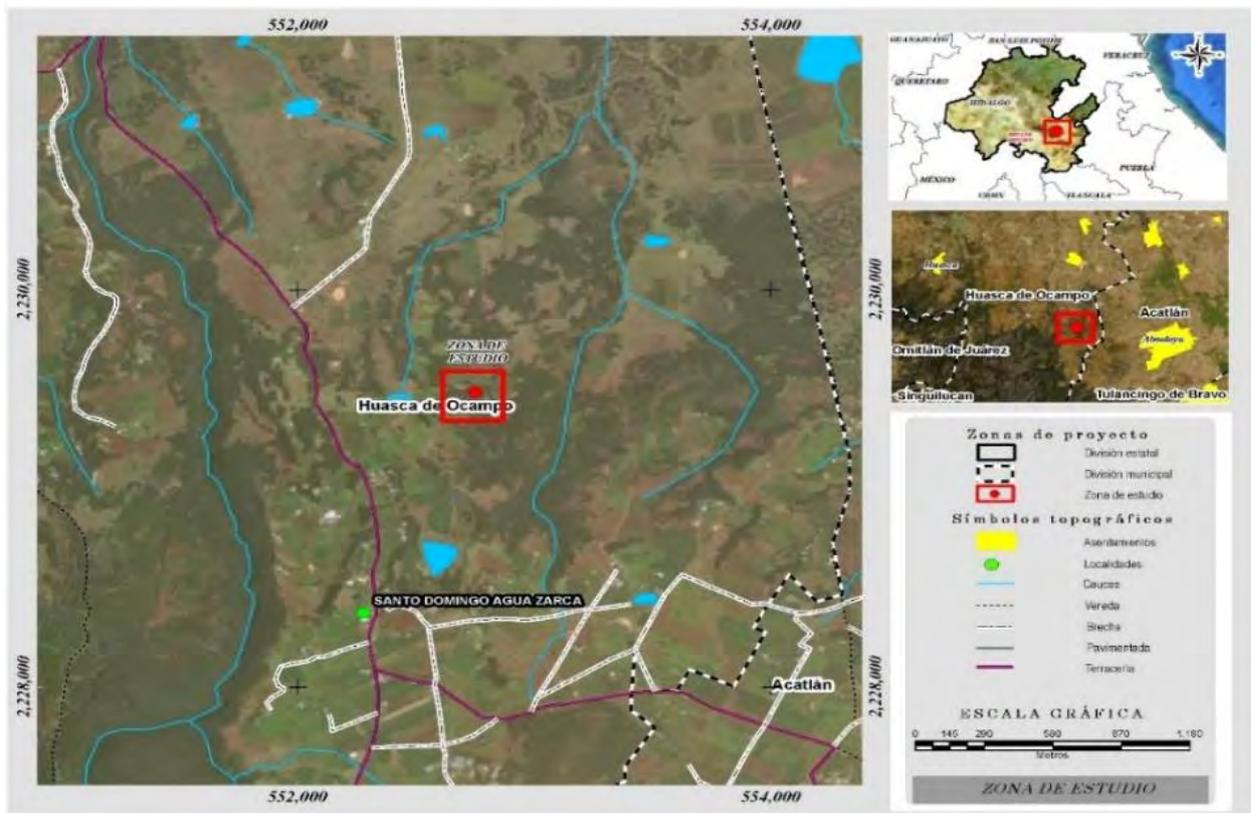


Figura 1. Localización del área de estudio.

La CIC se realizó con el método del acetato de amonio (Chapman, 1965). La determinación de Na^+ y K^+ se realizó con el uso del flamómetro marca Jenway, modelo PFP7 (Toth y Prince, 1949; SEMARNAT, 2002). El Ca^{2+} y Mg^{2+} se determinaron con el método del acetato de Amonio con el uso del espectrofotómetro de absorción atómica, marca Perkin modelo 3110 a una longitud de onda de 422.7 y 285.2 nm respectivamente (SEMARNAT, 2002). El P se cuantificó a través del método de Bray y Kurtz (1945) con el uso de un espectrofotómetro de UV-visible marca varian modelo Cary 50 Conc. Los micronutrientes se midieron a través del método del doble ácido desarrollado por la Universidad de Carolina del Norte, Nelson y colaboradores (Nelson *et al.*, 1953).

El suelo se incubó en condiciones de laboratorio. Se utilizaron dos muestras representativas (D y V). Para la incubación con cal se fijaron dosis de cal (0,0.2,0.7,1.7,2.2 y 2.7 8 t ha⁻¹), se utilizó el valor de la CIC y la densidad aparente (1.55 g cm³) para determinar la dosis adecuada. Fueron tres repeticiones para cada uno de los seis tratamientos, los cuales se homogenizaron, se secaron al aire y se pasaron por el tamiz #10 (2 mm). Cada ensayo se realizó en moldes de 150 mL, se colocaron 100 g de suelo con la respectiva dosis de cal y el suelo se mantuvo al 80% de la capacidad de campo (20.4%). En el caso de la dolomita se realizó lo mismo, solo se cambió la dosis utilizada (0,1,2,4,6 y 8 t ha⁻¹). En ceniza la dosis fue de 0, 0.5, 1,2, 3 y 4 t ha⁻¹, por último, en roca fosfórica se aplicaron 0,2,4,6,8,10 t ha⁻¹. La incubación de la muestra fue de alrededor de 2 meses, la medición del pH se hizo a partir de la primera semana de incubación durante tres semanas consecutivas. A los dos meses de la incubación se

midió el P disponible en conjunto con los micronutrientes del suelo. Los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANDEVA) y para la comparación de medias se utilizó la prueba Tukey ($\alpha = 0.05$), se utilizó el software R para su análisis (R Core Team, 2023).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del suelo. De acuerdo con el pH, son suelos de moderadamente ácido a fuertemente ácido (Bruce y Rayment, 1982), estos valores fueron muy variables en cuanto a su distribución en las parcelas del ejido. Los valores oscilaron entre 5.4 - 6.0 que concuerdan con Vega-Blancas *et al.*, (2022). La $CE < 1$, indicó un suelo no salino (Richards, 1954). El Ca^{2+} y K^+ se encontraron en niveles altos, el Mg^{2+} moderado y el Na^+ bajo de acuerdo con la clasificación mostrada por Metson (1961). La capacidad de intercambio catiónico fue baja con valores promedios de $12 \text{ cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$. La presencia de micronutrientes indicó niveles altos de Fe (12.23 mg kg^{-1}), Mn (35.58 mg kg^{-1}) y Zn (2.9 mg kg^{-1}), sólo el Cu (0.19 mg kg^{-1}) se presentó en niveles bajos, esto de acuerdo a la clasificación realizada por (Lopes y Cox, 1977; Lindsay y Norvell 1978). El P disponible fue de 12.02 mg kg^{-1} , considerado bajo (SEMARNAT, 2002).

Respuesta de la enmienda al aumento del pH y P. Hubo respuesta positiva del aumento del pH con la aplicación de cal, dolomita y ceniza (Figura 2). Con respecto a la roca fosfórica no hubo incremento del pH, pero si disponibilidad de fósforo en el suelo (Figura 2). El aumento del pH concuerda con los resultados obtenidos por Wakwoya *et al* (2022) y Anikwe *et al.* (2016). En las muestras incubadas con cal el incremento del pH fue de 0.9-1.0 unidades, seguido por la dolomita (0.5-0.6 unidades) y la ceniza (0.5 unidades) (Figura 2). Considerando el tipo de suelo, el D respondió mejor al aumento del pH en valores cercanos al neutro. El P se hizo disponible en mayor proporción con roca fosfórica, cal y ceniza. La dolomita disminuye la concentración (Figura 2).

Respuesta de la enmienda a la disponibilidad de micronutrientes: Con el uso de la cal, no hubo diferencia significativa del Cu, Zn y Mn en comparación con el testigo, sólo el Fe presentó una ligera disminución con el aumento en la dosis de cal. Con la dolomita hubo una disminución del Fe con la dosis más alta (8 t ha^{-1}), el Mn y Zn no presentaron variación y hubo una ausencia del Cu en el suelo. Con las dosis de 3 y 4 t ha^{-1} de ceniza se disminuyó la presencia de Mn en la solución del suelo, el Fe se mantuvo constante y también hubo ausencia del Cu. Con el uso de la roca fosfórica hubo mayor disponibilidad del Mn y Fe, ausencia del Cu y el Zn se encontró en niveles altos (Figura 3).

Toxicidad de Mn. En las muestras de suelo, los valores de Mn fueron superiores a 35.58 mg kg^{-1} lo que indicó una toxicidad por arriba del valor crítico para las plantas que es de 5.0 mg kg^{-1} (Lopes y Cox, 1977; Vijay *et al.*, 2023). La mejor enmienda que reduce la concentración de Mn en el suelo es la ceniza de madera.

Con respecto al Cu, en la muestra testigo se obtuvo un valor de 0.19 mg kg^{-1} por debajo del valor crítico (0.8 mg kg^{-1}), lo que indicó una deficiencia del nutriente (Lopes y Cox, 1977). Con el uso de la cal se incrementó la concentración de Cu a valores de 0.21 y 0.29 mg kg^{-1} , en las demás enmiendas hubo ausencia del nutriente.

Por último, en el caso del Zn no existe diferencia significativa entre enmiendas y se encuentra en niveles óptimos ($>1 \text{ mg kg}^{-1}$) en el suelo (Lopes y Cox, 1977).

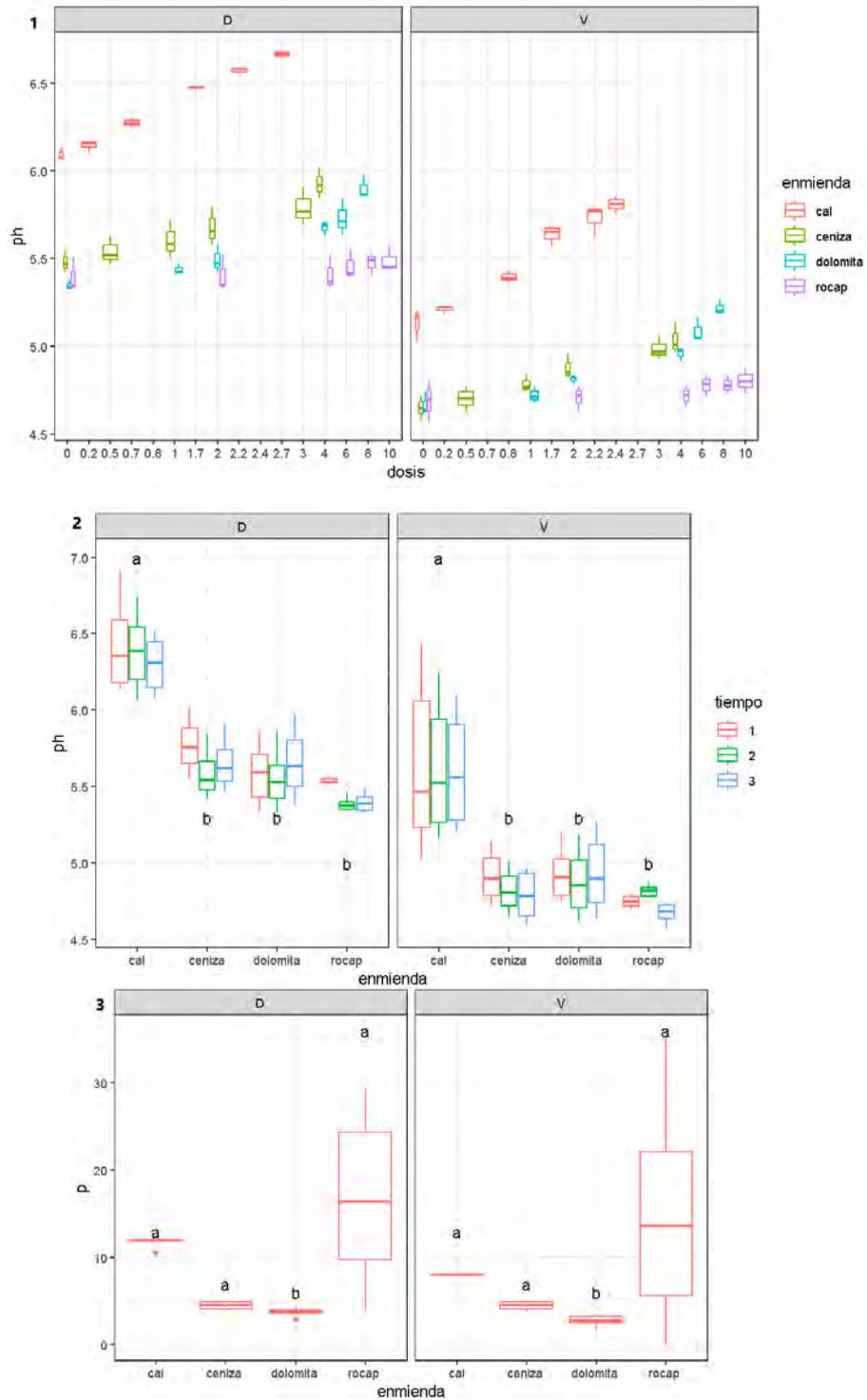


Figura 2. Variación del pH por dosis (1); por efecto del tiempo (2) y disponibilidad de P (3) por efecto de la enmienda (letras distintas indican diferencia significativa $p \leq 0.05$, Tukey).

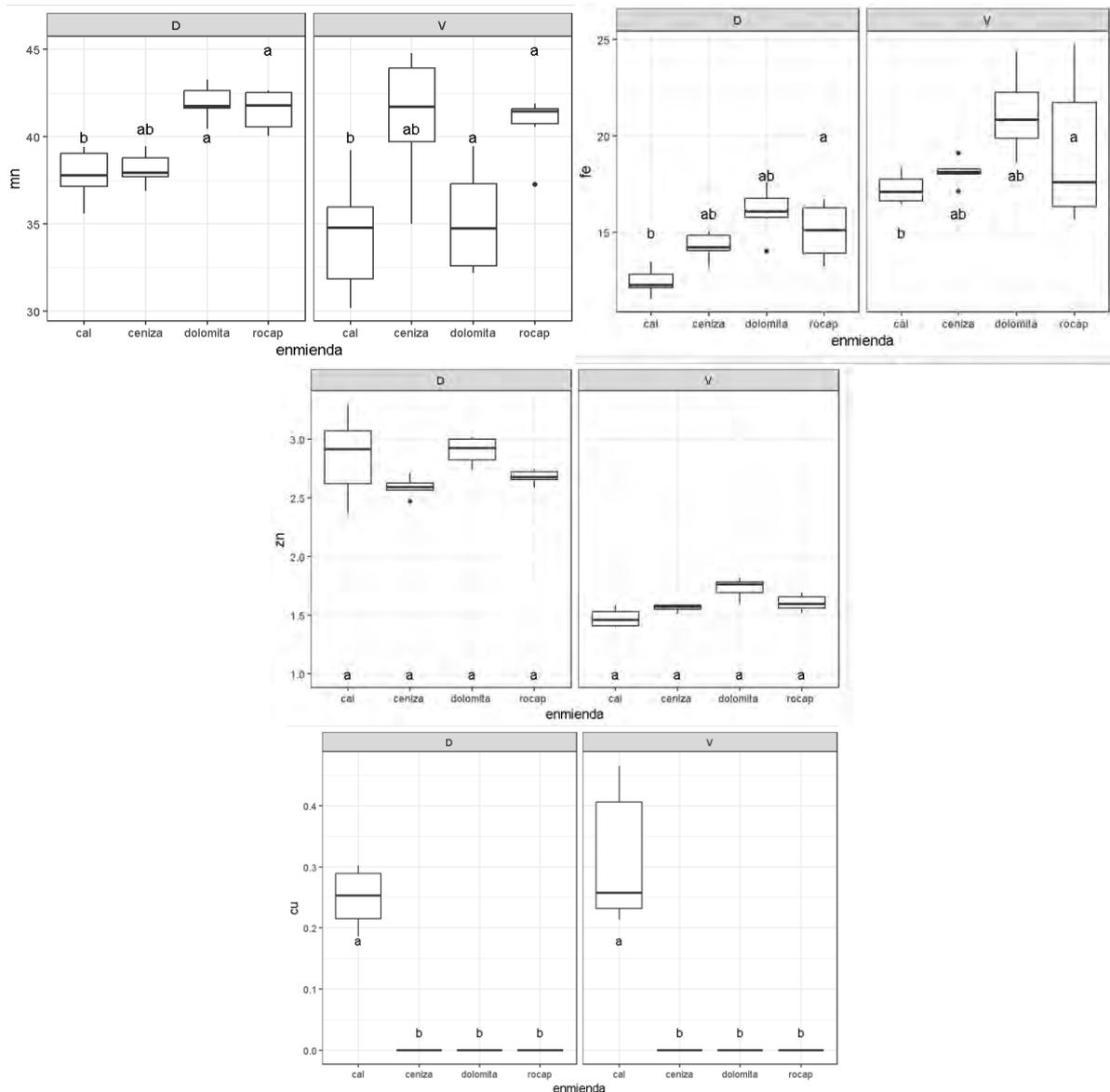


Figura 3. Respuesta del Mn, Fe, Zn y Cu a la enmienda utilizada (letras distintas indican diferencia significativa $p \leq 0.05$, Tukey).

CONCLUSIONES

La cal es el mejor material para incrementar el pH, seguido por la dolomita y la ceniza de madera. La roca fosfórica no aumenta el pH, sin embargo, aporta P al suelo que se vuelve disponible para las plantas. Con respecto a los micronutrientes, el Mn se encuentra en niveles tóxicos para las plantas y se puede reducir con la utilización de la ceniza de madera en el suelo con dosis de 3 y 4 t ha⁻¹. Hubo ausencia del Cu con las enmiendas ceniza, dolomita y roca fosfórica.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por el financiamiento de la beca de estudios de Doctorado de la autora principal.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo-Sandoval, O., Valera-Pérez, M., & Prieto-García, F. (2010). Propiedades físicas, químicas y mineralógicas de suelos forestales en Acaxochitlán, Hidalgo, México. *Universidad y Ciencia*, 26(2), 137-150.
- Anikwe, M. A. N., Eze, J. C., & Ibudialo, A. N. (2016). Influence of lime and gypsum application on soil properties and yield of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.) in a degraded Ultisol in Agbani, Enugu Southeastern Nigeria. *Soil and Tillage Research*, 158, 32-38. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105139>
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). *The nature and properties of soils*. (Fifteenth edition, global edition). Pearson.
- Bray, R.H.y L.T. Kurtz. (1945). Determination of total organic and available form of phosphorus. *Soil Science*, 59, 39-45.
- Bruce, R. C., & Rayment, G. E. (1982). Analytical methods and interpretations used by the Agricultural Chemistry Branch for Soil and Land Use Surveys. Queensland Department of Primary Industries. Bulletin QB8 (2004), Indooroopilly, Queensland.
- Chapman, H. D. (1965). Cation-Exchange Capacity. In: C.A. Black (Ed.). *Methods of Soil Analysis* (pp. 891-900) American Society of Agronomy.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2024). Consultado el 29 de Agosto del 2024, desde <https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-acidos/es/>
- Hernández Sánchez, J. M. D. L. D., Fernández Reynoso, D. S., Martínez Menez, M. R., Figueroa Sandoval, B., Rubio Granados, E., & García Rodríguez, J. L. (2019). Evaluación de la estabilidad de taludes en cárcavas, Huasca de Ocampo, Hidalgo, México. *Revista terra latinoamericana*, 37, 303-313. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i3.468>
- Lindsay WL, & Norvell W.A (1978). Development of DPTA soil test for Zinc, Iron, Manganese and Copper, *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 42,421 -428.
- Lopes, A.S., & Cox, F.R. (1977). A survey of the fertility status of surface soils under "cerrado" vegetation in Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41,742-747
- Metson, A. J. (1961). Methods of chemical analysis for soil survey samples. Soil Bureau Bulletin No. 12, New Zealand Department of Scientific and Industrial Research, pp. 168-175. (Government Printer: Wellington, New Zealand.)
- Nelson. W.L., A. Melch & E. Winter. (1953). The development, evaluation and use of soil test for phosphorous availability. *Agron*, 4,13-188
- R Core Team. (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Richards, L. A. (Ed.) (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. USDA Handbook No. 60, Washington, DC.
- SEMARNAP Estadísticas del medio ambiente, México. (1999). Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente 1997-1998. SEMARNAP-INEGI-México Tomo I.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2002). NOM-021-RECNAT-2000, Norma Oficial mexicana. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. SEMARNAT. México, D. F.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Toth, S.J. & Prince A.L. (1949). Estimation of cation-exchange capacity and exchangeable Ca, K and Na contents soils by flame photometer techniques. New Jersey Agricultural Experiment station, 439-445.
- Vega-Blancas, V. D. J., Fernández-Reynoso, D. S., Macedo-Cruz, A., Rios-Berber, J. D., & Ruiz-Bello, A. (2022). Análisis de la fertilidad del suelo mediante la validación e interpolación Kriging de sus variables. *Revista terra latinoamericana*, 40, 1-12 <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1573>
- Vijay, A. B., Dr. Mini y Dr. Rani B. (2023). A customized nutrient formulation for saline hydromorphic soils of southern coastal wetlands (AEU 3) of Kerala based on the weighted average method of nutrient status evaluation. *The Pharma Innovation Journal*, 12(7), 913-918 www.thepharmajournal.com
- Wakwoya, M. B., Woldeyohannis, W. H., & Yimamu, F. K. (2022). Effects of minimum tillage and liming on maize (*Zea mays* L.) yield components and selected properties of acid soils in Assosa Zone, West Ethiopia. *Journal of Agriculture and Food Research*, 8, 100301. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100301>

CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD EN CUATRO USOS DE SUELOS: EVALUACIÓN DE LA FÓRMULA DE PALACIOS (1963)

María Inés Yáñez Díaz¹; Israel Cantú Silva¹

¹ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional Km 145 CP 67700, Linares, Nuevo León, México.
maria.yanezdz@uanl.edu.mx

RESUMEN

La curva de retención de humedad (CRH) describe la relación entre el contenido de agua en el suelo y la fuerza de retención del suelo conocido como potencial de succión, que determinan la humedad disponible para las plantas, la cual puede verse alterado por los cambios de uso de suelo. Existen diversos métodos directos e indirectos para conocer el contenido de humedad de un suelo, sin embargo, algunas son costosa o no son fáciles de aplicar. El objetivo de esta investigación fue revisar la fórmula de Palacios (1963) descrita en la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-SEMARNAT-2000) y comparar el contenido de humedad (%H) a diferentes tensiones (0.3, 0.5, 1.5, 5, 10 y 15 atmósferas) versus valores calculados. Para esto se utilizó un suelo Vertisol con cuatro usos de suelo (matorral, pastizal, plantación y agrícola) a dos profundidades (0-5 y 5-30 cm). Los valores de capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y agua disponible (AU) oscilaron entre 39.3, 26.6 y 12.8 % para el suelo superficial, mientras que los valores disminuyeron a 35, 24 y 11.7 % en la profundidad 5-30 cm, respectivamente. Se encontraron diferencias significativas entre los usos de suelos únicamente en el agua disponible en la profundidad 0-5 cm. La CRH presento una alta correlación entre los valores observados y calculados. Fue necesario ajustar la fórmula de Palacios descrita en la norma basándonos en la fórmula original para el despeje del contenido de humedad para las tensiones de interés.

PALABRAS CLAVE

Agua disponible; Cambio de uso de suelo; Capacidad de campo; Punto de marchitez permanente; Vertisol.

INTRODUCCIÓN

Una de las actividades humanas que alteran la función de los ecosistemas e impactan su calidad, así como la disponibilidad de los recursos, son los cambios de uso de suelo (Vinhai *et al.*, 2017). El suelo proporciona agua disponible que es absorbido por las raíces de las plantas, por lo cual es importante para una gestión eficaz del agua conocer las propiedades hidroedáficas del suelo, tales como la retención de agua (Susha *et al.*, 2014; Wassar *et al.*, 2016).

La cantidad de agua con respecto al nivel de energía para mantenerla en el suelo se conoce como curva de retención de humedad (Susha *et al.*, 2014). El agua disponible surge de conocer previamente la retención de humedad entre dos valores discretos de potencial mátrico (-33 kPa y -1500 kPa) conocidos como capacidad de campo y punto de marchitez permanente, respectivamente, los cuales corresponden a los límites

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

superior e inferior de agua disponible en el suelo (Beniaich *et al.*, 2023; Chicas *et al.*, 2014). Por lo general, para su determinación se emplean métodos directos como indirectos, donde el tiempo, esfuerzo y recursos presentan una inconveniencia de los métodos directos (García y Medina, 2009).

Existen diversas ecuaciones empíricas para simular la curva de retención de humedad tales como Brooks y Corey (1964), Gardner (1958) y muy frecuentemente usadas van Genuchten (1980) (Fredlund y Xing, 1994). La Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 establece la determinación de la curva de retención de humedad a través del método gravimétrico con base a contenido de humedad a 0.3 atmósferas (CC) y a 15 atmósferas (PMP) mediante la olla y membrana de presión, para después determinar los contenidos de humedad a diferentes succiones según la fórmula de Palacios (1963) (SEMARNAT, 2002). Esta investigación pretende comparar el contenido de humedad a diferentes succiones en laboratorio versus contenido de humedad mediante la fórmula de Palacios (1963) especificada en la norma, para un suelo que presenta diferentes usos de suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra en el campus de las Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, situada a 8 km al sur de Linares, Nuevo León, en las coordenadas 24° 47' 51" N, 99° 32' 29" O a una altitud de 350 msnm. El suelo corresponde a un Vertisol con alto contenido de arcillas y la clase textural es arcillo limoso.

El muestreo fue al azar en cuatro usos de suelos; matorral espinoso tamaulipeco (vegetación con dominancia de espinosas), pastizal (*Dichanthium annulatum* Forssk.), plantación de eucaliptos (*Eucalyptus camaldulensis* Dehah. y *E. microteca* F. Muell.) y área agrícola (de temporal de *sorghum bicolor* L. Moench.). Se establecieron 4 puntos de muestreos donde se colectaron 4 submuestras a dos profundidades 0-5 y 5-30 cm (n=32). Las muestras se secaron al ambiente y se cribaron a través de una malla de 2 mm para la determinación de la humedad gravimétrica $\theta = \text{peso húmedo} - \text{peso seco} / \text{peso seco} * 100$ a CC (0.3 atmósferas) y PMP (15 atmósferas) a través del método de la placa y membrana de presión. El agua disponible (AU) se consideró como la diferencias entre CC y PMP. Así mismo, las muestras de suelo se sometieron a presiones de 0.5, 1.5, 5 y 10 atmósferas utilizando los extractores de placa (Soil Moisture Equipment Corp. Santa Barbara, CA.) para la obtención de la curva de retención de humedad (CRH) en laboratorio siguiendo el método AS-06 de la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002) la cual establece la ecuación de Palacios (1963) para obtener los contenidos de humedad a diferentes presiones considerando los rangos de CC y PMP.

Ecuación de Palacios (1963) Método AS-06 NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002):

$$\text{Log} \theta = \frac{(K - \text{Log}(T - c))}{n}$$

dónde; $c = -0.000014 \theta_g \text{CC}^{2.7} + 0.3$

$$n = \frac{(\text{Log}(T_{pmp} - c) - \text{Log}(T_{cc} - c))}{\text{Log} \theta_{pmp} - \text{Log} \theta_{cc}}$$

$$k = \text{log}(T_{pmp} - c) + n \text{Log} \theta_{pmp}$$

Con base a la fórmula original de Palacios (1963) $T = \frac{k}{\theta_g^n} + c$ la fórmula de la norma se despeja a:

$$\theta_g = \sqrt[n]{(T - c)/k}$$

dónde: θ_g = Contenido de humedad (%H); θ_{gcc} = Contenido de humedad a CC (%H_{CC}); θ_{gpmp} = Contenido de humedad a pmp (%H_{pmp}); T = Presión elegida (kPa); T_{cc} = Presión a CC (kPa); T_{pmp} = Presión a PMP (kPa); CC = Capacidad de campo y PMP = Punto de marchitez permanente.

Los valores de CC, PMP y AU se sometieron a pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk y homocedasticidad de varianza con la prueba de Levene, se realizó ANOVA de un factor para detectar diferencias entre los cuatro sitios de estudio para cada profundidad y una prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para la comparación de medias, a través del Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS) versión estándar 25.0 para Windows. Se utilizó el programa EXCEL (.xlsx) del paquete Office para las curvas de retención de humedad y la aplicación de la fórmula de Palacios (1963).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de CC y PMP no presentaron diferencias significativas entre los cuatro usos de suelos (matorral, pastizal, plantación y agrícola) para cada una de las profundidades evaluadas (0-5 y 5-30 cm) (Cuadro 1). En promedio, CC fue de 39.3 % en un orden descendente de pastizal > matorral > agrícola > plantación para la profundidad 0-5 cm, mientras que en la profundidad 5-30 cm, disminuyó a 35.7 % siendo el orden de plantación > agrícola > matorral > pastizal. PMP presentó en promedio valores de 26.6 % y 24.0 % para las profundidades 0-5 y 5-30 cm, respectivamente, con un orden descendente en humedad de matorral > plantación > pastizal > agrícola (0-5 cm) y plantación > matorral > pastizal > agrícola (5-30 cm).

El AU para la profundidad 0-5 cm fue en promedio 12.8 % y de 11.7 % para la profundidad 5-30 cm, se encontraron diferencias significativas entre los usos de suelos únicamente en la primera profundidad, donde el área agrícola y plantación presentaron los valores más altos. El suelo Vertisol debido a su alto contenido de arcilla presentan una retención de humedad alta, lo que hace que los efectos por cambios de uso de suelo no sean significativos, sin embargo, las conversiones a tierras de cultivo y pastizales tienen un impacto en las propiedades del suelo (Gajic et al., 2023).

La CRH tanto para los valores en laboratorio como los estimados por la fórmula de Palacios se presentan en la Figura 1. La correlación entre los valores de laboratorio (observados) como los calculados fue alta ($R^2 = 0.97$) con un error cuadrático medio de 0.52 a 3.43 (Cuadro 2).

Cuadro 1. Valores medios (v.m.) del contenido de humedad (%H) \pm desviación estándar (d.e.) para capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y agua disponible (AU) para cada sitio (n=4). F valor entre usos de suelo para cada profundidad (0-5 y 5-30 cm).

Variable	Profundidad (cm)	USOS DE SUELO				F valor
		Matorral v.m (%) \pm d.e.	Pastizal v.m (%) \pm d.e.	Plantación v.m (%) \pm d.e.	Agrícola v.m (%) \pm d.e.	
CC	0-5	39.5 \pm 3.43	39.9 \pm 5.79	38.8 \pm 1.40	39.1 \pm 1.53	0.068 NS
	5-30	34.4 \pm 2.49	34.1 \pm 5.27	37.3 \pm 0.28	36.8 \pm 0.70	1.175 NS
PMP	0-5	30.3 \pm 5.07	26.3 \pm 5.28	27.0 \pm 0.50	22.8 \pm 1.13	2.744 NS
	5-30	23.9 \pm 5.03	23.7 \pm 4.69	24.9 \pm 0.81	23.5 \pm 0.52	0.145 NS
AU	0-5	9.2 ^a \pm 2.25	13.6 ^{ab} \pm 0.90	11.8 ^{bc} \pm 1.69	16.4 ^c \pm 2.13	10.783 **
	5-30	10.5 \pm 2.81	10.4 \pm 1.62	12.4 \pm 0.86	13.2 \pm 1.01	2.886 NS

NS= No hay diferencias significativas ($p > 0.05$); * = diferencias significativas; ** = diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$). Letras diferentes entre los usos de suelo para la AU 0-5 cm indica diferencias significativas (Tukey $p \leq 0.05$).

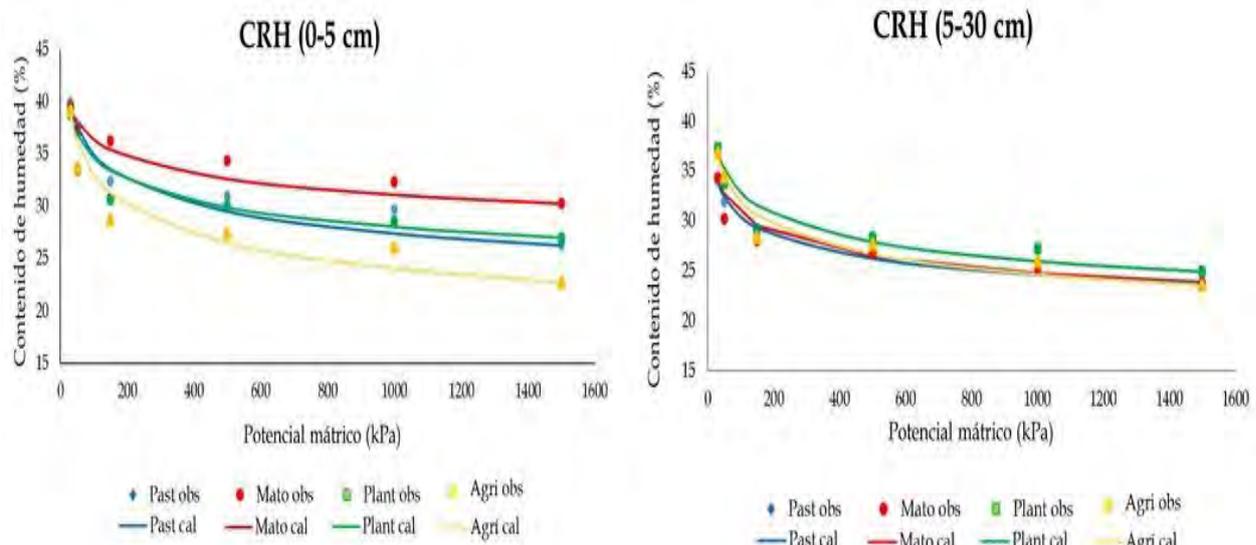


Figura 1. Curva de retención de humedad observados y calculados por profundidad.

Cuadro 2. Valores empíricos de la fórmula de Palacios (1963), error cuadrático medio y coeficiente de correlación de los valores de porcentaje de humedad de la CRH de laboratorio (observados) versus calculados.

Sitio	Profundidad (cm)	ECM	c	n	k	R2
Pastizal	0-5	1.55	0.00619	-9.36192	2.9027E+16	0.98
	5-30	0.52	0.10765	-10.77120	9.6225E+17	0.99
Matorral	0-5	1.02	0.01321	-14.67086	8.012E+24	0.97
	5-30	1.53	0.10344	-10.77282	1.0552E+18	0.96
Plantación	0-5	3.43	0.02676	-10.77846	4.0193E+18	0.94
	5-30	1.70	0.05431	-9.71732	5.6424E+16	0.97
Agrícola	0-5	3.22	0.02093	-7.22929	9.7507E+12	0.96
	5-30	1.26	0.06321	-8.77386	1.6451E+15	0.97

CONCLUSIONES

El cambio de uso de suelo en el Vertisol analizado no presentó diferencias en las dos profundidades para CC y PMP con valores medios de 37.6 % a 25.3 %, respectivamente. Sin embargo, la disponibilidad de agua (12.2 %) para las plantas en la parte superficial del suelo fue diferente y superior principalmente para los usos agrícola y plantación. La CRH evaluada en laboratorio (observadas) en comparación con la fórmula de Palacios (calculadas) presentaron buena correlación, lo que nos indica que con los valores de CC y PMP, podemos generar la tendencia de la curva de retención de humedad del suelo de manera confiable con el ajuste a la fórmula presentada en la norma.

BIBLIOGRAFÍA

- Beniaich, A., Otten, W., Shin, H., Cooper, H.V., Rickson, J., Soulaymani, A., & El Gharous, M. (2023). Evaluation of pedotransfer functions to estimate some of soil hydraulic characteristic in Nort Africa: A case study from Morocco. *Front. Environ. Sci.* 1- 17. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1090688>
- Chicas S., R.A., Venegas, E.A., & García A., N. (2014). Determinación indirecta de la capacidad de retención de humedad en suelos de la subcuenca del río Torjá, Chiquimula, Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias.* 23 (1). 41-46.
- Fredlund, D.G. & Xing, A. (1994). Equations for soil-water characteristic curve. *Can. Geotech. J.* 31. 521-532.
- Gajíc K., Kresović, B., Tolimir, M., Zivotić, L., Lipovac, A., & Gajíc, B. (2023). Hydraulic properties of fine-textured soils on lowland ecosystems of Western Serbia vary depending on land use. *Geoderma Regional* 32. e00603. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2022.e00603>
- García C., J. & Medina G., H. (2009). Correlaciones entre la curva de retención de humedad y propiedades físico-químicas de los suelos de La Habana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias.* 18 (2). 40-46.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Palacios V., E. (1963). Fórmula para obtener la curva de retención de humedad de un suelo en función de la capacidad de campo y punto de marchitamiento permanente. *Memorias del 1er. Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. Sociedad Mexicana de la Ciencias del Suelo. México. 394-405.
- SEMARNAT (2002). NOM-021-SEMARNAT-2000. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. Publicada 31 diciembre 2002. 67 p.
- Susha, S.U., Singh, D.N., & Shojaei, M. (2014). A critical review of soil moisture measurement. *Measurement*, 54, 92-105. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.04.007>
- Vinhal-Freitas, I.C., Corrêa, G.F., Wendling, B., Bobuřská, L., & Ferreira, A.S. (2017). Soil textural class plays a major role in evaluating the effects of land use on soil quality indicators. *Ecological Indicators*, 74, 182-190. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.020>
- Wassar, F., Gandolfi, C., Rienzner, M., Chiaradia, E.A., & Bernardoni, E. (2016). Predicted and measured soil retention curve parameters in Lombardy region north of Italy. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(3), 207-214. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.05.005>

DISPONIBILIDAD DEL FÓSFORO DEL SUELO POR EL EFECTO NUEVE SISTEMAS EN MONOCULTIVO EN REGOSOLES DEL VALLE DE SERDÁN, PUEBLA

Juan Contreras-Ramos^{1*}; Ramón Díaz-Ruíz¹; Efraín Pérez-Ramírez¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, Boulevard Forjadores de Puebla No 205, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, CP 72760, Puebla

* Autor de correspondencia. jcontrerasr@colpos.mx

RESUMEN

La agricultura del valle de Serdán depende del monocultivo del maíz, en suelos minerales del tipo alcalinotérreos que tienen baja disponibilidad de materias orgánicas y poco fértiles, necesitando de aportes externos de nutrientes para compensar la baja capacidad productiva de dichos suelos. La composición de los suelos locales limita la disponibilidad del fósforo aplicado como fertilizante y adicionalmente la escasa existencia de sistemas agrícolas locales y de rotación entre ellos, hacen más difíciles que se mejore en el suelo mediante la solubilidad de nutrientes en formas mineral y orgánica por la actividad biológica. El objetivo fue: Determinar el efecto de nueve sistemas agrícolas en la disponibilidad del fósforo soluble del suelo, en un terreno agrícola característico del valle de Serdán. Entre los años 2012-2016 se estudió con un diseño totalmente al azar nueve sistemas agrícolas de monocultivo con cuatro repeticiones, en 2016 se tomaron cuatro muestras de suelo por sistema estudiado analizándolas según la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT, 2000) determinando pH, Materia orgánica (MO), Fósforo Bray 2 (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Nitrógeno total (NT), Se analizaron las variables con el SAS VS 9 para los 20 y 40 cm de profundidad del suelo, realizando estadísticas de correlación, covarianzas, análisis de conglomerados, componentes principales, y Anovas. Los resultados señalan que la materia orgánica en los primeros 20 cm del suelo, es la covariable que está implicada en la solubilidad del fósforo en el suelo, reaccionando la misma e interactuando directamente con los minerales alcalinotérreos del suelo para favorecer la liberación del fósforo a esta profundidad.

PALABRAS CLAVES

Solubilidad; Nutriente; Fósforo.

INTRODUCCIÓN

El suelo agrícola es producto de su entorno ecológico con el que evolucionaba, y después de las modificaciones y perturbaciones que el hombre al descubrir la agricultura ocasionó y sigue provocando, ya que esto significó cambiar la biota original del suelo y favorecer un mínimo de especies que se desarrollaran durante el ciclo vegetativo de la especie favorecida para ser cultivada. De acuerdo a Sellami M.H and Terribile F. (2023), las actividades agrícolas mientras más técnicas y especializadas en monocultivos son más dependientes de excesos de agroquímicos para sostener su productividad y rentabilidad, provocando interacciones negativas que dañan la salud

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

del suelo. La región del valle de Serdán es de suelos pomáceos compuesto de minerales de plagioclasas (albita y anortita altos en calcio, magnesio y sodio) de origen volcánico pocos fértiles para la producción agrícola (Pérez-Méndez 2017, Rodríguez-Camacho et al 2021); por lo que los cultivos locales requieren ser fertilizados anualmente con nitrógeno y fósforo, siendo el fósforo un nutriente que tiende a ser fijado y retenido por la composición mineral de los suelos locales. De acuerdo a Grzebisz et al (2024), la baja disponibilidad de fósforo del suelo, puede solucionarse parcialmente con la selección de cultivos, cuyas secreciones de compuestos orgánicos en la rizosfera en asociación en sus raíces con los microorganismos del suelo, mitigan los efectos negativos de la adsorción de fósforo liberando parte del mismo para el propio cultivo, y su remanente puedan ser aprovechado por el siguiente cultivo en rotación. El objetivo fue: Determinar el efecto de nueve sistemas agrícolas en la disponibilidad del fósforo soluble del suelo en un terreno agrícola característico del valle de Serdán

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona del estudio fue en los terrenos agrícolas del ITS-Serdán, del municipio de Chalchicomula de Sesma en Puebla, los suelos locales de acuerdo a Pérez-Méndez (2017) y Rodríguez-Camacho et al (2021), son Regosoles de textura migajón-arenoso, con densidades aparentes de 2.4 g cm^{-3} con una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 8 cmol kh^{-1} , aparte hemos determinado que su capacidad de campo es del 13% y su punto de marchitez del 7.2%. La biodiversidad agrícola de 28 cultivos en 1946 y se ha reducido a seis, por razones económicas como ambientales ocasionadas por el cambio climático local (retraso en fechas de siembras, reducción de lluvias e incremento de temperaturas). Se estudiaron en el 2011-2016 nueve sistemas agrícolas en monocultivo, en bloques totalmente al azar con cuatro repeticiones, 1) ME (Maíz 110N-50 P₂O₅ con 5 toneladas de compost bovino cada año), 2) M135 (maíz con 135N-50P₂O₅), 3) M110 (maíz 110N-50 P₂O₅), 4) MC (maíz testigo fertilizado con 110N-50 P₂O₅ fertilizado solo en año par, pues el cultivo no soportó más de un ciclo sin fertilizante), 5) MF (Maíz asociado con frijol), 6) MH (maíz asociado con haba), ambas asociaciones (MF y MH) fertilizados con 110N-50 P₂O₅, 7) frijol (60N-60 P₂O₅) y el 8) haba (40N-40P₂O₅), y el tratamiento 9) Chicharo con 80N y 40 P₂O₅ (Ch), las variedades empleadas fueron maíz Sintético Serdán, y criollas locales el resto de los cultivos. Todos los años los tratamientos se sembraron en el mismo lugar asignado, asegurando su efecto en la fertilidad y propiedades del suelo. Se cosecho la biomasa total de los cultivos, tal como se practicaba en la región. En el 2016 se tomaron cuatro muestras de suelo por tratamiento (0-20 y 20-40 cm de profundidad) para sus análisis de suelos respectivos, se empleó la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT, 2000) para la determinación de los parámetros químicos de pH, Materia orgánica (MO), Fósforo Bray 2 (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Nitrógeno total (NT). Se realizó el análisis estadístico estos componentes de fertilidad en ambos niveles de profundidad del suelo, analizando estadísticamente la correlación, covarianzas, análisis de conglomerados, componentes principales, y Anovas de los resultados de suelos y rendimientos con el software estadístico SAS VS 9. Por su extensión solo se discutió el análisis estadístico individual de las variables MO, NT, pH y P.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico general de los sistemas agrícolas en monocultivo estudiados indicó diferencias en el incremento o decremento de las variables de fertilidad estudiadas entre los sistemas de cultivo y las profundidades muestreadas (cuadro 1). Se halló en los primeros 20 cm del suelo, una estrecha relación entre el fósforo del suelo y la materia orgánica, con una $r = 0.51$ y $p_{\alpha} < 0.0012$, realizando el análisis de covarianza entre la MO y P (fósforo), nos dio una FC del 26.67 con una $p > 0.001$ y un coeficiente del -1.91, demostrando dicha correlación.

Cuadro 1 Análisis estadístico de las medias de tres de las variables de fertilidad del suelo que se estudiaron en Serdán, Puebla.

Variable	Unidad	Sistemas de cultivo estudiados (0 a 20 cm de profundidad)								
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
		ME	M135	M110	MC	MF	MH	F	H	Ch
pH	%	6.55	6.55	6.43	6.41	6.51	6.75	6.51	6.67	6.81
		abc	abc	d	d	cd	ab	cd	abc	a*
MO	g-Kg	14.45	8.52	9.15	9.95	16.05	14.05	15.27	22.65	15.02
		b	c	c	c	b	b	b	a**	b
NT	%	0.127	0.077	0.080	0.085	0.122	0.106	0.122	0.185	0.115
		b	d	d	cd	b	bc	b	a*	b
P	ppm	16.55	5.50	15.73	16.08	30.72	34.44	44.99	20.94	46.06
		cd	d	cd	cd	bc	ab	ab	bc	a*
		Sistemas de cultivo estudiados (0 a 40 cm de profundidad)								
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
pH	%	6.85	6.85	6.84	6.94	6.75	6.5d	6.79	6.56	6.59
		a	a	a	a	abc	d	ab	cd	bcd
MO	g-Kg	8.2	8.78	8.38	10.55	16	9.77	16.03	9.51	12.85
		c	c	c	bc	a**	bc	a**	bc	ab
NT	%	0.08	0.08	0.09	0.10	0.14	0.12	0.14	0.09	0.14
		c	c	c	bc	a*	ab	a*	c	a*
P	ppm	20.02	8.71	19.79	21.44	38.6	39.15	38.10	68.72	67.13
		bc	c	bc	bc	b	b	b	a**	a**

Se analizó el efecto el análisis de cada variable de manera independiente, $GL = 8$

**altamente significativo

* diferencias estadísticas significativas

De acuerdo con el Cuadro 1, se encontraron diferencias entre los niveles de fósforo del suelo en las dos profundidades estudiadas. En la primera capa los mayores incrementos en el fósforo se dieron con el frijol (T7) y chícharo (T9), seguido de las asociaciones MF y MH. En la segunda capa del suelo, el incremento del fósforo disponible, ocurrió con el Haba (T8) y el Chícharo (T9) con niveles superiores a los 67

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

ppm de fósforo, las asociaciones de maíz con leguminosas (T5 y T6) y el frijol en monocultivo. El contenido de fósforo del suelo en los sistemas donde se manejó el monocultivo del maíz (T1 a T4), tendió a ser de mediano a bajo en ambas capas de suelo, siendo T2 el que mayor reducción registro en el contenido del fósforo, posiblemente producto de una mayor biomasa removida por el exceso de nitrógeno, por lo que lo recomendable es no retirar los residuos de cosecha cuando se empleen dosis altas de nitrógeno.

En el Cuadro 1, muestra cambios en el pH del suelo entre los sistemas siendo más alto con el chícharo (T9) en la primera capa, en subsuelo el pH se incrementó (más en los tratamientos donde solo estaba el maíz en monocultivo (T1 al T4). La materia orgánica (MO) superficial se incrementó principalmente en presencia de leguminosas solas (Haba > frijol) o en asociación (T5 al T9), siguiendo la misma tendencia los valores de la MO del subsuelo, si bien se notan diferencias en el contenido de la MO entre ambas capas, entre sistemas y dentro del mismo cultivo (Haba 20 cm > Haba 40 cm, donde el contenido de MO es menor en el subsuelo). El nitrógeno total, siguió la misma tendencia de la MO, ya que está altamente correlacionada con la misma, y fue mayor esta correlación en el subsuelo dando valores de $r = 0.71$ y una probabilidad de 0.001. El pH del suelo, tendió a ser más estable al manejo, pero aun así se observaron diferencias sistemas (T9) y profundidades estudiadas, que al parecer están asociadas a la presencia o ausencia de leguminosas.

Con respecto a lo discutido, Guorui Li et al (2023) indican que las leguminosas solas, en rotación, sucesión o asociadas con gramíneas o cultivos idóneos ayudan y benefician al suelo con incremento de la materia orgánica con una mejor relación C:N; y mejoran la actividad microbiana. Por su parte, Mohammed M et al (2018), señalan que las leguminosas como el haba requieren de grandes cantidades de energía a través del fósforo para fijar el nitrógeno, por lo que la actividad tanto de sus exudados de sus raíces (citrato, ácido fosfatado y liberación de protones H^+), que estimulan la actividad microbiana alrededor de ellas y contribuyen a solubilizar el fósforo del suelo, resaltando que esta acción es mayor en los cultivos intercalados.

CONCLUSIONES

Los sistemas agrícolas estudiados cambiaron las características químicas del suelo, en las dos capas del suelo, donde en el mayor incremento del fósforo disponible se dio en la segunda capa de suelo estudiada, por el efecto del haba y chícharo. En lo general sobresalieron cuatro sistemas agrícolas en monocultivo que fueron leguminosas (Frijol y Haba), o la asociación maíz-frijol (MF) o maíz-haba (MH), sistemas que mejoraron el contenido de materia orgánica (MO), el nitrógeno total (NT) y el fósforo del suelo (P) en ambas profundidades.

Las prácticas de cultivo estudiadas, actuaron sobre las propiedades químicas del suelo, ocasionando interacciones positivas entre materia orgánica y fósforo principalmente en los primeros 20 cm de profundidad, que es donde hay una mayor interacción suelo, planta, nutrientes aplicados, biomasa del suelo. Pero la confirmación de la actividad biomasa (micro fauna y flora del suelo), con respecto a la solubilidad de nutrientes, debe ser estudiada y confirmada con los estudios específicos requeridos.

BIBLIOGRAFÍA

- Guorui Li, Xueqin Tang, Quanming Hou, Tong Li, Huanxin Xie, Zhiqiang Lu, Tishuo Zhang, Yuncheng Liao, Xiaoxia Wen. 2023. Response of soil organic carbon fractions to legume incorporation into cropping system and the factors affecting it: A global meta-analysis, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 342, 2023, 108231, ISSN 0167-8809, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108231>. en el sitio web www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880922003802)
- Grzebisz W, Niewiadomska A, Potarzycki J, Andrzejewska A. Phosphorus HotSpots in Crop Plants Production on the Farm—Mitigating Critical Factors. *Agronomy*. 2024; 14(1):200. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010200>
- Mohammed Mouradia,b, Mohamed Farissic, Bouchra Makoudia, Abdelaziz Bouizgarenb, Cherki Ghoulama 2018. Effect of faba bean (*Vicia faba* L.)-rhizobia symbiosis on barley's growth, phosphorus uptake and acid phosphatase activity in the intercropping system. *Annals of Agrarian Science* 16 (2018) 297-303, www.elsevier.com/locate/aasci.
- Pérez-Méndez, N. 2017. Estudio regional del Campo Volcánico de la Cuenca Serdán - Oriental a través de métodos potenciales. Tesis para obtener el grado de Maestra en Geociencias Aplicadas. IPICYT. pp.180
- Rodríguez-Camacho A.G., Sampieri A., Peña-Moreno R.D, Silva-Gómez S.A, Castelan-Vega R. 2021. Movilidad de atrazina en dos tipos de suelos en el estado de Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, pág. 296-297, volumen 12 número 2, 15 de febrero-31 de marzo 2021.
- Sellami, M.H.; Terribile, F. Research Evolution on the Impact of Agronomic Practices on Soil Health from 1996 to 2021: A Bibliometric Analysis. *Soil Syst.* **2023**, *7*, 78. <https://doi.org/10.3390/soilsystems7030078>
- Zhang, Min & Li, Chengliang & Harris, W.G.. (2014). Phosphate minerals and solubility in native and agricultural calcareous soils. *Geoderma*. s 232-234. 164-171. [10.1016/j.geoderma.2014.05.015](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.05.015).

EFFECTIVIDAD DE LA APLICACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE YODO SOBRE LA BIOMASA, RENDIMIENTO Y ASIMILACIÓN DE NITRÓGENO EN LECHUGA

Juan José Patiño Cruz; Esteban Sánchez Chávez*; Celia Chávez Mendoza; Ezequiel Muñoz Márquez; Alejandro Guevara Aguilar

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Av. 4ta. Sur 3820, Fracc. Vencedores del Desierto. Cd. Delicias, Chihuahua. México. C. P. 33089.

*Autor de correspondencia: esteban@ciad.mx

RESUMEN

El proceso de asimilación del nitrógeno es clave tanto para el crecimiento, desarrollo y productividad de los cultivos. Diversos factores regulan el proceso de asimilación de nitrógeno, destacando los micronutrientes que tienen una función de cofactor. Por lo que, el objetivo del estudio fue evaluar la efectividad de la aplicación foliar de yoduro de potasio (KI-) *versus* nanopartículas de yodo (I₂) sobre la acumulación de biomasa, rendimiento y asimilación de nitrógeno en lechuga cv. Butterhead. Los tratamientos foliares de Yodo fueron: yoduro de potasio (KI-) y nanopartículas de yodo (I₂) a dosis de 0, 40, 80 y 160 μM de yodo. Los resultados obtenidos indican que la mayor biomasa en plantas de lechuga fue el tratamiento de nanopartículas de yodo a dosis 40 μM con un incremento del 81% respecto al control. Para el rendimiento, el mejor tratamiento fue yoduro de potasio a una dosis de 80 μM, con un incremento del 24% respecto al control. Con lo que respecta a la concentración de aminoácidos, el mejor tratamiento fue nanopartículas de yodo a dosis de 40 μM, presentando un incremento del 34% respecto al control. El tratamiento más destacado en la concentración de proteínas fue el yoduro de potasio a dosis 160 μM, presentando un incremento de 17% respecto al control. Finalmente, se concluye que la aplicación de Nanopartículas de Yodo presenta mayor efectividad en la asimilación de nitrógeno lo cual se ve reflejado en la producción de biomasa y rendimiento en comparación a la aplicación de yoduro de potasio.

PALABRAS CLAVE

Lactuca sativa L.; Nanopartículas; Metabolismo nitrogenado; Yodo.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno juega un papel fundamental en el crecimiento, desarrollo y productividad de los cultivos. El crecimiento de las plantas depende de un suministro adecuado de nitrógeno (N) para sintetizar los aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y otros componentes celulares necesarios para el desarrollo de las plantas. La asimilación de N por las plantas requiere la absorción de NO₃⁻, la reducción a NO₂⁻, la conversión de NO₂⁻ a NH₄⁺ y la incorporación de NH₄⁺ a compuestos orgánicos. Diversos factores regulan el proceso de asimilación de nitrógeno, destacando los micronutrientes que tienen una función de cofactor (Sánchez, 2006).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

El yodato (IO_3) es un cofactor alternativo de la Nitrato Reductasa de ahí la importancia de su implicación fisiológica para la formación de compuestos orgánicos (Gonzali, 2017).

Estudios previos han encontrado que el yodo en las plantas se desplaza principalmente por vía xilemática por rutas apoplástica y simplástica, haciendo uso de canales de cloruro (Cl), cotransportadores de Na^+ , K^+/Cl , simportadores o antiportadores de H^+/Cl y transportadores de cloro energizados por bombas de ATP (Gonzali, 2017). Sin embargo, existe escasa literatura del efecto de la aplicación de nanopartículas de yodo sobre el proceso de asimilación de nitrógeno. Por lo que, el objetivo del presente estudio fue evaluar la efectividad de la aplicación foliar de nanopartículas de yodo (I_2) *versus* yoduro de potasio (KI) sobre la acumulación de biomasa, rendimiento y asimilación de nitrógeno en lechuga cv. Butterhead.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en invernadero con malla sombra en las instalaciones del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, en Delicias, Chihuahua, México, durante los meses de abril y mayo de 2024, bajo condiciones de malla sombra. Se utilizaron semillas de lechuga cv. butterhead adquiridas a la empresa Isla's Garden Seed Company®. Las cuales se germinaron en charolas de unicel en condiciones de temperatura y humedad relativa ambientales. Posteriormente, las plantas de lechuga se trasplantaron a macetas de 5 L, rellenas completamente con una mezcla de vermiculita y perlita, en una proporción 2:1. Durante el experimento, las plantas se irrigaron con una solución nutritiva estándar: Hoagland (pH 6.0-6.1). Se utilizó un diseño completamente al azar con 2 tratamientos y 4 niveles. El factor por evaluar fue la aplicación de yoduro de potasio (KI) y nanopartículas de yodo (I_2) vía foliar y los niveles fueron las dosis 0, 40, 80 y 160 μM con 2 tratamientos y 4 repeticiones.

Se determinó la actividad de nitrato reductasa (NR) y se cuantificó la biomasa y el rendimiento en que se expresó como g planta^{-1} p.f. y p.s. Asimismo, se evaluó la concentración de proteína y aminoácidos que se expresó como mg g^{-1} de p.f. los cuales se calcularon con las fórmulas adaptadas por Sánchez et al. (2024). Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza y una prueba de separación de medias mediante la prueba de LSD-Fisher con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ ($P \leq 0.05$) a través del software SAS versión 9.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El nitrógeno juega un papel fundamental en el crecimiento, desarrollo y productividad de los cultivos (Sánchez, 2006). La mayor biomasa en plantas de lechuga fue el tratamiento de nanopartículas de yodo a dosis 40 μM con un incremento del 81% respecto al control. Para el rendimiento, el mejor tratamiento fue yoduro de potasio a una dosis de 80 μM , con un incremento del 24% respecto al control. Con lo que respecta a la concentración de aminoácidos, el mejor tratamiento fue nanopartículas de yodo a dosis de 40 μM , presentando un incremento del 34% respecto al control. El tratamiento más destacado en la concentración de proteínas fue el yoduro de potasio a dosis 160 μM , presentando un incremento de 17% respecto al control.

La actividad nitrato reductasa inciso (a) nos muestra la mayor efectividad con la dosis 80 μM de yoduro. Lo que se ve directamente reflejado en el rendimiento inciso (c) con la misma dosis, aparentemente no existe diferencia significativa entre dosis y tratamientos del rendimiento, pero se observa que la dosis de 80 μM de yoduro fue la mejor dosis con un 24% de incremento respecto al control, sin embargo, la dosis de nanopartículas

40 μM incremento en un 23% respecto al control e igualo al yoduro con la mitad de la dosis. Así mismo, se observa que la dosis 40 μM de nanopartículas favoreció la biomasa inciso (b) la cual tuvo diferencia significativa respecto todas la dosis y tratamientos con un 34% respecto al control y los aminoácidos inciso (d). Finalmente, las proteínas inciso (e) la mejor dosis fue 160 μM de yoduro y tuvo diferencia significativa respecto a las diferentes dosis y tratamientos, y fue la mejor con una mayor concentración de proteína con un 17% respecto al control.

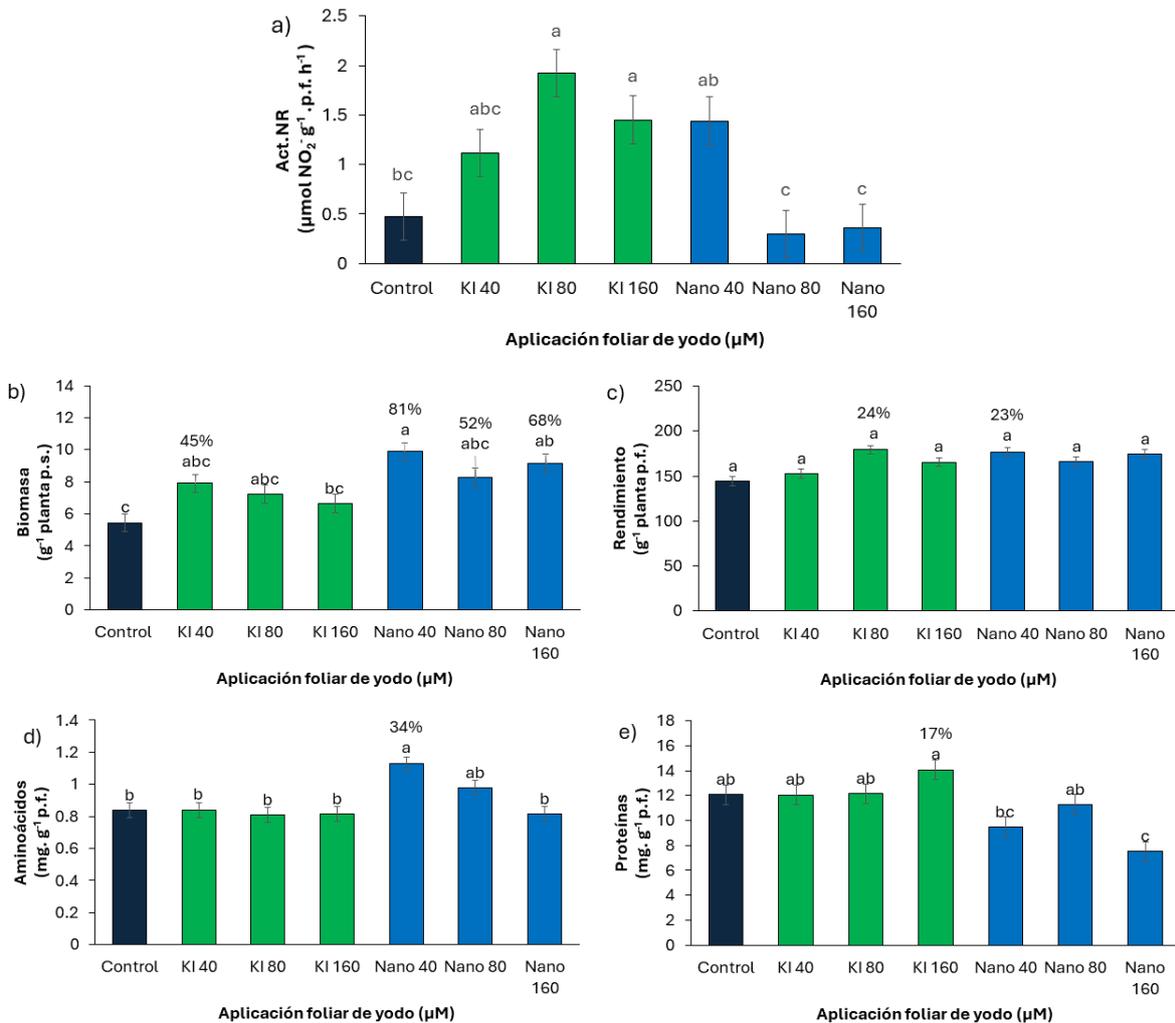


Figura 1. Efecto de la aplicación foliar de yoduro de potasio (KI) y nanopartículas de yodo (I₂) actividad NR (a), biomasa (b), rendimiento (c), proteínas (d) y aminoácidos (e) en lechuga variedad butterhead. *Las letras distintas muestran diferencias estadísticamente significativas.

La enzima nitrato reductasa (NR) y el yodo están implicados en la asimilación del nitrógeno que como resultado son responsables directos de la formación de biomasa, el rendimiento, los aminoácidos y proteínas. La enzima NR utiliza como cofactor al yodo para la transformación del nitrato NO_3^- a nitrito (NO_2^-) el cual será posteriormente degradado a otras moléculas para la liberación del nitrógeno y la síntesis de aminoácidos y proteínas.

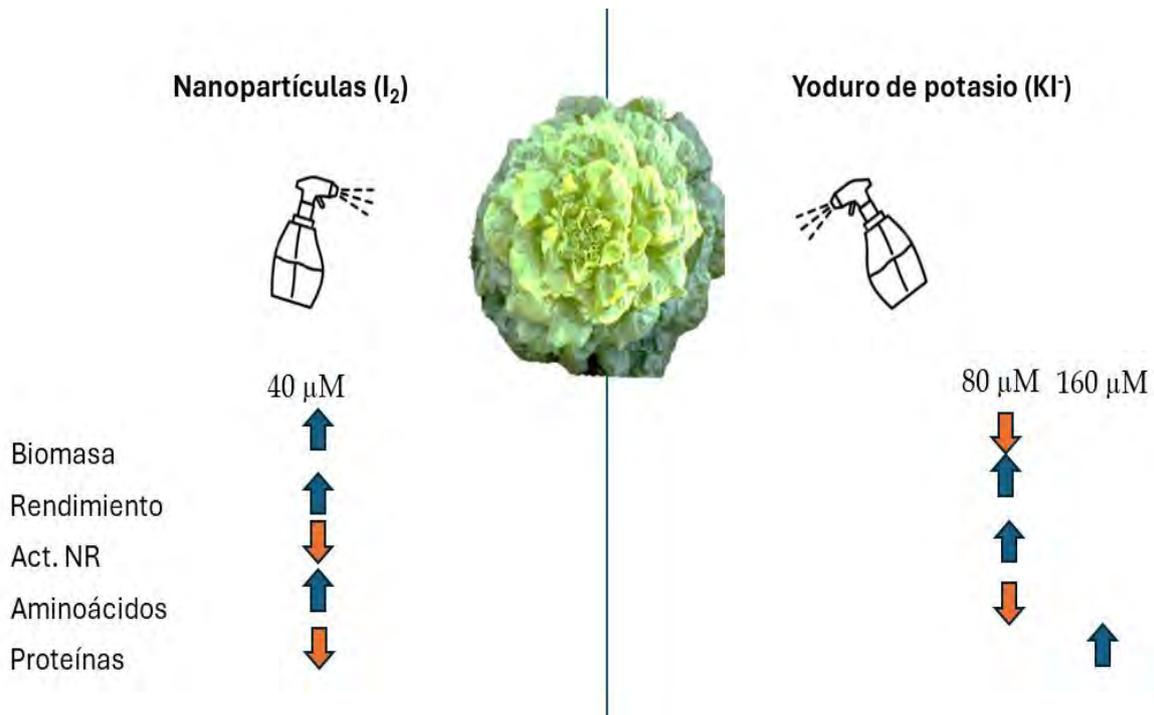


Figura 2. Efecto de la aplicación foliar de yoduro de potasio (KI) y nanopartículas de yodo (I_2) sobre diferentes variables, las flechas color azul indican un efecto positivo, y las flechas color naranja indican un menor efecto.

CONCLUSIONES

En el experimento el tratamiento de nanopartículas $40 \mu\text{M}$ presentó la mayor biomasa con un incremento del 81% respecto al control. Con respecto al rendimiento la dosis $80 \mu\text{M}$ de yoduro incremento en 24% respecto al control seguido de nanopartículas de yodo con la dosis $40 \mu\text{M}$ con un 23% de incremento respecto al control, lo que permite igualar al yoduro con la mitad de la dosis. Asimismo, la mayor actividad nitrato reductasa se presentó con la dosis $80 \mu\text{M}$ de yoduro que se ve reflejada en el rendimiento. En cuanto al contenido de aminoácidos la dosis de $40 \mu\text{M}$ de nanopartículas favoreció en un incremento del 34% respecto al control. En lo que respecta al contenido de proteína la dosis que mejor favoreció fue la dosis de $160 \mu\text{M}$ de yoduro con un incremento del 17% respecto al control. Finalmente, se concluye que la mayor efectividad del yodo aplicado se presenta con Nanopartículas de yodo (I_2) a dosis de $40 \mu\text{M}$.

BIBLIOGRAFÍA

- Gonzali, S., Kiferle, C., & Perata, P. (2017). Iodine biofortification of crops: agronomic biofortification, metabolic engineering and iodine bioavailability. *Current opinion in biotechnology*, 44, 16-26.
- Harrison, J., Hirel, B., & Limami, A. M. (2004). Variation in nitrate uptake and assimilation between two ecotypes of *Lotus japonicus* and their recombinant inbred lines. *Physiologia Plantarum*, 120(1), 124-131.
- Krajčovičová-Kudláčková, M., Bučková, K., Klimeš, I., & Šeboková, E. (2003). Iodine deficiency in vegetarians and vegans. *Annals of nutrition and metabolism*, 47(5), 183-185.
- Pradhan, S., Patra, P., Mitra, S., Dey, K. K., Jain, S., Sarkar, S., ... & Goswami, A. (2014). Manganese nanoparticles: impact on non-nodulated plant as a potent enhancer in nitrogen metabolism and toxicity study both in vivo and in vitro. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(35), 8777-8785.
- Roberts, M. J., Long, S. P., Tieszen, L. L., & Beadle, C. L. (1985). Measurement of plant biomass and net primary production. In *Techniques in bioproductivity and photosynthesis* (pp. 1-19). Pergamon.
- Sánchez-Chávez, E. (2006). Caracterización del estado nutricional y fisiológico en plantas de judía (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike) sometidas a un estrés por nitrógeno.
- Poletti, S., Gruissem, W., & Sautter, C. (2004). The nutritional fortification of cereals. *Current Opinion in Biotechnology*, 15(2), 162-165.

EFECTO DE LOS MICROPLÁSTICOS PROVENIENTES DE CUBREBOCAS EN LAS ACTIVIDADES ENZIMÁTICAS DEL SUELO

Honorio Patiño Galván¹; María de la Luz Xóchilt Negrete Rodríguez^{1,2}; Alejandra Herrera Pérez²; Dioselina Álvarez Bernal³; Luis Ángel Alcalán López³; Marcos Alfonso Lastiri Hernández⁴; Héctor Iván Bedolla Rivera⁵; Eloy Conde Barajas^{1,2}

¹ Departamento de Posgrado de Ingeniería Bioquímica, TNM/IT de Celaya, Ave. Tecnológico y A. García Cubas No. 600, Celaya, Guanajuato, 38010, México eloy.conde@itcelaya.edu.mx

² Departamento de Ingeniería Bioquímica y Ambiental, TNM/IT de Celaya, Ave. Tecnológico y A. García Cubas No. 600, Celaya, Guanajuato, 38010, México

³ Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, IPN. Justo Sierra No. 28, Centro, Jiquilpan, Michoacán, 59510, México.

⁴ Tecnológico Nacional de México Campus Los Reyes, Los Reyes 60330, México.

⁵ Investigador independiente

RESUMEN

Durante los últimos años los microplásticos (MPs) han llamado la atención científica, en un principio por la contaminación en los cuerpos acuáticos, pero actualmente por la acumulación que se puede alcanzar en los sistemas terrestres. En esta investigación se mezclaron concentraciones de MPs (0%, 0.5%, 1%, 5%) a base de Polipropileno (PP) obtenido de cubrebocas comerciales con suelo agrícola con el objetivo de determinar sus efectos en las actividades enzimáticas en un periodo de 90 días. En el experimento a nivel microcosmos se utilizaron 60 g de suelo al 40% de su capacidad de retención de agua por tratamiento. Se evaluaron periódicamente las actividades enzimáticas Ureasa (AU), Deshidrogenasa (DHA) y la actividad relacionada con la hidrólisis de di acetato de fluoresceína (FDA) la cual engloba la actividad enzimática de lipasas, proteasas y esterases. Después del ANOVA de dos vías la AU solo mostró diferencias significativas ($p \leq 0,001$) con respecto al tiempo, pero no al tratamiento. Por otro lado, las actividades DHA y FDA mostraron diferencias significativas ($p \leq 0,001$) con respecto al tiempo y también al tratamiento. Se evidenció que la incorporación de MPs a base de PP en suelo agrícola puede causar un efecto en sus actividades enzimáticas dependiendo la enzima, porcentaje de MPs añadido y el tiempo de exposición.

PALABRAS CLAVE

Microcosmos; Polipropileno; Suelos agrícolas.

INTRODUCCIÓN

Los suelos son importantes para todos los seres vivos. También es de relevancia alta para las cadenas alimentarias, apoyando directa e indirectamente la biodiversidad de todas las formas de vida (Rodríguez-Eugenio *et al.*, 2018). Desafortunadamente las actividades antropogénicas: minería, cambio de uso de suelo, urbanización, deforestación y prácticas agrícolas, ocasionan cambios en las propiedades del suelo, provocando la erosión de este (Comino *et al.*, 2017).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Aunado a lo anterior, los suelos están continuamente recibiendo contaminantes de diferentes tipos, uno de estos contaminantes son los microplásticos (MPs). Estos MPs se refieren a las fibras, fragmentos o partículas de diámetro o longitud < 5 mm (Rocha-Santos y Duarte, 2015). Una definición ampliada los cataloga como partículas sintéticas sólidas o matrices poliméricas de forma regular o irregular insolubles en agua con un tamaño que oscila entre $1 \mu\text{m}$ y 5 mm (Frías y Nash, 2019). Se estima que la producción de plástico ha aumentado exponencialmente en los últimos 60 años, pasando de 0.5 millones de toneladas por año en 1960 a 368 millones de toneladas en 2019 (Sheldon y Norton, 2020). Además, se prevé que aproximadamente 12000 millones de toneladas de residuos plásticos se almacenarán en vertederos o se liberarán al medio ambiente en 2050 (Geyer *et al.*, 2017). Desafortunadamente se sabe que los MPs pueden alterar las comunidades microbianas del suelo, afectando sus actividades enzimáticas (Hargreaves y Hofmockel, 2014). Por otro lado, la gran demanda de cubrebocas durante la pandemia de COVID-19 condujo a una rápida expansión en la producción y el uso de mascarillas faciales de un solo uso (cubrebocas), la mayoría de los cuales proviene de fabricantes chinos. Por esta razón es importante realizar estudios para determinar los efectos que pueden desencadenar este tipo de MPs en las actividades enzimáticas de los suelos agrícolas y por consiguiente en su fertilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Laboratorio de Biotecnología Ambiental del TecNM en Celaya. Se utilizó suelo agrícola de textura franco-arcillosa del municipio de Celaya, Guanajuato, México. Cada sistema consistió en un frasco de vidrio de 1L con tapa hermética dentro del cual se colocó otro frasco de 100 ml con suelo o suelo+MP según correspondía. Los tratamientos fueron los siguientes T1: 0% MPs; T2: 0.5% MPs; T3: 1% MPs; T4: 5% MPs, cada sistema se generó por triplicado. Se tomaron al azar 3 sistemas por cada tratamiento en los días 0, 1, 3, 7, 14, 28, 56 y 90 para hacer los análisis correspondientes. Para los análisis estadísticos se usó el programa estadístico Minitab 18 donde se llevó a cabo ANOVA de dos vías con posterior prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) para determinar las diferencias significativas entre tratamientos. La Actividad Ureasa (AU) se determinó mediante la incubación de 5 g de suelo con solución de Urea como sustrato, tras un periodo de incubación de 2 horas a 37°C se determinó la cantidad de N-NH_4^+ producido por la actividad de esta enzima mediante UV-VIS a 690 nm (Kandeler y Gerber, 1988). La Actividad Deshidrogenasa (DHA) se determinó después de la incubación de 1 g de suelo con solución INF como sustrato, después de un periodo de incubación de 2 horas a 40°C , se evaluó la cantidad de INT producido mediante UV-VIS a 464 nm (von Mersi y Schinner, 1991). Finalmente, la actividad enzimática de lipasas, proteasas y esterasas se evaluó al incubar 1 g de suelo con solución de di acetato de fluoresceína (FDA) como sustrato, se cuantificó la cantidad producida de fluoresceína tras un periodo de incubación de 1 hora mediante UV-VIS a 490 nm (Green *et al.*, 2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1, la actividad de AU no mostró diferencias significativas con respecto a los tratamientos, ya que en los cuatro tratamientos se comportó de manera similar.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Solo hubo diferencias altamente significativas con respecto al tiempo ($p \leq 0,001$), ya que a partir del día 7 hubo un descenso en la actividad de esta enzima, el cual continuó hasta el día 28. Comportamiento que pudo estar muy relacionado con la mineralización de materia orgánica, más específicamente compuestos de N. (Yi *et al.*, 2021) usaron 2% de fibras de PP y encontraron que la AU decreció en experimento de 29 días en suelo arenoso, por lo que podemos concluir que el tipo de suelo es un factor importante.

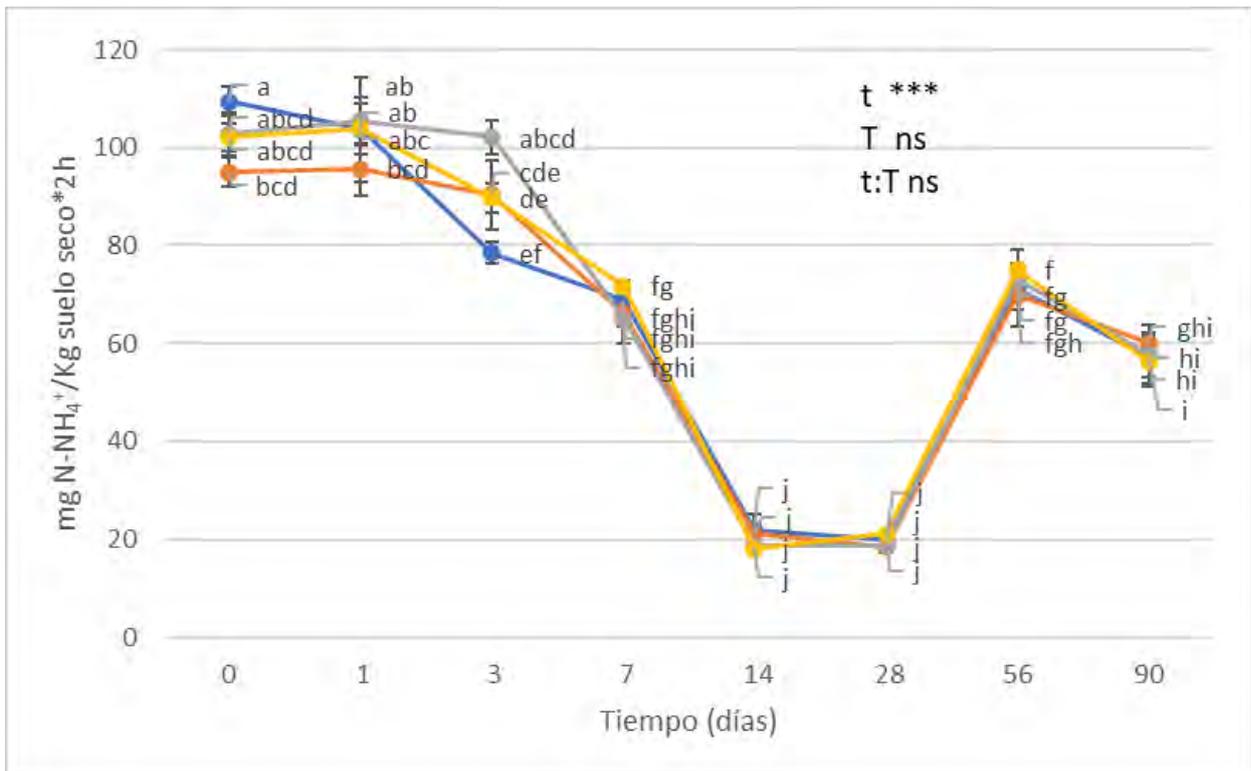


Figura 1. Valores de Actividad Ureasa. Letras diferentes indican diferencias significativas según el ANOVA de dos vías con posterior Prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). t, tiempo (días), T, Tratamientos (T1, línea azul, T2, línea naranja, T3, línea gris, T4, línea amarilla). líneas verticales representan la desviación estándar ($n=3$); ns, no significativo; *, significativo ($p \leq 0,05$); ***, Altamente significativo ($p \leq 0,001$).

Por otro lado, respecto a la DHA se puede observar en la Figura 2 que hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0,001$) con respecto al tiempo y tratamientos. El día 0 el tratamiento T1 fue diferente a los demás con un valor inferior. Posteriormente fue hasta el día 90 que hubo diferencias significativas, ya que el tratamiento T2 mostró un valor estadísticamente superior al resto. Por otro lado, también en el día 90 el tratamiento T4 mostró un valor estadísticamente inferior a los demás tratamientos. Esto nos indica que tras un periodo de 90 días, altas concentraciones de MPs (5%) reducen la actividad de esta enzima, por otro lado, concentraciones bajas (0.5%) tienden a aumentar este tipo de actividad. En el estudio de (Yi *et al.*, 2021) encontraron que la DHA aumento solo con PP en forma de microesferas y no como fibras. Por lo que la forma de los MPs es otro factor importante por considerar.

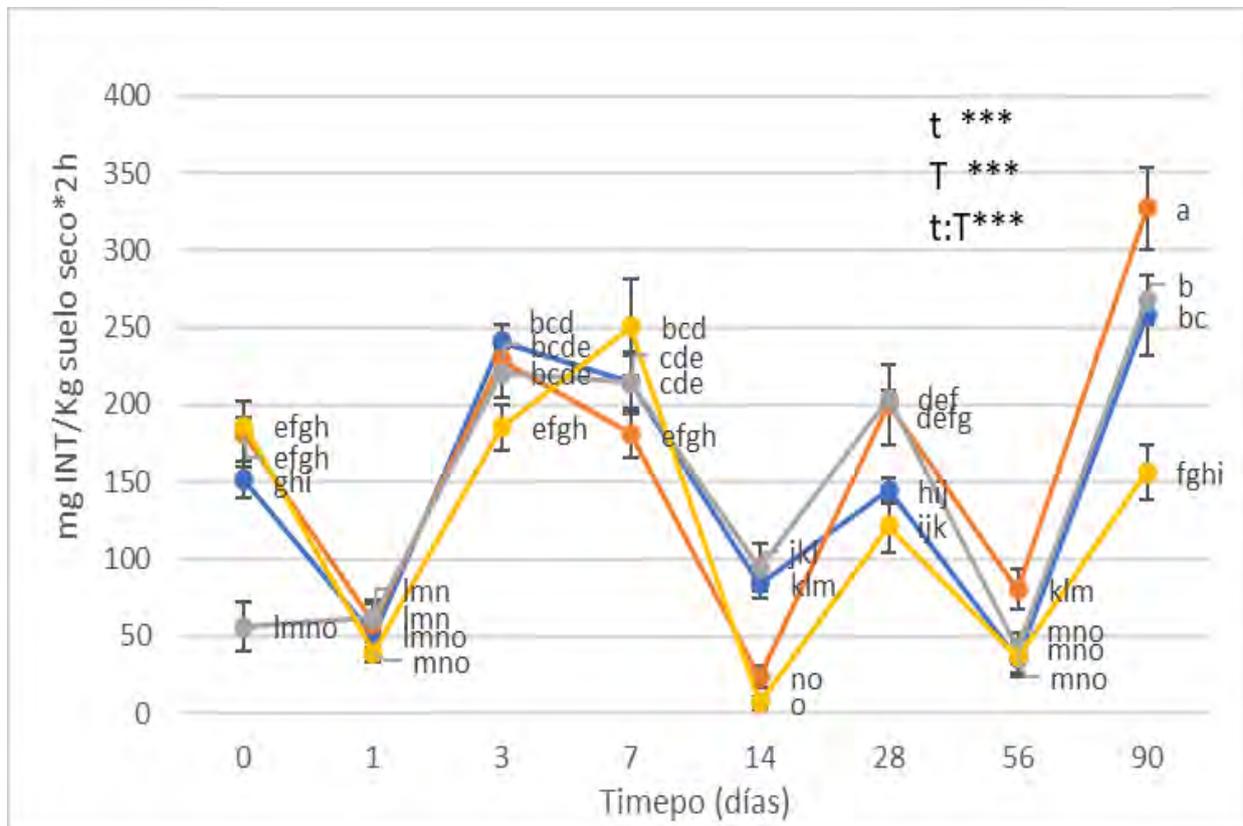


Figura 2. Valores de Actividad Deshidrogenasa. Letras diferentes indican diferencias significativas según el ANOVA de dos vías con posterior Prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). t, tiempo (días), T, Tratamientos (T1, línea azul, T2, línea naranja, T3, línea gris, T4, línea amarilla). líneas verticales representan la desviación estándar ($n=3$); ns, no significativo; *, significativo ($p \leq 0,05$); ***, Altamente significativo ($p \leq 0,001$).

Finalmente, en la Figura 3 podemos ver que la actividad FDA al igual que la Actividad Deshidrogenasa también mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0,001$) con respecto al tiempo y tratamiento. Al día 0 solo el tratamiento control T1 fue estadísticamente diferente a los demás tratamientos con un valor inferior. Es de resaltar que la actividad enzimática para este día fue directamente proporcional a la cantidad de MPs en el suelo. Caso contrario podemos ver para el día 1, ya que el comportamiento en este caso fue inversamente proporcional a la cantidad de MPs. Posteriormente en el día 28 se pueden observar diferencias significativas entre el tratamiento T4 con un valor superior a los demás. En un estudio similar (Liu *et al.*, 2017) al usar 7% y 28% de PP en experimento de 30 días también encontraron un aumento en la actividad FDA en comparación con el control.

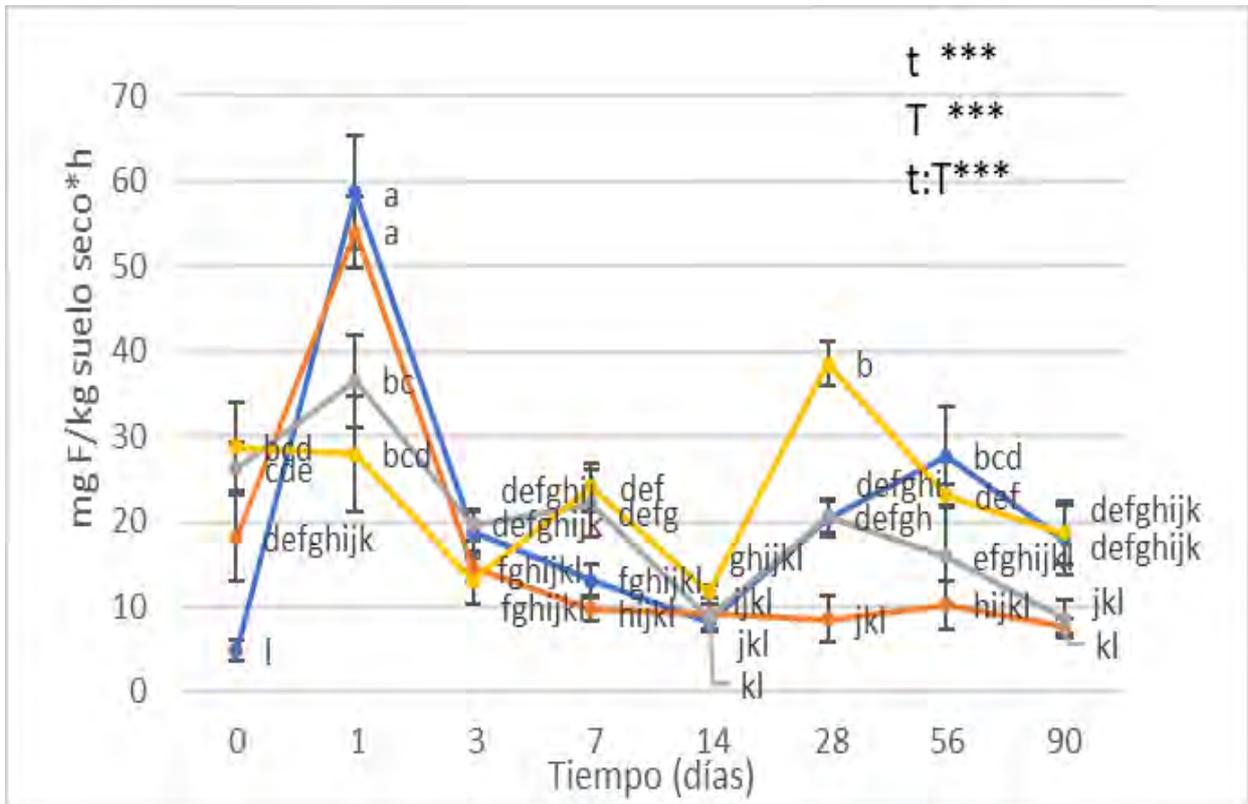


Figura 3. Valores de actividad enzimática FDA. Letras diferentes indican diferencias significativas según el ANOVA de dos vías con posterior Prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). t, tiempo (días), T, Tratamientos (T1, línea azul, T2, línea naranja, T3, línea gris, T4, línea amarilla). líneas verticales representan la desviación estándar ($n=3$); ns, no significativo; *, significativo ($p \leq 0,05$); ***, Altamente significativo ($p \leq 0,001$).

CONCLUSIONES

La contaminación del suelo siempre ha sido un tema de preocupación. Pero en las últimas décadas debido al crecimiento poblacional e industrial, se ha llegado niveles preocupantes, ya que nuevos contaminantes están apareciendo en escena. Uno de estos contaminantes son los MPs, ya que una vez dentro de la matriz del suelo pueden cambiar su estructura y por consiguiente provocar un cambio en las propiedades tanto fisicoquímicas como biológicas del mismo y esto conlleva a la alteración en su fertilidad. Por lo que este tipo de estudios son de suma importancia para generar estrategias que nos ayuden a mitigar el posible daño que este recibiendo el suelo al incorporar estos contaminantes. Con los resultados obtenidos podemos llegar a la conclusión que una vez introducidos estos MPs en el suelo, estos tienden a modificar las actividades enzimáticas como ureasa, deshidrogenasa, esterasa, lipasas y proteasas. Es importante realizar estudios con otros MPs en otros tipos de suelos y en tiempos mayores de incubación, para tener un panorama más amplio de los efectos adversos que pudieran provocar. Estos con miras a generar estrategias para mitigar el posible daño que este recibiendo el suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Comino, J. R., Senciales, J. M., Ramos, M. A., Martínez-Casasnovas, J. A., Lasanta, T., Brevik, E. C., ... & Sinoga, J. R. (2017). Understanding soil erosion processes in Mediterranean sloping vineyards (Montes de Málaga, Spain). *Geoderma*, 296, 47-59.
- Frias, J. P., & Nash, R. (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine pollution bulletin*, 138, 145-147.
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*, 3(7), e1700782.
- Green, V. S., Stott, D. E., & Diack, M. (2006). Assay for fluorescein diacetate hydrolytic activity: optimization for soil samples. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(4), 693-701.
- Hargreaves, S. K., & Hofmockel, K. S. (2014). Physiological shifts in the microbial community drive changes in enzyme activity in a perennial agroecosystem. *Biogeochemistry*, 117, 67-79.
- Kandeler, E., & Gerber, H. (1988). Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biology and fertility of Soils*, 6, 68-72.
- Liu, H., Yang, X., Liu, G., Liang, C., Xue, S., Chen, H., ... & Geissen, V. (2017). Response of soil dissolved organic matter to microplastic addition in Chinese loess soil. *Chemosphere*, 185, 907-917.
- Rocha-Santos, T., & Duarte, A. C. (2015). A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. *TrAC Trends in analytical chemistry*, 65, 47-53.
- Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2018). Soil pollution: a hidden reality.
- Sheldon, R. A., & Norton, M. (2020). Green chemistry and the plastic pollution challenge: towards a circular economy. *Green Chemistry*, 22(19), 6310-6322.
- Von Mersi, W., & Schinner, F. (1991). An improved and accurate method for determining the dehydrogenase activity of soils with iodinitrotetrazolium chloride. *Biology and fertility of soils*, 11, 216-220.
- Yi, M., Zhou, S., Zhang, L., & Ding, S. (2021). The effects of three different microplastics on enzyme activities and microbial communities in soil. *Water Environment Research*, 93(1), 24-32.

EFFECTO DEL MANEJO ORGÁNICO Y CONVENCIONAL EN LA RESPIRACIÓN DEL SUELO EN CULTIVOS DE *Persea americana* Mill

Silvia Janeth Bejar Pulido¹; Israel Cantú Silva²; Francisco Javier Hernández¹; Erik Orlando Luna Robles¹; Keidy Jimena González Hernández^{1*}

¹Instituto Tecnológico de El Salto, Mesa del Tecnológico SN, Forestal, CP 34942. El Salto, Durango, México.

² Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Carretera Nacional núm. 85 km 145. CP 67700. Linares, Nuevo León, México. *jimenagm1209@gmail.com

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la influencia de manejos orgánicos y convencionales en la respiración, temperatura y humedad del suelo en cultivos de aguacate (*Persea americana* Mill). La respiración (R_s) y la temperatura del suelo (T_s) se determinaron por medio de una cámara dinámica (EGM-4) (Yáñez *et al.*, 2017). Y la humedad del suelo se determinó por el método gravimétrico (SEMARNAT, 2002). Los datos fueron analizados por medio de una prueba de t de variables independientes entre manejos (convencional y orgánico) y otra para comparar los horarios (8:00 hrs y 14:00 hrs). En general, en el manejo orgánico presentó las tasas de respiración más elevadas ($10.66 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ S}^{-1}$) en comparación con el convencional ($3.42 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ S}^{-1}$), la temperatura y humedad tuvieron un comportamiento similar. Los resultados sugieren que la temperatura e intervalos de tiempo tuvieron un efecto directo sobre el manejo orgánico incrementando en un 87% la tasa de respiración, mientras que en el manejo convencional solo incremento 12%.

PALABRAS CLAVE

Flujo de CO_2 ; Humedad; Microorganismos; Rendimiento; Temperatura.

INTRODUCCIÓN

El suelo es la base donde se desarrollan los agroecosistemas y el manejo que se aplica modifica sus características (físicas, químicas y biológicas), además de afectar directamente su capacidad productiva (Marín *et al.*, 2017), la incorporación de insumos orgánicos al suelo condiciona e incorpora biota al suelo y optimiza la absorción de nutrientes a las plantas e incrementa su vigor (Matyas *et al.*, 2018) mientras que el uso excesivo de fertilizantes químicos genera efectos negativos directos (toxicidad en las plantas, lixiviación de nutrientes, disminución de la microbiota), uno de ellos es la disminución en la R_s , que es considerado un indicador clave en la medición de la actividad microbiana del suelo (Marín *et al.*, 2017), y a su vez refleja la capacidad del suelo para actuar como fuente o sumidero de CO_2 haciéndolo un detonante del cambio climático (Peltoniemi *et al.*, 2021), por tanto, pequeños cambios en la R_s influyen directamente en el carbono atmosférico y balance calórico (López-Teloxa *et al.*, 2020). La producción de aguacate en México es de un millón 644 mil toneladas de las cuales 92% se producen bajo un manejo convencional y solo el 8% bajo manejo orgánico.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Aunado a lo anterior se estableció como objetivo analizar los efectos del manejo orgánico vs el convencional en la producción de CO₂ de un suelo Andosol en huertas de aguacate (*Persea americana* Mill).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el municipio de Uruapan, Michoacán, a una altitud de 1890 m en las coordenadas 19° 28' 22.2" N y 102° 00' 19.7" W, presentando un clima templado húmedo con lluvias en verano (Cw) (García, 2004) y una temperatura entre 10 y 27 °C, con una precipitación media anual de 1500 mm.

Manejos implementados

Manejo convencional: consiste en la aplicación de fertilización química complementada con pesticidas, en este manejo se incluyó como fungicida y bactericida preventivo Sulfato de Cobre Pentahidratado (CuSO₄ 5H₂O) y una fertilización química foliar a base de CO(NH₂)₂, 20-30-10 en dosis de 3 kg ha⁻¹, aplicados de manera bimestral y un fertilizante de liberación prolongada (15-00-00+26.6 [CaO] + 0.3 [B]). El tiempo bajo este manejo es de 60 años.

Manejo orgánico: este manejo consiste en empleo de fertilizaciones orgánicas y se encuentra basada en la aplicación de compost ganadero con una carga nutrimental: N-P₂O₅-K₂O (39-37-29) + S (18.4%) + Mg (13.6) + Ca (74%) y micronutrientes con una dosis de 50 Mg ha⁻¹ cada tres años. Esta huerta fue anteriormente manejada de manera convencional y cambio a manejo orgánico hace 8 años.

Muestras

Se tomaron mediciones en dos intervalos de tiempo por la mañana (8:00 am horas) y por la tarde después de las (14:00 horas). Se tomaron seis lecturas en cada parcela.

Flujo de CO₂: fue medido empleando una cámara dinámica cerrada con un sistema portátil EGM-4 marca PP SYSTEMS (Yáñez *et al.*, 2017). Y se calculó con la siguiente ecuación:

$$Rs = \frac{cn - co}{Tn} * \frac{V}{A}$$

Donde: *Rs* es el flujo de CO₂ (μmol CO₂ m⁻²S⁻¹), *co* es la concentración de CO₂ en Tiempo=0, *cn* es la concentración de CO₂ después del tiempo *Tn*, *A* es el área de suelo expuesto, *V* es el volumen del sistema total (Yáñez *et al.*, 2017).

Temperatura del suelo (*Ts*): se determinó con un sensor STP-1, instalado en el analizador EGM-4.

Humedad del suelo (*Hs*): se determinó por medio del método gravimétrico (AS-05) de la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

Análisis estadísticos

Todas las variables presentaron una distribución normal, por tanto se procedió a realizar una prueba de T de variables independientes entre manejos (convencional y orgánico) y otra para comparar los horarios (8:00 hrs y 14:00 hrs). Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando la versión 22.0 del software SPSS (SPSS Inc., Chicago, IL), con un nivel de confianza de p≤0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se muestra la prueba de normalidad de los datos, donde se aprecia que las tres variables presentaron una distribución normal ($p > 0.05$).

Cuadro 1. Prueba de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) de las variables analizadas (n=24).

Estadísticos/Variables	Rs	Ts	Hs
Estadístico de prueba	0.249	0.128	0.113
Significancia	0.200	0.200	0.200

La respiración del suelo presentó diferencias significativas entre manejos, sin embargo, no hubo diferencias entre la temperatura y humedad del suelo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Prueba de t para muestras independientes entre manejos para Rs, Ts y Hs.

Variables	F	t	gl	Significancia	Intervalo de confianza (95%)	
					Inferior	Superior
Rs	20.438	-5.286	22	0.000**	-16.26400	-7.09766
Ts	0.219	-1.148	22	0.263 ^{NS}	-2.20124	0.63290
Hs	5.118	-0.574	22	0.572 ^{NS}	-14.84724	8.41391

** diferencias altamente significativas, NS diferencias no significativas

En el Cuadro 3 se aprecia la prueba de t para intervalos de tiempo que indica que la respiración del suelo y humedad no presentaron diferencias significativas, mientras que la temperatura si ($p < 0.05$).

Cuadro 3. Prueba de T para muestras independientes entre intervalos de tiempo para Rs, Ts y Hs.

Variables	F	t	gl	Significancia	Intervalo de confianza (95%)	
					Inferior	Superior
Rs	7.231	-1.539	22	0.138 ^{NS}	-11.428	1.693
Ts	1.597	-4.370	22	0.000**	-3.316	-1.181
Hs	4.733	-0.074	22	0.942 ^{NS}	-12.132	11.299

** diferencias altamente significativas, NS diferencias no significativas.

En la Cuadro 4 se presentan los valores medios de la Rs, se puede apreciar que fue más baja en el manejo convencional en ambos intervalos de tiempo, mientras que el manejo orgánico presentó tasas más elevadas, por tanto, el manejo convencional modifica el ecosistema microbiano del suelo y con ello las tasas de Rs, teniendo decrementos entre el 60 y el 80% del flujo de CO₂. De acuerdo con Yáñez *et al.* (2017) existen variaciones del flujo de CO₂ entre intervalos de tiempo. Por otra parte, Paolini (2018) y Leskovar *et al.* (2019) señala incrementos en la Rs en cultivos orgánicos y lo atribuye a la constante aplicación de fuentes oxigenadas de MO lábil y a la estimulación de los microorganismos del suelo.

Además, genera un ambiente propicio para el desarrollo de la biota al incrementar sus poblaciones y diversidad (Marín *et al.*, 2017). Sin embargo, los rendimientos en este tipo de manejo son más bajos en comparación con el convencional (Timsina, 2018) En este sentido los rendimientos del cultivo del aguacate bajo manejo orgánico de este estudio fueron 58.6% (6.2 Mg ha⁻¹) más bajos en comparación con el cultivo convencional (15 Mg ha⁻¹).

Cuadro 4 Valores medios de la Respiración del suelo (Rs), Temperatura del suelo (Ts) y Humedad del suelo (Hs) bajo manejo orgánico y convencional en dos intervalos de tiempo.

Variable	Unidades	Intervalos de Tiempo	Manejo	
			Convencional	Orgánico
Rs	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{S}^{-1}$	8:00 hrs	3.42	10.66
		14:00 hrs	3.84	19.97
Ts	°C	8:00 hrs	16.36	17.03
		14:00 hrs	18.49	19.40
Hs	%	8:00 hrs	51.86	55.20
		14:00 hrs	52.40	55.50

La Ts fue 2.13 °C más baja por la mañana en el manejo convencional y 2.37°C en el manejo orgánico, alcanzando las temperaturas más elevadas por la tarde (Cuadro 4). De acuerdo con López-Teloxa *et al.* (2020) la temperatura tiene una estrecha relación con el incremento de la Rs debido al incremento de la actividad microbiana del suelo. Por otra parte, Cruz-Sánchez *et al.* (2022) señalan que si la humedad es estable y existe un aumento en la temperatura del suelo la respiración suele incrementarse significativamente. Se presentó un ligero incremento de la temperatura (2 °C) que provocó variaciones en los contenidos de humedad del suelo, donde el sistema convencional presentó menor humedad en comparación con el convencional (Cuadro 4). Lo anterior se encuentra asociado a la estación en la que se realizaron las mediciones (verano) donde es considerado como los meses con mayores registros de lluvia que hace posible mantener la humedad del suelo e incrementos en la temperatura (Cruz-Sánchez *et al.*, 2022).

CONCLUSIONES

La respiración del suelo difiere con el manejo implementado, específicamente, la aplicación de enmiendas orgánicas mejora la respiración del suelo, mientras que disminuye al implementar las prácticas convencionales. Además, los resultados muestran que la variación de la temperatura y humedad tiene un efecto directo sobre la respiración, incrementando cuando estas son más elevadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Cruz-Sánchez, Y., López-Teloxa, L. C., Gómez-Díaz, J. D., & Monterroso-Rivas, A. I. (2022). Respiración de CO₂ desde el suelo en bosques templados del Parque Nacional Iztaccihuatl-Popocatepetl, centro de México. *Bosque (Valdivia)*, 43(2), 125-133. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002022000200125>
- Leskovar, D. I., Othman, Y. A., & Jordan, J. R. (2019). Sistema y prácticas de manejo para la producción orgánica de la alcachofa. *Hortícola*.
- López-Teloxa, L. C., & Monterroso-Rivas, A. I. (2020). Estrategias de mitigación de CO₂ a partir de la respiración del suelo. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 32(2), 30-41. <https://doi.org/10.17163/lgr.n32.2020.03>
- Paolini, G. J. E. (2018). Actividad microbológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los Andes venezolanos. *Terra Latinoamericana*, 36(1), 13-22. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.257>
- Peltoniemi, K., Velmala, S., Fritze, H., Lemola, R., & Pennanen, T. (2021). Long-term impacts of organic and conventional farming on the soil microbiome in boreal arable soil. *European Journal of Soil Biology*, 104, 103314. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2021.103314>
- 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 de diciembre de 2002. México, D.F, México.
- Yáñez, D.M.I., Cantú, S.I., & Garza, O.F. (2023). Effect on the physicochemical properties of a Regosol with changes in land use. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 14 (79), 58-79. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i79.1359>
- Marín, S., Bertsch, F., & Castro, L. (2017). Efecto del manejo orgánico y convencional sobre propiedades bioquímicas de un andisol y el cultivo de papa en invernadero. *Agronomía Costarricense*, 41(2), 26-46. <http://dx.doi.org/10.15517/rac.v41i2.31298>
- Mátyás, B., Lowy, D. A., Singla, A., Melendez, J. R., & Sándor, Z. (2020). Comparación de los efectos ejercidos por los biofertilizantes, los fertilizantes NPK y los métodos de cultivo sobre la respiración del suelo en el suelo de Chernozem. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 32(2), 8-18. <https://doi.org/10.17163/lgr.n32.2020.01>
- Timsina, J. (2018). Can organic sources of nutrients increase crop yields to meet global food demand?. *Agronomy*, 8(10), 214. <https://doi.org/10.3390/agronomy8100214>

EFFECTO DEL NaCl EN LA CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES ESENCIALES EN HUAUZONTLE CULTIVADO EN CONDICIONES CONTROLADAS DE INVERNADERO

Eréndira Esmeralda Hernández Andrade¹; Libia Iris Trejo Téllez¹;
Víctor Manuel Ordaz Chaparro¹

¹ Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco 56264, Estado de México.
hernandez.erendira@colpos.mx

RESUMEN

La salinidad del suelo, caracterizada por una conductividad eléctrica de ≥ 4 dS m⁻¹, es causada principalmente por NaCl, y tiene un impacto grave en la agricultura. En este estudio se evaluó los efectos de diferentes concentraciones de NaCl (0, 100, 200, 300 mM) sobre la concentración nutrimental del huauzontle (*Chenopodium berlandieri* subsp. *nuttalliae*) bajo condiciones de invernadero. Las plantas de huauzontle se cultivaron en un sustrato compuesto por perlita, tezontle y espuma agrícola, como base se usó la solución nutritiva de Steiner, con diferentes niveles de salinidad. Se observó que K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ en tallo, hojas e inflorescencia disminuyó con el aumento de NaCl en la solución nutritiva. En el tallo, se observaron las mayores disminuciones de K⁺ y Mg²⁺ con 200 mM de NaCl, mientras que la concentración de Ca²⁺ fue más baja con 300 mM. Las hojas presentaron una reducción en K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ con 200 y 300 mM de NaCl. Sin embargo, se observó un incremento en el contenido de P en tallo y hojas con 300 mM de NaCl, y una notable acumulación de Na⁺ en el tallo. En conclusión, el NaCl afecta la disponibilidad de nutrientes esenciales en el huauzontle, lo que podría comprometer su desarrollo en suelos salinos. No obstante, el aumento de P y la acumulación de Na⁺ en el tallo sugieren mecanismos de adaptación al estrés salino, como la compartimentación de iones, que podrían ayudar a la planta a tolerar condiciones de salinidad moderada.

PALABRAS CLAVE

Macronutrientes; Maleza; Salinidad; Solución nutritiva; Suelo.

INTRODUCCIÓN

La salinidad del suelo se considera cuando la conductividad eléctrica de un extracto de suelo saturado alcanza o supera los 4 dS m⁻¹. Es causado por la presencia de sales, entre las que se incluyen NaCl, Na₂SO₄, MgSO₄, CaSO₄, MgCl₂, KCl y Na₂CO₃. Aunque todas contribuyen a la salinidad del suelo, el NaCl es la sal más común (Munns y Tester, 2008; Rengasamy, 2002). La acumulación de sales se debe a la deposición de minerales, el ascenso capilar de aguas subterráneas salinas, prácticas agrícolas inadecuadas y actividades industriales (Eswar *et al.*, 2021). Este problema afecta gravemente la producción agrícola en diversas regiones del mundo y reduce el crecimiento de las plantas y la biomasa (Van Zelm *et al.*, 2020).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

La salinidad también provoca estrés osmótico y efectos tóxicos, como la disminución de cationes esenciales como K^+ , la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y la inhibición de la integridad de la membrana, síntesis de proteínas, metabolismo celular, fotosíntesis y absorción de agua y nutrientes (Keisham *et al.*, 2018; Van Zelm *et al.*, 2020). Sin embargo, el sodio es beneficioso para algunas plantas, especialmente en especies C_4 , donde el Na^+ facilita el transporte de piruvato al cloroplasto, necesario para la fijación de carbono en la fotosíntesis C_4 (Subbarao *et al.*, 2010) por otra parte el cloruro (Cl^-), es un micronutriente esencial que regula actividades enzimáticas, actúa como cofactor en la fotosíntesis, estabiliza el potencial de membrana y contribuye a la turgencia y regulación del pH (White y Broadley, 2001; Xu *et al.*, 1999). Dada la gravedad del impacto del NaCl en el suelo, gran parte de la investigación se ha enfocado en analizar dosis altas de esta sal (más de 50 mM) (Hongqiao *et al.*, 2021). Sin embargo, se han estudiado la capacidad de los sistemas hidropónicos para predecir las respuestas de las plantas a la salinidad en el suelo. Por tanto, esta investigación tiene como objetivo analizar los efectos del NaCl en la concentración nutrimental del huazontle en condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones del experimento

El estudio se llevó a cabo en un invernadero ubicado en las coordenadas 19.465728° N y -98.913940 O, a una altitud de 2232.68msnm, durante los meses de junio a noviembre de 2022.

Material vegetal

Se utilizaron semillas de huazontle recolectadas en la Ciudad de México, las cuales se germinaron, en una mezcla de perlita y turba en proporción 1:1 (v:v). Posteriormente cuando las plantas alcanzaron una altura de 10 cm, se realizó el trasplante a macetas de 12 litros, con un sustrato compuesto por perlita, tezontle y espuma agrícola en una proporción de 1:1:1 (v:v:v).

Diseño de tratamientos y diseño experimental

Durante el trasplante se empleó la solución nutritiva de Steiner, con una conductividad eléctrica (CE) de 1 dS m^{-1} ; a los 17 días después del trasplante (ddt) se aumentó la CE a 2 dS m^{-1} en combinación con tres concentraciones de NaCl (0, 100, 200, 300 mM) lo que origina CE de 2.00, 7.81, 17.59 y 20.30 dS m^{-1} respectivamente, y el pH de la solución nutritiva se mantuvo en 5.5, durante todo el ciclo del cultivo. El sistema de riego fue automatizado con goteros. Los riegos fueron programados en función del requerimiento hídrico del cultivo. El diseño experimental se basó en un diseño de bloques completos al azar, considerando tres concentraciones de NaCl (0, 100, 200, 300 mM) y cuatro repeticiones como variables de estudio.

Variables evaluadas

La cosecha del huazontle se realizó a los 104 ddt en la fase reproductiva, el corte de la inflorescencia se realizó a los 40 cm por debajo de la inflorescencia; posteriormente se separaron hojas, tallos e inflorescencia y se pesaron. El material vegetal se llevó a un horno con circulación forzada de aire a 70°C por 72 h.

En la biomasa seca se determinó las concentraciones nutrimentales de hoja, tallo, inflorescencia. Para determinar los elementos: Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ N y P se realizó digestión húmeda del tejido, con una mezcla de ácidos nítrico perclórico (HNO₃: HClO₄, 2:1) (Alcantar y Sandoval, 1999) y se midieron con un equipo de espectrometría de emisión de atómica de inducción por plasma acoplado (ICP-VARIAN® equipment, model 725-ES).

Análisis estadístico de la información

Se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) en función de los tratamientos de NaCl y concentración nutrimental, considerando el diseño de bloques al azar con SAS 9.0 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las concentraciones de cationes en el huauzontle disminuyeron debido a las dosis de NaCl en la solución nutritiva presentando variaciones según el órgano de la planta (Figura 1). En el tallo, las concentraciones Mg²⁺ y K⁺ fueron de 2.0 y 11.6 g kg⁻¹ respectivamente, con 200 mM NaCl, mientras que la concentración de Ca²⁺ alcanzó 1.6 g kg⁻¹ con 300 mM de NaCl. En las hojas, la concentración de K⁺ fue de 37.3 g kg⁻¹ con 300 mM NaCl y para los cationes Ca²⁺ y Mg²⁺ la menor concentración se reportó en las concentraciones 200 y 300 mM NaCl con 5.36 y 8.54 g kg⁻¹ respectivamente. Por último, en la inflorescencia la concentración de Ca²⁺ fue de 1.32 g kg⁻¹ con 300 mM NaCl, y la de Mg²⁺ alcanzó valores de 2.5 y 2.3 g kg⁻¹ con 200 y 300 mM NaCl respectivamente. La disminución de iones K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ se debe a la competencia entre cationes, lo que puede derivar en deficiencias nutricionales (Atta *et al.*, 2022; Munns y Tester, 2008; Velikova y Yildiz Aktas, 2007). En cuanto al contenido de P, en las hojas y el tallo presentaron valores más altos con 3.28 y 4.05 g kg⁻¹ respectivamente con 300 mM NaCl, mientras que en la inflorescencia no se observó una diferencia significativa entre los tratamientos. Para la concentración de N, no se encontraron diferencias significativas entre los tres órganos evaluados. Con 300 mM NaCl la concentración de Na⁺ fue mayor en tallo (42.1 g kg⁻¹), seguido de hoja (24.66 g kg⁻¹) y en inflorescencia no hubo diferencia significativa entre tratamientos, con un valor promedio de 0.80 g kg⁻¹. De acuerdo con Sairam y Tyagi (2004), han estudiado el transporte y compartimentación de iones Na⁺ en las células y han demostrado que el exceso de sal es almacenado en la vacuola o en tejidos más viejos como el tallo, lo que protege a la planta del estrés salino. Aunque la mayoría de los resultados muestran que en los tejidos del huauzontle las concentraciones de macronutrientes aumentaron en el rango de 200 a 300 mM NaCl.

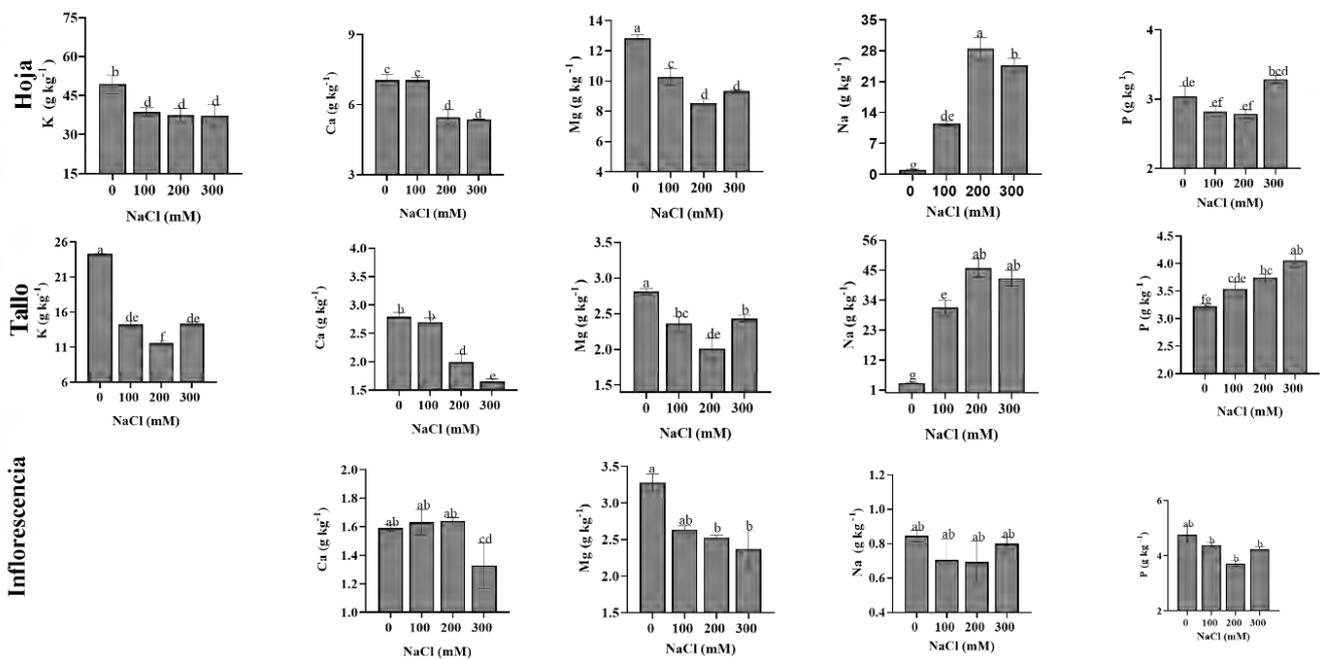


Figura 1. Concentraciones de macronutrientes en diversos órganos de huauzontle (*Chenopodium berlandier* spp. *nuttalliae*) en función de NaCl aplicado. Valores con letras distintas son estadísticamente diferentes Tukey > 0.05.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que la exposición del huauzontle a concentraciones de 200 y 300 mM de NaCl afecta significativamente la absorción y distribución de nutrientes esenciales. La disminución en las concentraciones de K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , observada principalmente en el tallo, hojas e inflorescencia, sugiere una competencia iónica bajo condiciones de salinidad, lo cual coincide con estudios previos. Sin embargo, el aumento en el contenido de fósforo (P) en hojas y tallo, junto con la alta acumulación de Na^+ en el tallo, indica un posible mecanismo de tolerancia de la planta frente al estrés salino, donde el tallo actúa como un reservorio para la acumulación de sal. A pesar de la disminución de algunos macronutrientes, el huauzontle mostró adaptaciones fisiológicas que podrían permitirle sobrevivir en ambientes con salinidad moderada a alta, aunque con potenciales implicaciones en su valor nutricional y rendimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcántar G., G. y M. Sandoval V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, estado de México
- Atta, K., Adhikary, S., Mondal, S., Mukherjee, S., Pal, A., Mondal, S., Jana, K., y Biswas, B. (2022). A Review on Stress Physiology and Breeding Potential of an Underutilized, Multipurpose Legume: Rice Bean (*Vigna umbellata*). In *Developing Climate Resilient Grain and Forage Legumes*. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9848-4_11

- Eswar, D., Karuppusamy, R., y Chellamuthu, S. (2021). Drivers of soil salinity and their correlation with climate change. In *Current Opinion in Environmental Sustainability* (Vol. 50). <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.10.015>
- Hongqiao, L., Suyama, A., Mitani-Ueno, N., Hell, R., y Maruyama-Nakashita, A. (2021). A low level of NaCl stimulates plant growth by improving carbon and sulfur assimilation in *arabidopsis thaliana*. *Plants*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/plants10102138>
- Keisham, M., Mukherjee, S., & Bhatla, S. C. (2018). Mechanisms of sodium transport in plants – Progresses and challenges. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 19, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/ijms19030647>
- Munns, R., y Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. In *Annual Review of Plant Biology* (Vol. 59). <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Rengasamy, P. (2002). Transient salinity and subsoil constraints to dryland farming in Australian sodic soils: An overview. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 42(3). <https://doi.org/10.1071/EA01111>
- Sairam, R. K., y Tyagi, A. (2004). Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. In *Current Science* (Vol. 86, Issue 3).
- Subbarao, G. V., Ito, O., Berry, W. L., y Wheeler, R. M. (2010). Sodium – A Functional Plant Nutrient. <https://doi.org/10.1080/07352680390243495>, 22(5), 391–416. <https://doi.org/10.1080/07352680390243495>
- Van Zelm, E., Zhang, Y., y Testerink, C. (2020). Salt Tolerance Mechanisms of Plants. In *Annual Review of Plant Biology* (Vol. 71). <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100005>
- Velikova, V., & YILDIZ Aktas, L. (2007). Stress-protective role of secondary metabolites: Diversity of functions and mechanisms. <https://www.researchgate.net/publication/251847574>
- White, P. J., y Broadley, M. R. (2001). Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: A review. In *Annals of Botany* (Vol. 88, Issue 6). <https://doi.org/10.1006/anbo.2001.1540>
- Xu, G., Magen, H., Tarchitzky, J., & Kafkafi, U. (1999). Advances in Chloride Nutrition of Plants. *Advances in Agronomy*, 68(C). [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60844-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60844-5)

ENMIENDAS MINERALES Y *Pseudomona* SPP. MEJORAN LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS EN FRUTOS DE TOMATE

Laura Alejandra, Peña Revuelta¹; Reyna Roxana, Guillen Enriquez¹;
Manuel Fortis Hernández¹; Pablo, Preciado Rangel¹

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Torreón, Carretera Torreón-San Pedro
km 7.5, Torreón 27170, México.

¹mail: lapr2019@gmail.com

RESUMEN

El uso de técnicas agronómicas modernas como la producción de cultivos sin suelo, es esencial para abordar la creciente demanda alimentaria. Sin embargo, la calidad nutracéutica de los frutos generalmente es baja debido a la disponibilidad insuficiente de minerales en los sustratos utilizados; ante esta situación el uso de enmiendas minerales es una opción para suplir carencia de oligoelementos. Sin embargo, los minerales en las enmiendas no están totalmente disponibles, por lo que es necesario facilitar su solubilización mediante rizobacterias (RPCV). El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de cinco diferentes enmiendas minerales (zeolita, magnesita, roca fosfórica, leonardita y dolomita) en combinación con RPCV sobre la acumulación de compuestos bioactivos en los frutos de tomate. Los resultados indican que la combinación de enmiendas minerales y RPCV mejoran el contenido de compuestos bioactivos en frutos de tomate. Los compuestos fenólicos y los flavonoides se incrementaron en 17.26% y 50.79% con zeolita+ *Pseudomona*, con relación al tratamiento control. Los hallazgos encontrados indican que la zeolita es una estrategia prometedora para mejorar los compuestos bioactivos en frutos de tomate en sistemas agrícolas modernos.

PALABRAS CLAVE

Zeolita; Compuestos fenólicos; RPCV.

INTRODUCCIÓN

Para satisfacer la demanda continua de alimentos de la población, se han implementado diferentes técnicas agronómicas como son los cultivos sin suelo, siendo una opción para incrementar la productividad (Ortíz *et al.*, 2022). Sin embargo, en dicho sistema de producción, la calidad organoléptica y nutracéutica de los frutos difiere de los obtenidos de manera tradicional, ya que las plantas en el suelo tienen acceso a una mayor cantidad de minerales, lo que no ocurre con los sustratos. Sin embargo, el uso de enmiendas minerales ha demostrado ser eficaz en mejorar dichas cualidades en los frutos cosechados (González *et al.*, 2020), debido a la amplia cantidad de elementos minerales que contienen, utilizándose para corregir o incrementar deficiencia de dichos minerales en los sustratos (Bonifaz *et al.*, 2018). Sin embargo, los minerales en las enmiendas no están totalmente disponibles, por lo que es necesario facilitar su solubilización mediante rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) (Velasco *et al.*, 2020), las cuales a través de la producción de ácidos orgánicos

y enzimas actúan sobre las fracciones inorgánicas y orgánicas no disponibles en el suelo, transformándolos en formas disponibles para las plantas (Cisneros *et al.*, 2017). Así mismo, es importante destacar los efectos positivos ejercidos por RPCV en las plantas, como ocurre con la activación de la producción de compuestos bioactivos (Ahemad y Kibret, 2013; Crecchio *et al.*, 2018), mejorando así su potencial de producción y aumento en la calidad de la fruta (Zapata *et al.*, 2022).

Por otro lado, el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es el cultivo hortícola más producido y consumido a nivel mundial con una producción de 186,821,216 t en el año 2020. México ocupó el noveno lugar en el año 2020 con una producción de 3,370,827 t según FAOSTAT. A nivel estatal, en 2019 Coahuila produjo 121,579 t, con un valor de MXN 816 millones. En la región de la Comarca Lagunera existen 1090 ha de invernaderos y casas sombra para la producción de tomate, generando una cosecha de 145,769 t, con un rendimiento medio de 135 t ha⁻¹ y un valor de producción de MXN 911,369,000 (Cervantes *et al.*, 2021). El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la combinación de enmiendas minerales (roca fosfórica, dolomita, zeolita, leonardita, magnesita) y *Pseudomona* sobre los compuestos bioactivos en los frutos de tomate.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en un invernadero ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (25° 33' 12.53" lat N, 103° 22' 32.07" long O), a una altitud de 1,120 msnm, en la ciudad de Torreón, Coahuila.

Se utilizó un arreglo factorial 2 x 5 "con y sin bacteria" (cinco diferentes enmiendas minerales y dos testigos con cinco repeticiones cada una), en un diseño completamente al azar obteniendo 60 unidades experimentales.

La activación de *Pseudomona* spp se llevó a cabo previamente durante 24 h a una temperatura de 30 °C, con agitación a 120 revoluciones por minuto en un Termoagitador marca Thermolyne BiggerBill. Después se procedió a preparar el cultivo bacteriano en matraces Ehrlenmeyer con un volumen de 250 mL de medio de cultivo Luria-Bertani (10 g de triptona, 5 g de NaCl, 5 g de extracto de levadura y 1000 mL de agua destilada), a pH 7.3 con 200 µL de la cepa; se dejó incubar hasta que la cepa alcanzo una concentración celular de 1 × 10⁹ UFC mL⁻¹. Posteriormente se preparó 1,500 mL de solución (15 mL de la cepa bacteriana (*Pseudomona* spp.) y 1,485 mL de agua destilada). A partir de la concentración final de 10⁹ UFC mL⁻¹, se aplicaron 50 mL según el tratamiento el 01 de mayo de 2022; posteriormente el 18 de mayo se realizó una segunda inoculación al cepellón.

Los compuestos fitoquímicos determinados en el fruto fueron el contenido de compuestos fenólicos totales, los cuales se cuantificaron mediante una modificación del método de Folin-Ciocalteu (Sariñana *et al.*, 2021). Así, se tomaron 30 µl del concentrado final, al cual se añadieron 270 µl de agua destilada en un tubo de ensayo; posteriormente se añadió 1.5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu diluido (1:15), agitando con vortex por 10 segs. Una vez transcurridos 5 min se incorporó 1.2 mL de carbonato de sodio (7,5 % w/v) y se sacudió durante 10 s. La disolución se colocó en baño de agua a 45 °C durante 15 min y posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente. La absorbancia de la mezcla se leyó en un espectrofotómetro. El contenido fenólico se calculó utilizando una curva de calibración empleando ácido gálico como

estándar; los resultados se reportaron en mg de equivalente de ácido gálico por 100 g en base a peso fresco (mg AGE/100 g⁻¹ PF).

Para determinar el contenido de flavonoides totales empleamos la técnica descrita por Sariñana *et al.* (2021), tomando una alícuota de 250 uL del sobrenadante del extracto etanólico para después añadir 1.25 mL de agua destilada y 75 µL de NaNO₂ al 5 %; la mezcla se agitó vortex y se permitió reaccionar por 5 min. Posteriormente se añadieron 150 µL AlCl₃ H₂O al 10 % agitando en vortex la mezcla dejando reaccionar por 6 min. Luego se agregó 500 µL NaOH 1 M y 275 µL agua, agitando en vortex. Se utilizó un espectrofotómetro a una longitud de onda 510 nm para leer la absorbancia. Se realizó una curva patrón ($y = 0.0122x - 0.0067$; $R^2 = 0.9653$) preparada con quercetina para la cuantificación de la concentración. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de quercetina por 100 g en base al peso fresco (mg g⁻¹ PF).

Los datos se analizaron con el paquete estadístico SAS versión 9.4 (Statistical Analysis System Institute) mediante análisis de varianza y la comparación de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.5$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La interacción Zeolita+*Pseudomonas* causó un aumento significativo en los flavonoides (Figura 1), siendo superior en 50.79% el inoculado con *Pseudomonas* spp. Resultados similares se han reportado con la aplicación de *Pseudomonas* + enmienda incrementando la concentración de flavonoides (Emamverdian *et al.*, 2018). Lo anterior obedece a que la aplicación de enmiendas minerales como la zeolita produce compuestos naturales que promueven autoinmunidad, como las fitoalexinas y proteínas antimicrobianas, que mejoran el sistema de defensa (Méndez *et al.*, 2019).

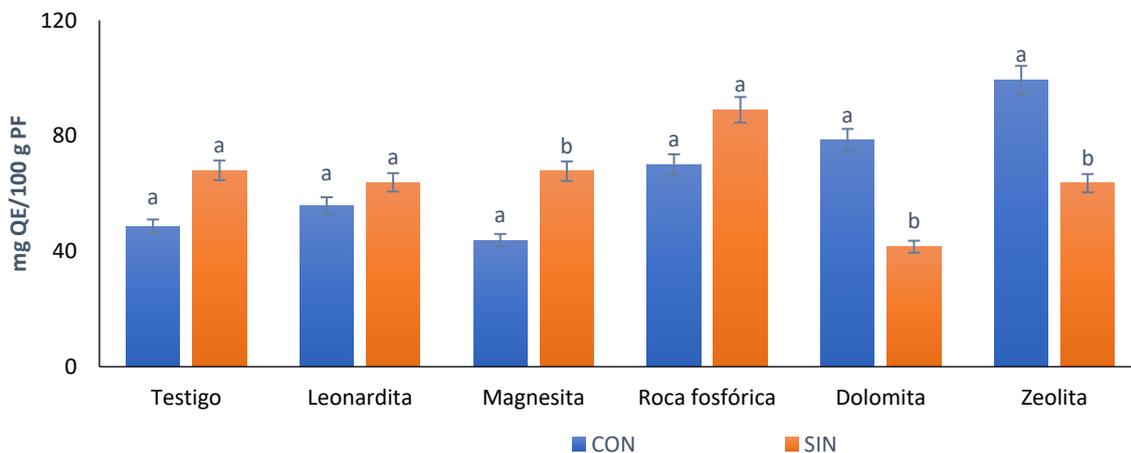


Figura 1.- Concentración de flavonoides en frutos de tomate. Valores promedio \pm desviación estándar en respuesta de la interacción con y sin inoculación de *pseudomonas* spp. en diferentes enmiendas minerales. Las barras con la misma literal no difieren estadísticamente (Tukey $p \leq 0.05$).

El contenido de fenoles aumentó 17.96 % con la combinación Zeolita + *Pseudomonas*, spp., con relación al tratamiento control (Figura 2). Resultados similares fueron reportados por Palacios *et al.* (2016) quienes obtuvieron un incremento del contenido total de fenoles en trigo con la aplicación de *P. aeruginosa* y Zinc en el suelo. Dicho

aumento se asocia con la promoción de tolerancia al estrés oxidativo en la planta. Se infiere que esta enmienda, al tener diferentes minerales como el Ca y el Al, promovió la formación de complejos insolubles Ca-P y Ca-Al lo que ocasionó que precipitaran, provocando un ligero estrés en las plantas que fue detectado con la producción de fenoles (González *et al.*, 2020).

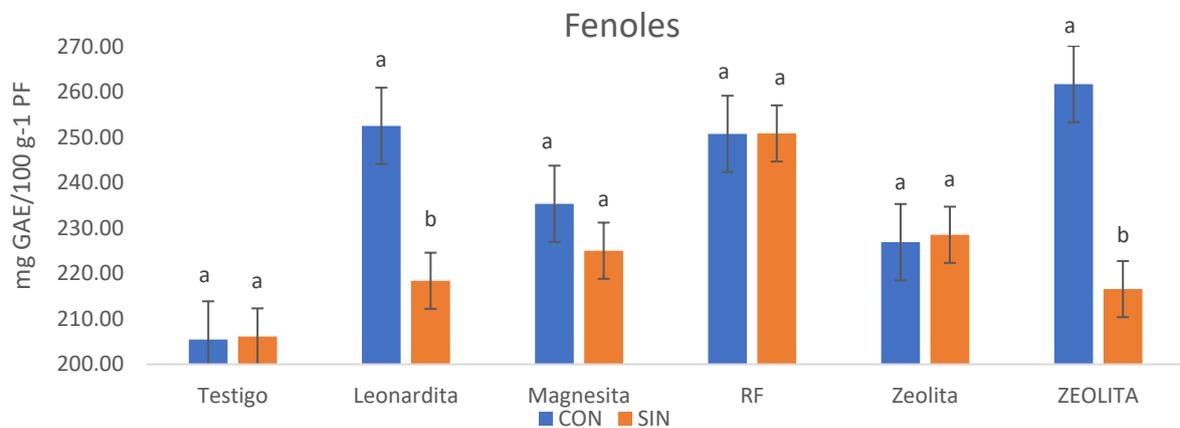


Figura 2. Valores promedio de cantidad de fenoles \pm desviación estándar en respuesta a la interacción de inoculación de *Pseudomonas* spp. y enmiendas minerales al fruto de tomate. Las barras con la misma literal no difieren estadísticamente (Tukey $p \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

La aplicación de enmiendas minerales, especialmente la Zeolita en sinergia con *Pseudomonas* spp., es una estrategia prometedora para incrementar compuestos bioactivos en frutos de tomate.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahemad, M. and Kibret, M. 2013. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University-Science*. 26(1):1-20.
- Bonifaz, N., León, R. y Gutiérrez, F. 2018. Pastos y forrajes del Ecuador. Editorial Universitaria Abya-Yala. ISBN UPS: 978-9978-10-318-0
- Cervantes V., TJA, Valenzuela G., A.A., Cervantes V., M.G., Guzmán S., TL, Fortis, E.L., Rangel, P.P., Rueda P., E.O. 2021. Actividad morfofisiológica, enzimática y elemental en plántulas de tomate Saladette de invernadero a partir del efecto de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Agronomía*, 11 (5), 1008. <https://doi.org/10.3390/agronomy1105100>
- Cisneros R, C A, Sánchez P, M, and Menjivar F, J C. 2017. Efecto de bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el desarrollo de plántulas de café. *Agronomía Mesoamericana*, 28 (1), 149-158. <https://dx.doi.org/10.15517/am.v28i1.22021>
- Crecchio, C, Mimmo, T., Bulgarelli, D, Pertot, I, Pii, Y, Perazzolli, M. 2018. "Beneficial Soil Microbiome for Sustainable Agriculture Production," in, ed. E. Lichtfouse (Cham: Springer International Publishing), 443-481. doi:10.1007/978-3-319-94232-2_9
- FAO-FAOSTAT. Cultivos y productos de ganadería - tomate.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- González, F, J A, Jiménez, L, D, Sandoval, R, A,, Hernández, P, A,, Medrano, MJ, Preciado R, P. 2020. Efecto de enmiendas minerales sobre el contenido mineral y antioxidantes en frutos de frambuesa. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud XXII* (1): 48-56
- Ortíz R., G., Vergel, S., Arias, L., Giraldo, Y., Villagran M., E. 2022. La técnica del cultivo sin suelo y su contribución al mejoramiento tecnológico de la agricultura bajo cubierta: Un análisis bibliométrico. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. 6. 17-38. [10.37811/cl_rcm.v6i7.3887](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i7.3887).
- Emamverdian A, Ding Y, Xie Y, Sangari Y. 2018. Mecanismos de silicio para mejorar el estrés por metales pesados en plantas. *Biomed Res Int*. 1: 2-10
- Méndez-Argüello, Bulmaro, & Lira-Saldivar, Ricardo Hugo. (2019). Uso potencial de la zeolita en la agricultura sustentable de la nueva revolución verde. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(17), 191-193. <https://doi.org/10.19136/era.a6n17.1810>
- Palacio R., R, Ramos B, P, Coria A, JL, Reyes B, N, Sáenz M, J. 2016. Mecanismos de las RPCV para mitigar el estrés abiótico de plantas. *Arido-Ciencia* 1(1):5-12
- Sambo, P., N, Giro, A., Pii, Y., Valentinuzzi, F., Mimmo, T., Lugli, P., Orzes, G., Mazzetto, F., Astolfi, S., Terzano, R., & Cesco, S. (2019). Hydroponic Solutions for Soilless Production Systems: Issues and Opportunities in a Smart Agriculture Perspective. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00923>
- Sariñana N., M.D.L.A.; Hernández M., L.G., Sanchez-CH., E.; Reyes-P., J.J.; Murillo A., B.; Reyes-G., A; Preciado-R., P. (2021). Foliar fertilization of sodium selenite and its effects on yield and nutraceutical quality in grapevine. *Journal of the Faculty of Agronomy of the University of Zulia*38: 806-824
- Velasco J, A, Castellanos H, O., Acevedo H, Gustavo, A., Rayn C., Rodríguez S., A. 2020. Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 333-345. Epub 20 de junio de 2020. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.470>
- Zapata-Sifuentes, G., Hernandez-Montiel, L.G., Saenz-Mata, J., Fortis-Hernandez, M., Blanco-Contreras, E., Chiquito-Contreras, R.G., Preciado-Rangel, P. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Improve Growth and Fruit Quality of Cucumber under Greenhouse Conditions. *Plants* 2022, 11, 1612. <https://doi.org/10.3390/plants11121612>
- Zhang, P., Du, H., Wang, J., Pu, Y., Yang, C., Yan, R., ... Yu, D. (2019). Multiplex CRISPR/Cas9-mediated metabolic engineering increases soybean isoflavone content and resistance to soybean mosaic virus. *Plant Biotechnology Journal*. doi:10.1111/pbi.13302

ESTABILIDAD DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO DE PASTIZALES GANADEROS BAJO DIFERENTES MANEJOS

Karla Liliana López García¹; Bruno Chávez Vergara²; Dulce Flores-Rentería³

¹Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Cinvestav Saltillo. Posgrado en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía.

²Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Departamento de Ciencias Ambientales y del Suelo.

³Conahcyt-Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Cinvestav Saltillo. Posgrado en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía.
e-mail: karla.lopez@cinvestav.edu.mx

RESUMEN

Los suelos son reservorios cruciales de carbono (C), acumulando más que la vegetación y la atmósfera. La liberación de carbono orgánico del suelo (COS) impacta el clima global, ya que alrededor del 14% del CO₂ atmosférico proviene de su desestabilización. La materia orgánica del suelo (MOS) es esencial para la dinámica del almacenamiento de C. El manejo del suelo, especialmente en ganadería, afecta esta dinámica. Las prácticas convencionales han degradado el suelo, mientras que el manejo regenerativo con pastoreo no selectivo muestra potencial para aumentar las reservas de carbono. Este estudio evalúa la estabilidad térmica de la MOS bajo diferentes manejos de pastizales ganaderos, utilizando calorimetría diferencial de barrido (CDB). Se comparo un pastizal con manejo regenerativo y uno convencional, analizando las fracciones de MOS según su resistencia a la oxidación térmica. Los resultados indican que el suelo con manejo regenerativo presenta mayor estabilidad de la MOS. En suelos convencionales, el C en la región lábil (150-375 °C) se descompone a temperaturas más altas. En contraste, el manejo regenerativo muestra un desplazamiento hacia temperaturas más bajas y una mayor estabilidad en la región extra recalcitrante (475-600 °C). La T₅₀, temperatura a la cual se libera el 50% de la energía total, es menor en el manejo regenerativo (356 °C) frente a 360°C en el convencional. En conclusión, el manejo regenerativo mejora la estabilidad térmica de la MOS, con implicaciones positivas para la gestión del carbono en el suelo y la mitigación del cambio climático.

PALABRAS CLAVE

Materia orgánica; Pastoreo de ganado; Manejo regenerativo.

INTRODUCCIÓN

Los suelos son reservorios dinámicos de C a nivel global (2,500 Gt), acumulando más C que la vegetación (560 Gt) y la atmósfera (800 Gt). La reserva de C en el suelo se compone tanto de C inorgánico como de C orgánico, siendo este último un indicador de la salud del suelo. La liberación o activación de incluso una pequeña fracción del C orgánico del suelo puede tener un efecto considerable en los gases de efecto invernadero y en el clima global. Aproximadamente el 14% del CO₂ atmosférico se atribuye a la desestabilización del COS (Xu and Tsang, 2024). Uno de los factores clave

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

en la dinámica del almacenamiento de C es la MOS, que merece especial atención debido a que es el precursor del COS. La MOS representa un vasto reservorio de C e influye en casi todas las propiedades y procesos físicos, químicos y biológicos de los suelos (Plaza *et al.*, 2018). Para comprender mejor la dinámica de la MOS, se han desarrollado métodos para identificar, aislar y caracterizar las fracciones de la MOS según sus tiempos de residencia en el suelo. Estos procedimientos permiten distinguir entre la MOS que se descompone fácilmente (con baja estabilidad, pero alta calidad) y la que se descompone con menor facilidad (con alta estabilidad, pero baja calidad) por parte de los microorganismos. La estabilidad de la MOS se define por la facilidad con la que el C y el N contenidos en ella pueden ser mineralizados (Plante *et al.*, 2011). La permanencia y estabilidad del C en el suelo depende de diversos factores edáficos y climáticos, puede ser afectada por el cambio de uso y manejo del suelo. La ganadería, uno de los sectores clave del país, ha recurrido históricamente a métodos convencionales que han causado sobrepastoreo y degradación del suelo (Hoth, 2012). Es por ello que actualmente se busca adoptar prácticas alternativas a los métodos tradicionales, entre las que destaca el manejo regenerativo con pastoreo no selectivo, que utiliza al ganado como herramienta para la conservación de los pastizales.

Este enfoque incluye la planificación de la rotación de ganado y el descanso del sitio, el monitoreo del pasto y del ganado, la reducción del uso de garrapaticidas y la selección cuidadosa de la genética del ganado (Zietsman and Holness, 2014). Se ha demostrado que este tipo de manejo incrementa las reservas de C en el suelo (López-García, 2023). Sin embargo, es necesario identificar y cuantificar las fracciones de la MOS para ahondar en la estabilidad de dichos almacenes. Por lo que el objetivo del proyecto es identificar las fracciones de la MOS de acuerdo con su resistencia a la oxidación térmica mediante calorimetría diferencial de barrido para determinar la estabilidad térmica de la MOS entre diferentes manejos de pastizales ganaderos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra en el municipio de Riva Palacios, Chihuahua, dentro del desierto Chihuahuense, México, donde predominan suelos tipo leptosol y calcisol. Desde 2014, el rancho Los Robles ha implementado un manejo regenerativo con pastoreo no selectivo, mediante el cual se utilizan aproximadamente 350 vacas en un área de 6 ha por día. Debido al espacio reducido durante el pastoreo, el ganado no selecciona la vegetación, consumiendo toda la maleza y las hierbas apetecibles. El pastoreo finaliza cuando se deja una altura de 10 cm de las plantas; luego, se rota el ganado y el área utilizada se deja en reposo durante 18 a 23 meses, dependiendo de las precipitaciones anuales.

Este sitio fue comparado con un rancho adyacente con manejo convencional, consistente en libre pastoreo, respetando la carga animal especificada para la región. El muestreo se realizó en octubre de 2021, seleccionando parcelas de 200 x 200 m y tomando 10 muestras de suelo por el método radial a 10 cm de profundidad. Las muestras fueron tamizadas a 2 y 100 mm. Se realizó un análisis de estabilidad térmica de la MOS utilizando la técnica de calorimetría diferencial de barrido (DSC), por triplicado. Las muestras se sometieron a una combustión en aire seco a temperaturas que variaron entre 50 y 900 °C. El calor de combustión se determinó integrando las curvas de DSC (Wg^{-1}). Para el análisis, se consideraron únicamente los datos de la

región exotérmica (150-600 °C), excluyendo el resto de los datos registrados. Además, se determinó la temperatura a la cual se libera el 50% de la energía total, identificada como T_{50} .

Para representar los diferentes grados de resistencia a la oxidación térmica, la curva se dividió en tres grupos según la liberación de calor: materia orgánica lábil (150-375 °C), materia orgánica recalcitrante (375-475 °C) y materia orgánica extra recalcitrante (475-600 °C) (Chávez-Vergara et al., 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de la estabilidad térmica de la MOS proveniente del rancho con manejo convencional, se observó un pico predominante a 344 °C en la región lábil; un cambio de pendiente (hombro) a 426 °C en la región recalcitrante; y un pico con menos energía liberada a 493 °C en la región extra recalcitrante. La T_{50} se libera a un promedio de 360 °C. En este caso, el porcentaje de energía liberada fue 1.45 veces mayor en la región lábil en comparación con el resto de las regiones (Fig. 1).

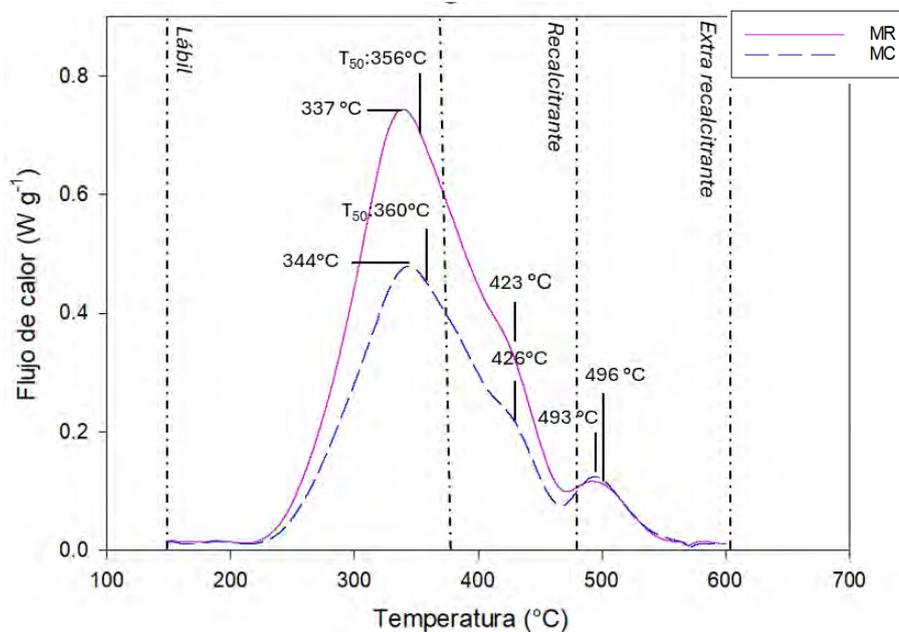


Figura 1. Termograma promedio de la MOS de pastizales con manejo convencional (MC) y manejo regenerativo (MR).

En los suelos del rancho con manejo regenerativo, el pico predominante se encuentra a 337 °C en la región lábil; con un hombro a 423 °C en la región recalcitrante; y un pico a 496 °C en la región extra recalcitrante. La T_{50} se libera a 356 °C (Fig. 1).

La MOS que se produce en los pastizales ganaderos con manejo regenerativo aumenta la energía liberada, en comparación con la MOS con manejo convencional, tanto en la región lábil como en la recalcitrante. El manejo regenerativo al promover la correcta deposición e incorporación del estiércol en el suelo mediante el pisoteo del ganado, contribuye al aumento de la fracción lábil (Zhang et al., 2024). Este manejo regenerativo de este rancho en específico utiliza pastoreo no selectivo con altas cargas de ganado, donde aproximadamente 350 vacas pastorean en áreas de 100 x 600 metros. El ganado es rotado una vez que la vegetación alcanza una altura de 10 cm, lo que

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

facilita la recuperación del suelo y evita el agotamiento de las reservas energéticas de las plantas. Además, se deja un periodo de descanso adecuado de 18 a 23 meses, para asegurar la recuperación del suelo y de la vegetación. Estudios previos han demostrado que este tipo de manejo regenerativo en el rancho Los Robles incrementa la cantidad de vegetación, el contenido de MOS, N, C y la actividad biológica del suelo (López-García, 2023). Las prácticas de pastoreo que eliminan una cantidad moderada de forraje y mantienen suficiente cubierta vegetal y hojarasca para una recuperación completa antes del siguiente pastoreo tienden a reducir la incidencia de suelo desnudo y mejorar la productividad de la vegetación. Lo anterior resulta en niveles más altos C, C de la biomasa microbiana, vegetación y MOS. En contraste, el pastoreo convencional, que carece de planificación y períodos de descanso, puede tener efectos negativos. El pastoreo excesivo propicia un suelo desnudo, que, al estar expuesto a la radiación solar y las temperaturas extremas, experimenta un calentamiento excesivo que reduce la actividad microbiana, acelera la pérdida de MOS y aumenta el riesgo de erosión (Apfelbaum *et al.*, 2022). Por lo cual, el manejo regenerativo, al mantener una productividad, así como una cobertura adecuada, aumenta su contenido de materia orgánica. La T_{50} se incrementa en comparación a la del manejo regenerativo (356°C), desplazándose a temperaturas más altas (361°C). Este desplazamiento de 5°C sugiere una mayor estabilidad térmica de la MOS, posiblemente con una mayor proporción de compuestos resistentes a la descomposición (Mao *et al.*, 2024). Pero también, con una menor disponibilidad de la MOS para procesos biológicos en el suelo. De manera similar, en la región lábil se observó un desplazamiento a mayores temperaturas en el manejo convencional (344°C) en comparación al manejo regenerativo (337°). El aumento en la temperatura del pico sugiere que la fracción lábil ha adquirido una mayor estabilidad térmica. Lo anterior, podría significar una reducción en la tasa de descomposición y mineralización del C en el suelo (Mao *et al.*, 2024), así como una reducción en la accesibilidad de estos compuestos para los microorganismos, lo que podría afectar la actividad microbiana y, por ende, los ciclos de nutrientes en el suelo (Jasso-Flores *et al.*, 2020).

Por otro lado, en las regiones recalcitrante y extra recalcitrante, los suelos bajo manejo convencional muestran picos a temperaturas más bajas en comparación con los suelos con manejo regenerativo. Esto sugiere que la MOS en los suelos manejados regenerativamente contiene compuestos más recalcitrantes, como lignina, compuestos nitrogenados y aromáticos, así como una mayor destrucción térmica de compuestos estabilizados en complejos organominerales. La mayor estabilidad de la MOS en estos suelos se debe a procesos bioquímicos, como la formación de humus, el aislamiento espacial de la MOS dentro de los agregados del suelo, y la estabilización de la MOS a través de su sorción en óxidos de hierro, aluminio y manganeso, así como en las superficies de los minerales arcillosos. En consecuencia, la estabilidad de la MOS está determinada por la complejidad molecular y estructural de los compuestos orgánicos, el grado de polimerización, y las interacciones con los minerales que resultan en la formación de complejos organominerales (Filimonenko *et al.*, 2023).

CONCLUSIONES

El manejo regenerativo, al promover una adecuada incorporación de estiércol y una gestión planificada del pastoreo, incrementa la energía liberada en la MOS y mejora su

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

estabilidad térmica en comparación con el manejo convencional. Aunque el manejo convencional muestra una mayor estabilidad térmica en términos de T_{50} , el manejo regenerativo proporciona una mayor cantidad de MOS disponible y activa, favoreciendo una mejor salud y fertilidad del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Apfelbaum SI, Thompson R, Wang F, Mosier S, Teague R, Byck P. Vegetation, water infiltration, and soil carbon response to Adaptive Multi-Paddock and Conventional grazing in Southeastern USA ranches. *Journal of Environmental Management* 2022; 308: 114576.
- Chávez-Vergara B, Merino A, González-Rodríguez A, Oyama K, García-Oliva F. Direct and legacy effects of plant-traits control litter decomposition in a deciduous oak forest in Mexico. *PeerJ* 2018; 6: e5095.
- Filimonenko EA, Uporova MA, Arbuzova EA, Konstantinov AO, Kurganova IN, Kuzyakov YV. Thermal Stability of Soil Organic Matter in Postagrogenic Luvic Phaeozems. *Eurasian Soil Science* 2023; 56: S139-S146.
- Hoth J. Buenas prácticas ganaderas en México/Beneficial Livestock Management Practices in Mexico. Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA). Montreal. Pp, 2012, pp. 30.
- Jasso-Flores I, Galicia L, Chávez-Vergara B, Merino A, Tapia-Torres Y, García-Oliva F. Soil organic matter dynamics and microbial metabolism along an altitudinal gradient in Highland tropical forests. *Science of The Total Environment* 2020; 741: 140143.
- López-García KL. Evaluación del manejo sostenible de pastizales ganaderos de zonas áridas como indicador de su re-carbonización. Maestría en Ciencias CINVESTAV, Ramos Arizpe, Coahuila, 2023, pp. 67.
- Mao X, Sun T, Liu X, Zhou J, Ma Q, Wu L, et al. Disentangle the drivers of soil organic carbon mineralization and their temperature sensitivity in both topsoil and subsoil: Implication of thermal stability and chemical composition. *Ecological Indicators* 2024; 158: 111399.
- Plante AF, Fernández JM, Haddix ML, Steinweg JM, Conant RT. Biological, chemical and thermal indices of soil organic matter stability in four grassland soils. *Soil Biology and Biochemistry* 2011; 43: 1051-1058.
- Plaza C, Gascó G, Méndez AM, Zaccone C, Maestre FT. Chapter 2 - Soil Organic Matter in Dryland Ecosystems. In: Garcia C, Nannipieri P, Hernandez T, editors. *The Future of Soil Carbon*. Academic Press, 2018, pp. 39-70.
- Xu Z, Tsang DCW. Mineral-mediated stability of organic carbon in soil and relevant interaction mechanisms. *Eco-Environment & Health* 2024; 3: 59-76.
- Zhang Z, Zhang S, Rinnan R. Herbivore dung deposition increases soil respiration through elevated substrate availability and microbial biomass. *Applied Soil Ecology* 2024; 194: 105203.
- Zietsman J, Holness DH. Man, cattle and veld: Harare (Zimbabwe) ZSAP/FAO SAFR, 2014.

ESTÁNDARES NUTRIMENTALES DEL RAMBUTÁN (*Nephelium lappaceum* L.) EN CHIAPAS

Alonso Báez^{1#}; Guillermo López Guillén¹; Alba Leonorilda Solís Pérez¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Rosario Izapa, Carretera Tapachula-Cacahoatán Km. 18, Tuxtla Chico, Chiapas. C.P. 04010.

¹E-mail: # Autor para ¹Autor para correspondencia: alonso.moises@inifap.gob.mx

RESUMEN

En el Estado de Chiapas el rambután (*Nephelium lappaceum* L.), es un frutal que actualmente presenta alta relevancia económica y social, debido a su creciente interés comercial, lo cual promueve la expansión de nuevas plantaciones en esta región del Soconusco, Chiapas. Debido a su importancia regional, para alcanzar una producción sustentable, las plantaciones requieren de un manejo eficiente del agua y su nutrición; lo anterior, sumado a buenas prácticas agrícolas y de sanidad. Con respecto a su nutrición, actualmente no se cuenta con una dosis de fertilización mineral que se sugiera aplicarse en cada uno sus estados de crecimiento y producción; y su fertilización edáfica se realiza extrapolando la experiencia obtenida de su país de origen y Centroamérica. Entonces, para alcanzar un balance nutrimental adecuado acorde con su potencial de rendimiento y calidad, es importante determinar la demanda nutrimental, misma que debe ser estimada de su producción unitaria mejor conocida como extracción o remoción nutrimental; lo anterior, porque un diagnóstico de fertilidad de los cultivos en general, requiere del conocimiento previo acerca de los niveles de absorción y extracción nutrimental del producto cosechado, mejor conocidos como estándares nutrimentales a fin de lograr el rendimiento objetivo del sistema producto. En respuesta a lo anterior, se realizó esta investigación con el objetivo de determinar la remoción nutrimental (RN) en los componentes del fruto de rambután (cáscara, mucílago, testa y semilla) de tres clones de rambután (RI 103, RI 133 y RI 148) mismos que han destacado por su rendimiento.

PALABRAS CLAVE

Remoción; Fruto; Cáscara; Pulpa; Testa; Semilla.

INTRODUCCIÓN

En Chiapas, específicamente en la región del Soconusco, en el Pacífico Sur de México; actualmente se siembra una superficie comercial de rambután (*Nephelium lappaceum*) superior a 200 ha formalmente establecidas; también se sabe que en condiciones de traspatio existen 75,000 árboles con buena producción anual (Caballero et al., 2011; Pérez y Jurgen, 2004). Este frutal considerado exótico se introdujo a México de Malasia, primero en el Estado de Veracruz en los años 50's y 60's; pero, fue hasta los años 90's que el cultivo empezó adquirir importancia comercial en función de su demanda por el mercado local y nacional.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Actualmente en la región Soconusco, este frutal está sembrado en cinco municipios entre los cuales destacan: Cacahoatan, Tuxtla Chico, Metapa de Domínguez, Huehuetan y Tapachula, principalmente. El árbol de rambután en Chiapas, significa un frutal de trascendencia económica y social, debido a su creciente interés comercial, lo cual promueve la expansión de nuevas plantaciones en esta región del Soconusco, Chiapas. Con base en su importancia comercial, y conservar su producción sustentable de rambután, como ha sido señalado, se sugiere que los árboles donde están establecidos dispongan de suficiente agua y nutrición racional, así como de excelentes prácticas agronómicas y sanitarias.

Con respecto a su manejo nutrimental, como fue señalado, no se conoce sistemáticamente una dosis de fertilización para cada una de las etapas de crecimiento y producción; por lo anterior, es necesario disponer de una dosis de fertilización mineral racional, y por tal razón, para una fertilización racional se requiere conocer la remoción nutrimental de este frutal, a fin de conjugar ésta con el aporte (AS) del suelo, de cuya diferencia (RN-AS), se diseñe una dosis de fertilización mineral. Entonces, para alcanzar un balance nutrimental adecuado acorde con su potencial de rendimiento y calidad, es importante determinar la demanda nutrimental, misma que debe ser estimada de su producción unitaria mejor conocida como extracción o remoción nutrimental; lo anterior, porque un diagnóstico de fertilidad de los cultivos en general, requiere del conocimiento previo acerca de los niveles de absorción y extracción nutrimental del producto cosechado, a fin de lograr el rendimiento objetivo del sistema producto. En relación con los antecedentes señalados, se realizó una investigación que condujera a determinar la remoción nutrimental del rambután (RN); ya que a partir de la RN de la porción cosechada del cultivo (fruto: cáscara, pulpa, testa y semilla) es viable de manera sistemática realizar su fertilización mineral racional. En el contexto de los principios de la fertilización en su conjunto, se sabe que la RN es la principal ruta a través de la cual los nutrimentos son absorbidos del suelo, así como de los fertilizantes aplicados (Rodríguez; 1993; Rodríguez *et al.*, 2001).

Conocer la extracción nutrimental sistemática, mantiene entre sus propósitos que la aplicación del fertilizante sea efectiva para el manejo eficiente de los nutrimentos en los cultivos, y se minimicen sus pérdidas hacia el ambiente, de esta manera se proporciona la fertilización adecuada del rambután, ya que como se señaló, es esta la manera de maximizar la disponibilidad de los nutrimentos a través del proceso de absorción, principales rutas de acceso nutrimental (intercepción, difusión y flujo de masa). Entre las estrategias de los últimos años para el uso eficiente de los nutrimentos, debe utilizarse la fertilización racional de los cultivos (Rodríguez, 1999); esta estrategia se ha fundamentado en investigaciones sobre nutrición y fertilidad de suelos por la eficiencia que resulta de su aplicación para incrementar la productividad de los cultivos e incremento en la calidad de sus cosechas (Reuter y Robinson, 2000). Esta metodología de la fertilización racional de los cultivos, surgió con el propósito de evitar aplicaciones excesivas de fertilizantes minerales por la repercusión sobre el ambiente, y se sugiere que sólo se aplique la cantidad racional de fertilizante que necesita el cultivo para alcanzar su mayor rendimiento (Pinochet, 1999; Rodríguez *et al.*, 2001).

La fertilización racional mineral de sitio específico comprende para su propósito el componente de la RN que, para el rambután, hasta ahora no se dispone de estos estándares nutrimentales y aun cuando existen algunos estándares para el cultivo, dichos valores no revelan su sistematización. Sobre la base de los antecedentes mencionados se realizó esta investigación, cuyo objetivo fue determinar la remoción nutrimental (RN) en los componentes del fruto de rambután, para lo cual se seleccionaron tres clones de rambután considerados de alto rendimiento (RI 103, RI 133 y RI 148).

MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo de esta investigación comprendió tres años, del 2021 al 2023. Los clones de rambután para este estudio se encuentran establecidos en el Campo Experimental Rosario Izapa (CERI) dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), sitio ubicado en el Km 18 de la carretera Tapachula-Cacahoatan, Tuxtla Chico, Chiapas, cuyas coordenadas geográficas de referencia están entre los paralelos 14° 58' 35" y longitud 92° 09' 30", a una altitud de 435 m. el clima es cálido húmedo, la temperatura promedio anual es de 26°C, y la precipitación es de 4300 mm; asimismo, el suelo es un andosol de origen volcánico, y su textura es un migajón arenoso.

El material vegetal fueron los clones mencionados: RI 103, RI 133 y RI 148, éstos sobresalientes por características agronómicas deseables y de excelente calidad de frutos y rendimiento. Los frutos maduros de este frutal se colectaron maduros durante el mes de agosto de 2022, en campo se colectaron 60 frutos en total, 20 frutos de cada uno de los clones mencionados. Los frutos colectados se llevaron al laboratorio y aquí, éstos primero fueron lavados con agua corriente y después con agua destilada, después los frutos fueron secados con toallas desecantes e inmediatamente se procedió con el proceso de disección de cada fruto los cuales se fraccionaron en sus partes: cascara, pulpa, testa y semilla. Cada fracción después de fraccionarse se puso en cajas petri y después se metieron al horno de secado por 72 horas a 65°C; la pulpa del fruto debido a su dificultad para obtener la muestra seca, primero se congeló para triturarla, y después de este proceso se metió al horno de secado por una hora a temperatura que osciló entre 100 °C y 200 °C para su secado.

Cada uno de los componentes del fruto: cáscara, testa y semilla, se fraccionaron y se metieron al horno de secado por 72 hora, después del secado las muestras secas se pusieron en un desecador por 30 minutos y después cada una de las fracciones de los componentes se molieron con el molino para muestras vegetales. Posteriormente, las porciones molidas individualmente se envasaron en bolsas de polietileno, se etiquetaron y se enviaron al laboratorio para su análisis químico. Allí a cada componente del fruto fue analizado independientemente, donde a cada uno se les determinaron los macro y micro-nutrientes. Sobre esta base se recibió el informe correspondiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan los resultados del análisis de varianza, el cual reveló diferencia altamente significativa en relación con los macro-nutrientes por componentes del fruto en función del tiempo (2021 y 2023). Sobre esta base, la separación de medias por el método de Tukey al 5% de aceptación mostró que, aun por la diferencia en tiempos de observación, la extracción de N en los componentes del fruto, reportaron una concentración similar (pulpa, testa, semilla y cáscara). Sin embargo, en la pulpa la extracción del N y K fue superior al resto de los macro-nutrientes. La extracción de los mismos en la testa y cáscara fue similar; pero, con respecto a la semilla, la extracción de N fue superior al resto de los macro-nutrientes (P, K, Ca, Mg y S). Con respecto a P, su extracción fue variable entre los componentes del fruto; en la pulpa su extracción fue similar a la del Ca, Mg y S, superado por el N y K; pero, la misma extracción en la testa y la cáscara fue similar, con excepción de la semilla donde la extracción del N que fue superior a los demás macro-nutrientes. En relación con el K, su extracción por los componentes del fruto pulpa, testa y cáscara fue similar, excepto por la semilla cuya extracción de K fue menor. Específicamente por componentes del fruto, la extracción del N y K en la pulpa, fue superior al resto de los macro-nutrientes. En los componentes testa y cáscara la extracción de K fue similar a los demás macro-nutrientes, y, con respecto a la semilla su extracción fue superada por el N.

Cuadro 1. Remoción nutrimental de macro-nutrientes en los componentes del fruto de Rambután

No	Macroelementos (%)	Pulpa Tukey (P<0.05)	Testa Tukey (P<0.05)	Semilla Tukey (P<0.05)	Cáscara Tukey (P<0.05)
1	Nitrógeno	1.01 a	0.97 a	1.84 a	0.91 a
2	Fosforo	0.10 b	0.08 a	0.28 b	0.10 a
3	Potasio	0.86 a	0.58 a	0.69 b	1.97 a
4	Calcio	0.11 b	0.82 a	0.1 b	0.64 a
5	Magnesio	0.05 b	0.09 a	0.22 b	0.17 a
6	Azufre	0.07 b	0.14 a	0.13 b	0.13 a

En el Cuadro 2 se presentan los resultados del análisis de varianza practicado a cada uno de sus componentes con respecto a los micro-nutrientes, cuyos análisis revelaron diferencia significativa; así, la mayor extracción de Fe ocurre por la pulpa, testa y semilla. Con respecto a la pulpa, la separación de medias (Tukey; $\alpha = 0.05$) agrupa en primer lugar al Fe y Na, e indica mayor extracción de estos micro-nutrientes por la pulpa, seguidos en esta misma fracción por el grupo conformado por el mismo Fe, Zn, Mn y B; finalmente un tercer grupo conformado por el Zn, Mn, Cu, B, Mo y el elemento traza Ni.

Sucesivamente, en la testa, la extracción superior fue Fe, seguido por el Zn, B y Na, respectivamente; asimismo, en el componte de semilla el análisis de varianza reveló que, la mayor extracción fue de los micro-nutrientes Fe, Zn, Mn, Cu, B y Na. En relación con el componente de cáscara, ésta removi6 mayor concentración de Na,

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

seguida por el resto de los micro-nutrientes. En relación con los resultados presentados, otras investigaciones en este ámbito reportaron el mismo orden de extracción por el cultivo de rambután (Lim et al., 1997; Vargas, 2003). En el Cuadro 3 se presentan los valores de remoción nutricional del rambután (*Nephelium lappaceum*). Los mismos fueron determinados, acorde con la metodología para este objetivo, y ya que los análisis de varianza en función del tiempo (2021-2023) revelaron sólo diferencia significativa, sobre esta base se infiere que este comportamiento tendió a una constante de los valores, ubicándolos así en la categoría de estándares nutricionales del rambután.

Cuadro 2. Resultados del análisis de varianza, con respecto a la remoción nutricional de micro-nutrientes en los componentes del fruto de Rambután.

No	Microelementos (ppm)	Pulpa Tukey (P<0.05)	Testa Tukey (P<0.05)	Semilla Tukey (P<0.05)	Cáscara Tukey (P<0.05)
1	Fe	27.37 a b	89.60 a	19.51 a b	17.43 b
2	Zn	12.02 b c	28.07 b c	32.27 a	18.12 b
3	Mn	11.62 b c	7.02 c	8.590 a b	13.09 b
4	Cu	5.730 c	11.52 c	12.01 a b	4.920 b
5	B	7.930 b c	18.48 b c	10.58 a b	22.55 b
6	Mo	0.120 c	1.18 c	0.330 b	0.240 b
7	Na	38.25 a	52.05 b	16.74 a b	46.15 a
8	Ni	0.170 c	0.19 c	0.160 b	0.110 b

Cuadro 3. Estándares nutricionales del Rambután en Chiapas, México.

Macro-nutrientes (%)						Micro-nutrientes (ppm)						
N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Mn	Cu	B	Mo	Na
1.18	0.14	1.02	0.42	0.13	0.12	38.48	22.62	10.08	8.55	14.89	0.47	38.30

CONCLUSIONES

En relación con los resultados de esta investigación en su evaluación estacional fue de tres años, este espacio temporal solo influyó significativamente en el comportamiento de los valores, sobre esta base se infiere que este comportamiento tendió hacia una constante, asignándolos así en la categoría de estándares nutricionales del rambután en México.

BIBLIOGRAFÍA

- Caballero-Perez, J. F., Arevalo-Galarza, L., Avendano-Arrazate, C. H., Cadena-Iniguez, J., Valdovinos-Ponce, G., & Aguirre-Medina, J. F. (2011). Cambios físicos y bioquímicos durante el desarrollo y senescencia de frutos de rambutan (*Nephelium lappaceum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(1), 31-38.
- Lim TK, Luders L, Diczbalis Y, Poffley M (1997) Rambutan nutrient requirement and management. Dept Pri Ind Fish Northern Territory Tech. Bull. No. 261

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Pérez, R. A., y P. A. Jürgen. 2004 Prácticas de cosecha y poscosecha del rambután en el Soconusco, Chiapas, México. *Revista de Agroecología* 20(3):24-26
- Rodríguez S., J. 1993. La fertilización de los cultivos: Un método racional. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. ANAGRA, S.A.
- Rodríguez, J., D. Pinochet y F. Matus. 2001. Fertilización de los Cultivos. Ediciones LOM. Santiago, Talca, Valdivia. 117 pp



ESTUDIO BIOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE SUELOS AGRÍCOLAS

Leonardo Daniel García Torres¹; Ángeles Martínez Toledo²; Germán Santacruz De León³; César Arturo Ilizaliturri²; Donaji Josefina González Mille²; José Alfredo Ramos Leal⁴; Janete Morán Ramírez⁴

¹Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, UASLP. Av. Dr. Manuel Nava 8, Zona Universitaria, San Luis Potosí, S.L.P. ²Facultad de Medicina-Centro de Investigación Aplicada en Ambiente y Salud, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Coordinación para la Aplicación de la Ciencia y la Tecnología (CIACyT-CIAAS), Av. Sierra Leona # 550, 2da. Lomas de San Luis, San Luis Potosí, México. ³Programa Agua y Sociedad, Colegio de San Luis A.C. (COLSAN), Parque Macul 155, Colinas del Parque, CP 78294, San Luis Potosí, México. ⁴Instituto Potosino de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, A.C. (IPICyT), División de Geociencias Aplicadas, Camino a la Presa San José # 2055, Lomas 4a, Sección, CP 78216, San Luis Potosí, México. Autor de correspondencia: angeles.martinez@uaslp.mx

RESUMEN

La falta de regulación y el uso desmedido de agroquímicos en la agricultura, ha provocado severos problemas de contaminación ambiental, siendo el suelo de los principales afectados. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad de suelos agrícolas mediante técnicas bioquímicas y microbiológicas. Para lograr esto se analizaron 19 muestras de sitios agrícolas del Altiplano Potosino, donde se evaluó la presencia de metales pesados, la actividad enzimática, y la medición de la producción de CO₂. Se encontraron niveles de metales pesados que sobrepasan los límites regulatorios, así como la inhibición en actividad enzimática y baja producción de CO₂. Estas condiciones están relacionadas con la contaminación por metales pesados, lo cual afectan directamente la calidad y salud del suelo.

PALABRAS CLAVE

Actividad enzimática; Metales; Producción de CO₂; Suelos agrícolas.

INTRODUCCIÓN

Los metales pesados son elementos minerales cuya acumulación en el suelo, agua y en tejidos vegetales constituyen un riesgo para la salud pública. Enfermedades cancerígenas, renales y hepáticas están asociadas a altas concentraciones de estos elementos. La contaminación por metales es un problema en aumento debido principalmente a actividades industriales como la minería, la metalúrgica, y a la producción agrícola, producto del uso excesivo de agroquímicos (Londoño-Franco *et al.*, 2016). La actividad enzimática del suelo se ha propuesto como uno de los indicadores más apropiados de la calidad de los suelos debido a su relación íntima con la biología de este, su facilidad de medición, y su rápida respuesta a las perturbaciones y/o al estrés, incluidos los causados por la contaminación por metales (Taylor *et al.*, 2002).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

El manejo intensivo del suelo altera considerablemente las propiedades y condiciones ambientales del suelo lo que puede repercutir en la actividad de los microorganismos y, por consiguiente, en la dinámica del CO₂ del suelo, por lo tanto, puede utilizarse como un indicador de alteraciones en las comunidades microbianas (García y Hernández 2003). El objetivo del presente trabajo fue evaluar la actividad bioquímica y microbiológica en los suelos del altiplano potosino con la finalidad de generar información valiosa sobre su salud que permitan tomar medidas preventivas y/o correctivas en la producción agrícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio y muestreo: Se tomaron 19 muestras compuestas de suelos que corresponden a campos agrícolas ubicados en el altiplano potosino, distribuidos entre los municipios de Santo Domingo, Villa de Ramos y Salinas, (Figura 1) donde los principales tipos de cultivo son chile y alfalfa, el método utilizado fue aleatorio simple, la muestra 1 es un suelo sin cultivo el cual se utilizó como control. Las muestras se secaron a temperatura ambiente ($25\pm 2^{\circ}\text{C}$) por 24 horas, se molieron en mortero, se tamizaron (0.4 mm) y se almacenaron en refrigeración a 4°C en tubos para centrifuga estériles para análisis microbiológicos y bioquímicos, y en tubos no estériles para metales pesados, hasta su análisis (Bautista *et al.*, 2004).

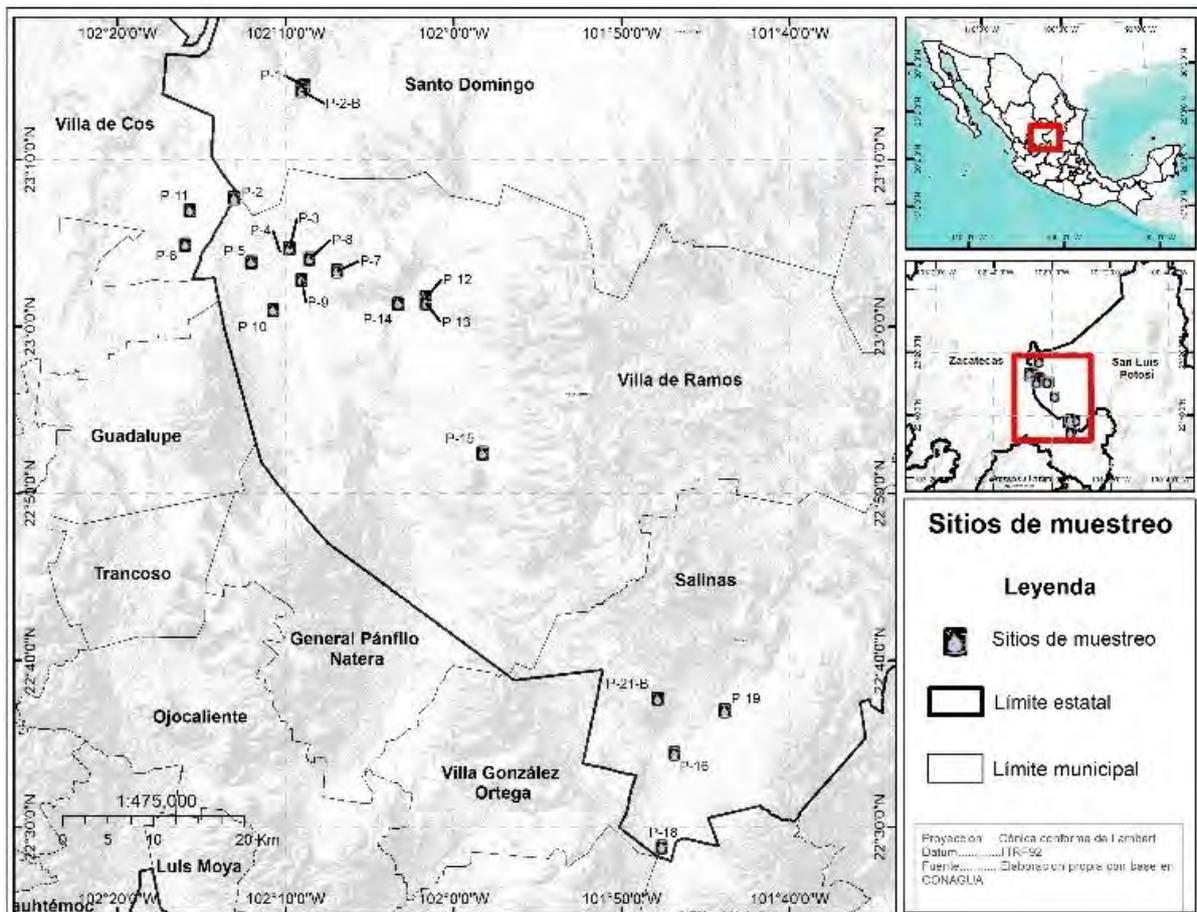


Figura 1. Sitios de muestreo.

Análisis de metales: Para realizar el análisis de metales de cada muestra se utilizó espectrofotómetro de fluorescencia por rayos X (EDX 7000) como estándar se utilizó el SQC001-30G. La lectura de metales pesados en cada muestra se realizó por duplicado, utilizando únicamente 2 g de suelo en cada celda.

Enzimas del suelo: La actividad enzimática se estimó por el método espectrofotométrico basados en la liberación de p-nitrofenol (p-NF) se utilizaron placas de 96 pozos reportado por Jackson *et al.* (2013), brevemente, se utilizó un buffer de acetato (50 mM, pH 5.0) para preparar sustratos específicos (5mM) para cada una de las enzimas: β -glucosidasas (p-NF- β -glucopiranosidasa), fosfatasa (p-NF-fosfato), NAGasas (nitrogenasas) (p-NF-Nacetil β -D-glucosaminidasa) y arilsulfatasas (p-NF-sulfato). Se preparó un lodo de cada suelo con buffer de acetato (2 g/ml), se colocaron 150 μ l de este más 150 μ l de sustrato, se incubaron por 1 hora a 35°C, y de 2 h para las NAGasas. Finalizada la incubación, se centrifugaron las placas a 3000 rpm por 10 min a 4 °C. Posteriormente se transfirieron 100 μ l del sobrenadante a microplacas nuevas, más 190 μ l de agua destilada y 10 μ l de 1M NaOH y se leyeron a 410 nm. Cada muestra se analizó por cuatriplicado.

Producción de CO₂: La estimación de la producción de CO₂ en base al consumo de fuentes de carbono se realizó mediante la técnica de MicroResp®, que consistió en una incubación previa del suelo (0.35g), una humedad del 60%, con una fuente de carbono (glucosa 24%) en una placa de micropozos a 35°C por 5 días. Después de este tiempo se colocó el sello que permite el paso del CO₂ producido en los micropozos hacia la placa de detección, inmediatamente después se retiró la placa de detección y se realizó la lectura inicial (A0) a 570 nm, se colocó nuevamente el sello y la placa y se incubaron por 6 h durante 35°C, trascurrido este tiempo se realizó la lectura final (A6) a la misma longitud. Los cálculos se realizaron de acuerdo con Campbell *et al.* (2003). Cada muestra se analizó por cuatriplicado.

Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó STATISTICA (versión 13.0 Dell Inc.®, Tulsa, Okla-homa, USA), se procesaron medias, desviación estándar, y un análisis de correlación de Pearson ($p < .05$) al conjunto de resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los metales identificados en los suelos agrícolas se presentan en el Cuadro 1. Se encontró que todos los sitios poseen un alto contenido de As, por encima de los límites establecidos (22 mg/kg) en la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (SEMARNAT-SSA 2004), el sitio 13 presentó los niveles más altos. Los sitios 1, 14, 16 y 17 fueron los únicos en no rebasar el límite de concentración para V (78 mg/kg), el sitio con más alta concentración fue el 15, por otro lado, solo cuatro sitios (1, 2, 6 y 12) superaron la concentración límite para Hg (23 mg/kg). Se ha reportado que las prácticas agrícolas aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos, plaguicidas y aguas de riego pueden estar adicionando metales traza al suelo (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Mn, Pb, Se, V y Zn) en concentraciones que puede causar toxicidad (Bello *et al.*, 2014).

Cuadro 1. Concentración de metales pesados encontrados en los sitios de estudio.

Sitios	Metales (mg/kg)												
	Al	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
1	40005±15009	36±1	29±1.0	265±1.0	10236±182	1±0.10	52±5.0	95±1.0	38±1.0	65±3.0	11±0.1	24±3.0	14±3.0
2	7881±3148	85±0.7	39±0.1	650±18.0	29094±167	4±0.50	42±4.0	112±0.3	81±1.4	63±12.0	12±0.4	52±2.6	140±10.4
3	153290±6268	92±7.0	37±7.0	488±23.0	31041±1486	4±0.10	43±1.0	120±4.0	71±4.0	63±12.0	11±0.1	16±5.0	41±5.0
4	165216±1194	90±1.0	40±3.0	554±12.0	26292±694	4±0.10	39±3.0	117±0.1	69±5.0	48±1.0	11±1.0	20±3.0	38±4.0
5	138400±1486	85±1.0	43±4.0	481±14.0	23625±175	3±0.10	26±1.0	109±3.0	72±1.0	40±1.0	11±0.1	18±3.0	47±1.0
6	109684±40012	84±1.0	46±11.0	586±41.0	25049±179	3±0.10	45±2.0	118±3.0	77±1.0	39±6.0	10±1.0	24±4.0	49±5.0
7	158669±1984	88±1.0	45±15.0	728±17.0	35677±664	5±0.10	36±2.0	113±2.0	113±7.0	36±2.0	11±1.0	14±3.0	52±4.4
8	165631±3929	86±1.0	54±10.0	619±4.0	30831±466	4±0.10	38±3.0	115±7.0	87±4.0	46±4.0	10±0.2	11±1.0	52±5.5
9	150649±950	87±0.4	37±1.3	542±16.0	59686±91	4±0.10	39±3.0	113±0.6	85±0.1	54±0.1	12±0.2	18±2.2	42±9.0
10	153802±2461	93±1.5	38±0.6	640±4.0	30299±42	4±0.10	40±0.2	109±0.5	81±0.5	69±14.0	9±0.1.0	17±2.8	47±2.3
11	13010±258	82±2.0	32±1.7	497±18.2	25561±358	4±0.10	29±1.0	107±2.0	69±1.0	66±21.0	11±1.0	20±5.3	40±3.0
12	129468±372.5	69±1.5	36±0.8	592±21.0	25761±179	4±0.10	44±6.0	113±0.7	76±3.0	73±0.1	13±0.1	24±2.5	34±4.0
13	153650±715.1	95±2.0	36±0.2	609±2.2	29226±171	4±0.10	33±1.5	120±3.0	85±4.6	81±0.1	10±0.8	18±1.7	50±3.6
14	101368±37647	76±0.4	34±3.0	586±11.0	25006±208	3±0.10	36±2.0	111±3.7	82±4.2	44±6.5	12±1.2	22±2.4	30±1.3
15	118059±40404	107±0.9	54±1.2	891±31.0	34933±148	5±0.05	80±2.4	499±4.3	280±5.6	51±2.7	11±0.4	20±1.9	35±6
16	120058±4023	74±1.2	27±0.2	754±1.4	32380±330	4±0.10	30±1.2	114±0.7	132±4.5	45±5.4	11±1.0	14±2.2	54±0.5
17	109597±1171	47±0.7	21±0.3	355±8.6	20939±150	3±0.10	25±2.3	105±1.0	76±1.4.0	60±0.6	12±0.7	18±0.3	28±2.1
18	125681±41133	85±1.6	28±4.1	803±35.0	29887±49	4±0.10	22±5.4	123±4.0	112±5.1	50±6.2	11±1.0	13±2.1	65±1.5
19	179956±2760	95±2.8	34±1.7	902±39.0	37044±368	5±0.10	45±3.0	120±4.5	125±7.4	43±24.4	11±0.4	13±1.2	63±1.0

Para evaluar el nivel de toxicidad causada por los metales se utilizó como indicador la actividad enzimática (Figura 2). La actividad de la arilsulfatasa observada de acuerdo con Acosta-Martínez y Tabatabai (2000) fue dos veces menor al nivel más bajo reportado para suelos agrícolas (0.647- 0.790 μ moles p-NF/g h), la actividad fosfatasa más alta se presentó en el punto 13, sin embargo, esta fue menor al nivel inferior reportado para suelos con cultivo (0.9-2.1 μ moles p-NF/g h) por Bolton *et al.* (1985). La actividad β -glucosidasa fue la única en encontrarse dentro de los rangos de 0.151-0.324 μ moles p-NF/g h reportados por Pascual *et al.* (2000).

Los resultados de la actividad NAGasa en nuestro estudio se encontraron dentro del nivel inferior del intervalo reportado por Ekenler y Tabatabai (2004) para diferentes suelos agrícolas (0.1-0.6 μ moles p-NF/g h). Se ha reportado que los metales (Hinojosa *et al.*, 2010) pueden afectar las actividades enzimáticas a través de diferentes mecanismos como inactivación, inhibición de biosíntesis y por cambios en la composición de grupos específicos, fenómenos que pueden explicar su comportamiento en los sitios de estudio.

Del análisis del conjunto de resultados (correlación de Pearson del conjunto de resultados), se identificó una correlación negativa (r , $p < 0.05$) entre la arilsulfatasa y el V (-0.35), pero positiva (r , $p < 0.05$) con el contenido de Cd (0.36), las NAGasas presentaron correlación negativa (r , $p < 0.05$) con Cu (-0.36) y Zn (-0.40), pero positiva con As (0.31), al igual que la fosfatasa (0.32). La β -glucosidasa no presentó efectos por metales. Belyaeva *et al.* (2005) reportaron resultados similares a los encontrados en nuestro estudio, donde se observó la inhibición de enzimas ureasas y fosfatasas en suelos con Zn y Cu.

La respiración en suelo es un indicador de la actividad microbiológica por lo que utilizo para evaluar el efecto de los metales sobre las comunidades microbianas. En los diferentes sitios se observó una producción de CO₂ dentro del intervalo reportado (0.625-1.3333 μ g-CO₂-C/g/h), por García y Hernández (2003) para suelos agrícolas, donde destacan los sitios del 12 al 15 con la mayor producción de CO₂ (Figura 3).

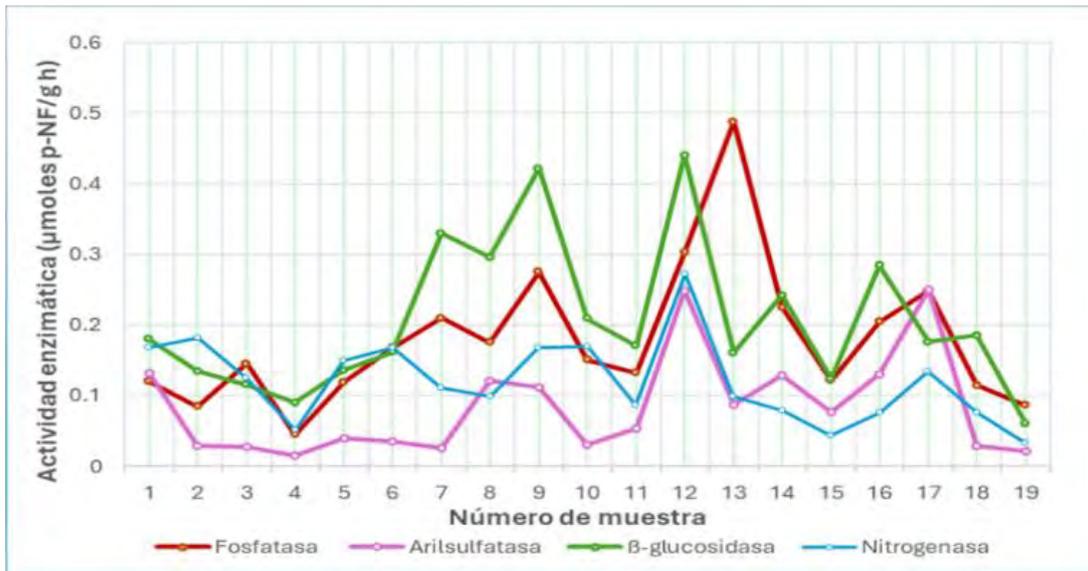


Figura 2. Actividad enzimática encontrada en los sitios de estudio.

Se ha reportado que a bajas concentraciones los metales pueden favorecer el crecimiento de los microorganismos y a altas concentraciones ocurre lo contrario (Rashid *et al.*, 2023), por otro lado, Nwachukwu *et al.* (2011) reportaron que cuando se agregan metales como el Zn, Cu, and Pb disminuye la producción de CO₂, pero cuando se suministra una adecuada fuente de carbono la producción de CO₂ se recupera. Nuestros resultados confirman que los agroquímicos aplicados están generando acumulación de metales pesados, aunque ciertas fuentes de carbono que se aplican estarían reduciendo el efecto sobre las poblaciones microbianas, pero para una mayor comprensión de la problemática se requieren estudios futuros sobre los efectos en los cultivos.



Figura 3. Producción de CO₂ en los sitios de estudio comparadas con el rango reportado por García y Hernández (2003).

CONCLUSIONES

Los suelos agrícolas presentaron concentraciones de metales pesados que provocaron inhibición en las enzimas arilsulfatasas y NAGasas (nitrogenasas), pero una producción aceptable de CO₂ en el suelo, lo que indica que los agroquímicos están afectando a cierto grupo de microorganismos, por lo que se pueden estar comprometiendo los flujos de materia y energía en estos ecosistemas. Lo que sugiere generar mejores prácticas de producción de alimentos para proteger la salud humana y de los ecosistemas.

REFERENCIAS

- Acosta-Martínez, V., Tabatabai, M.A. (2000) Enzyme activities in limed agricultural soil. *Biol. Fert. Soils*, 31: 86-91
- Bautista, Z. F., Delfín, G. H., Palacio, P. J.L., Delgado, C. M.C. (2004) Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. II *El Ambiente*, 2 Suelo. pp. 73-97. UNAM, UAY, CONACyT, INE. México. ISBN 970-32-1778-8.
- Bello, D., Trasar-Cepeda, C., Gil-Sotres, F. (2014) Enzymes and environmental contaminants significant to agricultural sciences. En: Gianfreda, L., and Rao, M, A. (eds). *Enzymes in Agricultural Sciences*. Disponible en: <https://uilis.usk.ac.id/oer/files/original/e56900e4a2760eb94a3c2df9dc3d6c1d.pdf>
- Belyaeva, O.N.; Haynes, R.J.; Birukova, O.A. (2005). Barley yield and soil microbial and enzyme activities as affected by contamination of two soils with lead, zinc or copper. *Biol. Fert. Soils*, 41, 85-94
- Bolton, Jr. H., Elliot, L.F., Papendick, R.I., Bezdicek, D.F. (1985). Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities: effect of fertilization and cropping practices. *Soil Biol. Chem.*, 17:297-302.
- Campbell C., Chapman S., Davidson M. (2017). Colorimetric Detection Protocol en: *MicroResp Technical Manual*, pp. 7-17
- García, C., Hernández T. (2003). Estimación de la respiración microbiana del suelo en: *Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana*. Ediciones Mundi-Prensa. España. pp. 371
- Hinojosa, M. B., García-Ruiz, R., Carreira, J.A. (2010) Utilizing microbial community structure and function to evaluate the health of heavy metal polluted soil. En: Sherameti I., and Varma, A (eds). *Soil Heavy Metals*. *Soil Biology* Vol. 19. doi 10.1007/978-3-642-02436-8. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Ekenler, M., Tabatabai, M. A. (2004) β -Glucosaminidase Activity as an index of nitrogen mineralization in soils, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 35:7-8, 1081-1094, <http://dx.doi.org/10.1081/CSS-120030588>
- Jackson, C. R., Tyler, H. L., Millar, J. J. (2013). Determination of microbial extracellular enzyme activity in waters, soils, and sediments using high throughput microplate assays. *J Vis Exp: JoVE*, 80. <https://doi.org/10.3791/50399>
- Londoño-Franco, L.F., Londoño-Muñoz, L.M., Muñoz-García, M.G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. doi:10.18684/BSAA 14: 145-153.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Nwachukwu, O.I.; Pulford, I.D. (2011) Microbial respiration as an indication of metal toxicity in contaminated organic materials and soil. *J. Hazard. Mater.* 185, 1140-1147.
- Pascual, J.A., Garcia, C., Hernández, T., et al. (2000). Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation proceses. *Soil Biol. Biochem.*, 32: 1877-1883.
- Rashid, A.; Schutte, B.J.; Ulery, A. et al. (2023). Heavy Metal Contamination in Agricultural Soil: Environmental Pollutants Affecting Crop Health. *Agronomy*, 13, 1521. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061521>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Secretaría de Salud (SEMARNAT-SSA) (2004). NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, "Norma Oficial Mexicana que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y vanadio, entre otros". Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=696587&fecha=30/12/2004
- Taylor, J.P., Wilson, B., Mills, M.S., Burns, R.G. (2002). Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques. *Soil Biol. Biochem.*, 34: 387-401.

EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE FERTILIZACIÓN Y SISTEMAS DE CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.)

Juan Manuel Barrios-Díaz^{1*}; Alejandro Fidel Alemán¹; Wendy Cruz-Romero¹;
Benjamín Barrios-Díaz²; Jesús Mao Estanislao Aguilar-Luna²;
Ángel Jair Juárez Córdova¹

¹Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
Av. Universidad S/N, San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. C.P. 73965.

²Complejo Regional Universitario - BUAP, Tetela de Ocampo, Puebla, México. C.P. 73640.

*Autor para correspondencia: juan.barrios@correo.buap.mx

RESUMEN

A nivel mundial la lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una hortaliza de hoja consumida en fresco y económicamente muy importante. En México se siembra en diferentes sistemas de cultivo, debido al gran número de variedades que se tienen adaptadas a diferentes condiciones ambientales y de manejo. El objetivo en esta investigación fue evaluar parámetros del crecimiento de plantas de lechuga tipo Batavia cv Vegan Green, condicionadas a diferentes estrategias de fertilización y sistemas de cultivo. Los siete tratamientos establecidos incluyeron la aplicación de una enmienda orgánica de estiércol ovino a dosis de 20 y 40 t ha⁻¹, la fertilización química con fertirrigación y fertirrigación + fertilización de base, el cultivo hidropónico en película nutritiva (NFT, Nutrient Film Technique) con la solución nutritiva Steiner concentrada al 50 y 100 %, y un tratamiento Control no fertilizado, todos bajo un diseño experimental completamente al azar. Las variables medidas de la planta fueron el peso fresco (PF), número de hojas (NH) y diámetro de tallo (DT). Los resultados mostraron que las enmiendas orgánicas aumentaron el PF de las lechugas cosechadas, pero con la fertilización química el NH fue mayor; por su parte, en el sistema NFT el PF, NH y DT de las plantas fue inferior a las cultivadas en suelo.

PALABRAS CLAVE

Enmienda orgánica; Fertirrigación; Sistema hidropónico.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) es muy importante en casi todos los países del mundo. En México, es el noveno cultivo hortícola en cuanto superficie sembrada y doceavo por valor de la producción; se produce en 22 entidades y las principales son Guanajuato, Zacatecas y Puebla; en el año 2023, la producción nacional fue de 552,940 t en 22,847 ha sembradas, con un valor de la producción de 2,982.9 millones de pesos y su rendimiento promedio fue de 24.2 t ha⁻¹ (SIAP, 2023). La lechuga es una planta clasificada como hortaliza de hoja y consumida principalmente en ensaladas que aportan beneficios a la salud humana; por lo anterior, cada día aumentan los consumidores que cuestionan las prácticas de manejo realizadas en la producción de las verduras que consumen en fresco y generalmente declinan su preferencia por aquellas cultivadas orgánicamente, donde no se utilizan fertilizantes y pesticidas

químicos, sin embargo, también los productos orgánicos generan incertidumbre acerca del rendimiento potencial y su inocuidad microbiológica, cuando no están certificados (Muscolo *et al.*, 2022); alternativamente, los cultivos sin suelo o hidropónicos presentan más ventajas productivas pero mayores complicaciones económicas y técnicas para implementarlos a escala comercial. Aunadamente, de la diversidad de climas y variedades de lechuga que existen, su cultivo ha sido adaptado a varios sistemas de producción y manejo, en los cuales, los métodos para llevar a cabo la nutrición de las plantas (fertilización química aplicada al suelo y/o soluciones nutritivas y/o enmiendas orgánicas) influyen en su crecimiento, desarrollo y rendimiento, al respecto, Di Benedetto y Tognetti (2016) mencionan que factores de genotipo, ambiente y manejo, intervienen en la expansión y diferenciación de órganos, captación de energía y procesamiento de fotoasimilados para su distribución entre los distintos órganos de la planta, resultando en la acumulación de biomasa. Con base a lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la respuesta en el peso fresco, número de hojas y diámetro del tallo de plantas de lechuga tipo Batavia *cv.* Vegan Green, con diferentes estrategias de fertilización y sistemas de cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue desarrollada durante los meses de julio a noviembre de 2019, en un invernadero de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, ubicado en Teziutlán, Puebla, México (19° 52' 27" N y 97° 21' 34" W, a 1,675 m de altitud. El suelo del invernadero es andosol y franco arenoso, después de encalado el análisis de fertilidad reportó, 6.3 de pH, 4.0 % de MO, 0.8 g cm⁻³ de Da, 0.4 dS m⁻¹ de CE, 0.2 mg kg⁻¹ de P, 0.17 cmol⁺ kg⁻¹ de K⁺, 10.37 cmol⁺ kg⁻¹ de Ca²⁺, 1.65 cmol⁺ kg⁻¹ de Mg²⁺ y 12.5 cmol⁺ kg⁻¹ de CIC.

Las plántulas de lechuga tipo Batavia *cv.* Vegan Green fueron establecidas en los tratamientos (Cuadro 1). Antes del trasplante las plántulas fueron desinfectadas de su sistema radical con manejo orgánico y bajo el mismo esquema fueron prevenidas plagas y enfermedades.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) tipo Batavia en condiciones de invernadero.

Tratamiento	Estrategia de fertilización	Descripción del sistema de cultivo
Control	Sin fertilización	En suelo y riego por goteo
EO20	Enmienda Orgánica	En suelo con dosis de 20 t ha ⁻¹ y riego por goteo
EO40	Enmienda Orgánica	En suelo con dosis de 40 t ha ⁻¹ y riego por goteo
FIFB	Fertilización química	En suelo y fertirrigación por goteo + fertilización base
FI	Fertilización química	En suelo y fertirrigación por goteo
NFT50	Hidropónico	NFT y solución nutritiva Steiner a 50 % concentrada
NFT100	Hidropónico	NFT y solución nutritiva Steiner a 100 % concentrada

Los tratamientos establecidos en suelo (Control, EO20, EO40, FIFB y FI), fueron ubicados en camas de cultivo con dimensiones de 23 m de largo, 0.7 m de ancho y 0.25 m de altura, acondicionadas con acolchado plástico y dos "cintillas" de riego por goteo para abastecer de agua a tres hileras de plantas. Los riegos fueron aplicados con base a tensión de humedad del suelo (THS,) medida con sensores de matriz granular para

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

mantener la THS entre 10 y 20 kPa. El tratamiento Control fue irrigado con agua corriente y conductividad eléctrica de 0.1 dS m^{-1} . El trasplante fue realizado a “tresbolillo” con separación entre hileras y plantas de 0.30 m ($5.5 \text{ plantas m}^{-2}$). En EO20 y EO40, la enmienda orgánica a dosis de 20 y 40 t ha^{-1} (materia seca), respectivamente, fue estiércol ovino (*Ovis aries*) con 108 % de humedad y para calcular y equiparar las dosis de N aplicadas en los tratamientos de fertilización química, fueron considerados el 2.0 % de N total y una tasa de mineralización durante el primer año de 25 %; la enmienda fue homogéneamente mezclada con el suelo de la cama de cultivo hasta la profundidad de 0.20 m, aproximadamente. En los tratamientos FIFB y FI, la fertilización fue con 2.0, 1.0, 2.0, 1.0 y $0.5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$, de N, P_2O_5 , K_2O , CaO y MgO, respectivamente y empleando fertilizantes solubles comerciales, además, en FIFB fue utilizado fosfonitrato (33 % N) para la fertilización de base a dosis de 100 kg ha^{-1} y aplicado a las camas en dos hileras adyacentes a las “cintillas” de riego y aproximadamente a 0.05 m de profundidad.

Los tratamientos NFT50 y NFT100 fueron instalados en dos módulos NFT con recirculación de la solución nutritiva (SN), cada uno elaborado con cuatro tubos de PVC sanitario de 110 mm de diámetro y 6.0 m de longitud, asentados en soportes de madera con 1.2 m de altura; en cada tubo se realizaron perforaciones de 50 mm de diámetro y separadas a 0.25 m. Antes del trasplante, a las plántulas se les desprendió el sustrato del cepellón mediante sumersión y agitación en agua y la raíz desnuda fue envuelta en tela absorbente y colocada en un orificio (13 mm de diámetro) realizado a un vaso de polipropileno (80 mL) por su base. La SN Steiner (1961) concentrada al 50 y 100 % fue preparada con fertilizantes comerciales solubles.

El diseño experimental fue completamente al azar con siete tratamientos, cada uno establecido en parcelas de 8.0 m^2 ubicadas en las camas de cultivo y 20 plantas fueron consideradas como unidades experimentales y repeticiones.

Las variables evaluadas en la planta se midieron al momento de la cosecha (70 días después del trasplante, ddt) y fueron: el peso fresco (PF, g), determinado con una balanza digital ($\pm 0.1 \text{ g}$ de precisión); el número total de hojas (NH); y el diámetro de tallo (DT, mm), medido con un vernier digital ($\pm 0.2 \text{ mm}$ de precisión).

La respuesta de los tratamientos en el PF, NH y DT de las plantas fue sometida al análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$); además, fueron realizados análisis de contrastes ortogonales entre las diferentes estrategias de fertilización y sistemas de cultivo; también fueron correlacionadas linealmente las variables de crecimiento evaluadas. El programa computacional utilizando fue SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El peso fresco (PF) de las plantas mostrado en el Cuadro 2, indica que el mayor PF fue obtenido en EO20, EO40, FIFB y FI (552.4 g en promedio), estadísticamente superaron al Control (360.0 g), y el PF más bajo fue con NFT50 y NFT100 (229.1 g en promedio); sin embargo, el análisis por contrastes indicó que el PF de las lechugas fue mayor con la aplicación de enmiendas orgánicas que aquellas fertilizadas

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

químicamente ($P \leq 0.001$). Además, al contrastar el Control vs aplicación de enmiendas orgánicas ($P \leq 0.001$) y el Control vs fertilización química ($P \leq 0.001$), fue comprobado que las dos estrategias de fertilización afectan positivamente el PF de las lechugas, debido a que en ambas fueron aportados nutrientes esenciales al suelo que participan en los procesos fisiológicos y metabólicos de las plantas, pero las enmiendas orgánicas mejoran propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y estos efectos benéficos aumentan al realizar repetidas aplicaciones de materia orgánica, contribuyendo a la sostenida acumulación de C orgánico y nutrientes que mejoran la productividad del suelo y el cultivo (Celestina *et al.*, 2019). En contraparte, los fertilizantes químicos aportan nutrientes esenciales de acuerdo a su formulación, pero es indispensable suministrarlos en el sitio y con las fuentes correctas, de forma oportuna y balanceadamente, para que los nutrientes aportados estén fácilmente disponibles al cultivo e induzcan su crecimiento y desarrollo; sin embargo, su empleo de forma irracional y desmedida, a largo plazo provoca efectos adversos que perjudican la salud del suelo, ya que provocan su salinización, no reponen la materia orgánica perdida durante el cultivo y en general impactan negativamente al ambiente y la salud humana (Huerta-Naveda *et al.*, 2023).

El PF de las lechugas hidropónicas fue el menor ($P \leq 0.01$) entre los sistemas de cultivo evaluados, resultado que integra los efectos adversos del estrés provocado por el trasplante realizado a raíz desnuda, lo cual retrasó la adaptación de las plántulas al sistema NFT y disminuyó el crecimiento y desarrollo de las plantas, esta situación también fue reflejada en el NH y DT.

Las lechugas con el mayor número de hojas (NH) fue obtenido con EO20, EO40 y FIFB (69.3 hojas planta⁻¹ en promedio), pero estadísticamente similar (Cuadro 2) que en el Control y FI (63.5 hojas planta⁻¹ en promedio); en contraparte, las lechugas con el menor NH fueron cultivadas en NFT50. Del análisis por contrastes entre el Control y las estrategias de fertilización del cultivo en suelo, resultó que las enmiendas orgánicas provocaron el mismo NH, pero con la fertilización química el NH fue incrementado ($P \leq 0.01$); en consecuencia, al contrastar ambas estrategias resultó que la fertilización química indujo mayor NH que las enmiendas orgánicas ($P \leq 0.001$); estos resultados probablemente fueron debidos a que el suelo del sitio experimental manifestó un efecto residual de la fertilización química aplicada al cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) establecido en el ciclo anterior. En este experimento el NH de las plantas establecidas en suelo fueron muy grandes debido a que se contabilizaron todas las hojas presentes en la planta al momento de la cosecha.

El diámetro de tallo (DT) de las lechugas fue mayor en EO20 y FIFB (25.4 mm en promedio), pero estadísticamente igual (Cuadro 2) que EO40 y FI (23.8 mm en promedio); por último, en el Control y NFT100 fueron cosechadas las lechugas con el menor DT (18.4 mm en promedio). El análisis por contrastes indicó que hubo un efecto diferenciado entre el Control vs enmienda orgánica ($P \leq 0.001$), vs fertilización química ($P \leq 0.0001$), y vs sistema hidropónico ($P \leq 0.0001$) donde el DT fue menor que en el Control y a consecuencia del estrés por el trasplante a raíz desnuda, ante esta situación, para investigaciones futuras se recomienda utilizar plántulas germinadas y adaptadas a un sistema hidropónico similar al NFT. Al comparar el DT entre las tres estrategias de fertilización evaluadas no hubo diferencias ($P > 0.05$). Finalmente, el DT y PF fueron correlacionados positivamente ($y = 0.019x + 13.95$, $r = 0.85$).

Cuadro 2. Peso fresco (PF), número de hojas (NH) y diámetro de tallo (DT) de plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) tipo Batavia en condiciones de invernadero.

Tratamiento	PF (g planta ⁻¹)	NH (adim.)	DT (mm)
Control	360.0 b	63.0 ab	19.5 c
EO20	563.4 a	70.4 a	26.3 a
EO40	618.9 a	65.2 a	24.0 ab
FIFB	515.8 a	72.2 a	24.4 a
FI	511.4 a	64.0 ab	23.6 ab
NFT50	236.4 c	31.2 c	20.0 bc
NFT100	221.8 c	50.8 b	17.4 c
DMS	123.2	14.1	4.1
CV (%)	14.1	11.8	9.3

DMS = Diferencia mínima significativa; CV = Coeficiente de variación.

CONCLUSIONES

El peso fresco y diámetro de tallo de las lechugas tipo Batavia *cv.* Vegan Green se incrementó en 49 y 28 %, respectivamente y en referencia al tratamiento no fertilizado con la dosis baja de cada estrategia de fertilización al suelo, es decir, con 20 t ha⁻¹ de estiércol ovino y 140 kg ha⁻¹ de N mediante fertirrigación. De la comparación entre sistemas de cultivo, con las enmiendas orgánicas aumentó el peso fresco de las lechugas cosechadas, pero el número de hojas con la fertilización química fue mayor; finalmente, el crecimiento de lechugas en el sistema NFT no fue satisfactorio y se recomienda mejorar técnicamente el método de trasplante para disminuir el estrés abiótico de las plántulas.

BIBLIOGRAFÍA

- Celestina, C., Hunt, J. R., Sale, P. W. G. & Franks, A. E. (2019). Attribution of crop yield responses to application of organic amendments: A critical review. *Soil and Tillage Research*, 186, 135-145.
- Di Benedetto, A. & Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 42 (3), 258-282.
- Huerta-Naveda, D., Galvis-Spinola, A., Hernández-Mendoza, T. M. & Delgadillo-Martínez, J. (2023). Uso y abuso del fertirriego. Alteración del suelo en invernaderos en la pequeña agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(6). <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i6.3112>.
- Muscolo, A., Marra, F., Canino, F., Maffia, A., Mallamaci, C. & Mt. Russo. (2022). Growth, nutritional quality and antioxidant capacity of lettuce grown on two different soils with sulphur-based fertilizer, organic and chemical fertilizers. *Scientia Horticulturae*, 305. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111421>.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2023). Gobierno de México.
- Steiner, A. A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil*, 15 (2), 134-154.

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS EN SUELOS DEGRADADOS DEL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO

Vanessa Maricela Uresti-Rodríguez¹; María Inés Yáñez Díaz¹; José Manuel Mata Balderas¹; Regina Pérez Domínguez¹; Tania Isela Sarmiento Muñoz¹

¹Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional km 145 CP 67700, Linares, Nuevo León, México.
vuresti2002@gmail.com

RESUMEN

Durante los últimos años los cambios de uso de suelo se han incrementado en el noreste mexicano principalmente para fines agrícolas y ganaderos, lo que genera una disminución de la productividad ocasionando una degradación de suelos. El objetivo de este estudio fue analizar las características edáficas de pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), carbono orgánico (CO), fósforo (P), densidad aparente (DA), porosidad total (Po) y textura en dos sitios que presenta un mismo tipo de suelo Vertisol, los sitios de muestreo se establecieron en suelos degradados sin presencia de cobertura vegetal con un enfoque hacia reforestación (R) y en suelos con vegetación natural del matorral espinoso tamaulipeco (M), el muestreo fue al azar donde en cada sitio se tomaron 10 muestras compuestas de 5 submuestra cada una, a una profundidad de 0-30 cm. Los resultados mostraron diferencias significativas en 6 de las 9 propiedades evaluadas, en cuanto a las características químicas el pH, CE y P se mostraron en los mismos rangos, por lo cual, no se encontraron diferencias entre sitios, mientras que MO sí mostró diferencias significativas, los parámetros físicos de DA, Po, arena y arcilla mostraron diferencias significativas entre los sitios, a diferencia del porcentaje de limo. Los mayores contenidos de MO y Po y la baja DA en matorral, nos refleja las condiciones edáficas del suelo visiblemente degradado sin vegetación con fines a ser reforestado.

PALABRAS CLAVE

Cambio de uso de suelo; Materia orgánica; Propiedades edáficas; Sobrepastoreo; Suelos abandonados.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso no renovable que cubre la superficie terrestre y que presta diversos servicios ambientales (Burbano-Orjuela, 2016). La degradación de los suelos representa un grave problema ambiental, provocando la pérdida de productividad como consecuencia de actividades antropogénicas (Pérez y Rodríguez, 2013).

Las características físicas de los suelos son de gran importancia favoreciendo como indicadores la calidad de este recurso (Bautista *et al.*, 2004), mientras que la química del suelo, se encarga del estudio de la parte sólida, líquida y sus interacciones (Adams, 1995).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

La finalidad de este estudio fue analizar las características físico-químicas de suelos que han presentado un cambio de uso para fines de agricultura y en los últimos 12 años han permanecido sin uso y sin presencia de especies arbustivas, por lo cual, la empresa GEMA.SC ha llevado a cabo actividades de reforestación con especies nativas, pretendiendo analizar los factores actuales de los suelos para en futuras investigaciones conocer la efectividad de las reforestaciones en suelos del matorral espinoso tamaulipeco.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra situada al noreste mexicano, en la localidad rural Loma Alta perteneciente al ejido Rancherías a 24 kilómetros del sur del municipio de Linares, Nuevo León, en las coordenadas geográficas 24°40'57.37" N y 99°34'13.05" O, a una altitud de 385 msnm (Figura 1).

Las áreas de estudio corresponden a 2 sitios con degradación visible donde se realizarán actividades de reforestación y se encuentra rodeadas de matorral espinoso tamaulipeco, el suelo corresponde a un Vertisol. En cada sitio matorral (M) y reforestación (R) se establecieron 10 puntos de muestreo para coleccionar muestras compuestas de 5 submuestra a una profundidad de 0 a 30 cm, coleccionando un total de 20 muestras en ambos sitios, así como también muestras inalteradas con un cilindro para la determinación de densidad aparente. Un vez tomadas e identificadas fueron trasladadas al Laboratorio de Suelos y Nutrición de Bosques de la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL para los análisis previos. Las propiedades físicas y químicas evaluadas se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Metodologías utilizadas para la evaluación de las propiedades físicas y químicas. Parámetros evaluados y método de evaluación.

Parámetro	Método
pH	NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002)
Conductividad eléctrica (CE)	Suspensión rápida suelo-agua relación 1:5 (Woerner, 1989)
Materia orgánica (MO)	Walkley y Black (modificado) (Woerner, 1989)
Fósforo (P)	NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002)
Densidad aparente (DA)	Gravimétrico en muestras no alteradas método del cilindro (Woerner, 1989)
Porosidad total (Po)	Valores de DA y densidad de partícula (Yáñez <i>et al.</i> , 2019)
Textura	NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002)

Análisis de datos. Los resultados de pH, CE y P no cumplieron los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk) y homocedasticidad de varianza (prueba de Levene), por lo que se realizó una prueba de U de Mann-Whitney. Las propiedades de MO, arena, limo, arcilla, DA y Po dado que cumplieron los supuestos, se procedió con el análisis de varianza de 1 factor para determinar si existen diferencias significativas entre el sitio de reforestación (degradado) y matorral. Las pruebas se realizaron utilizando SSPS versión 25.

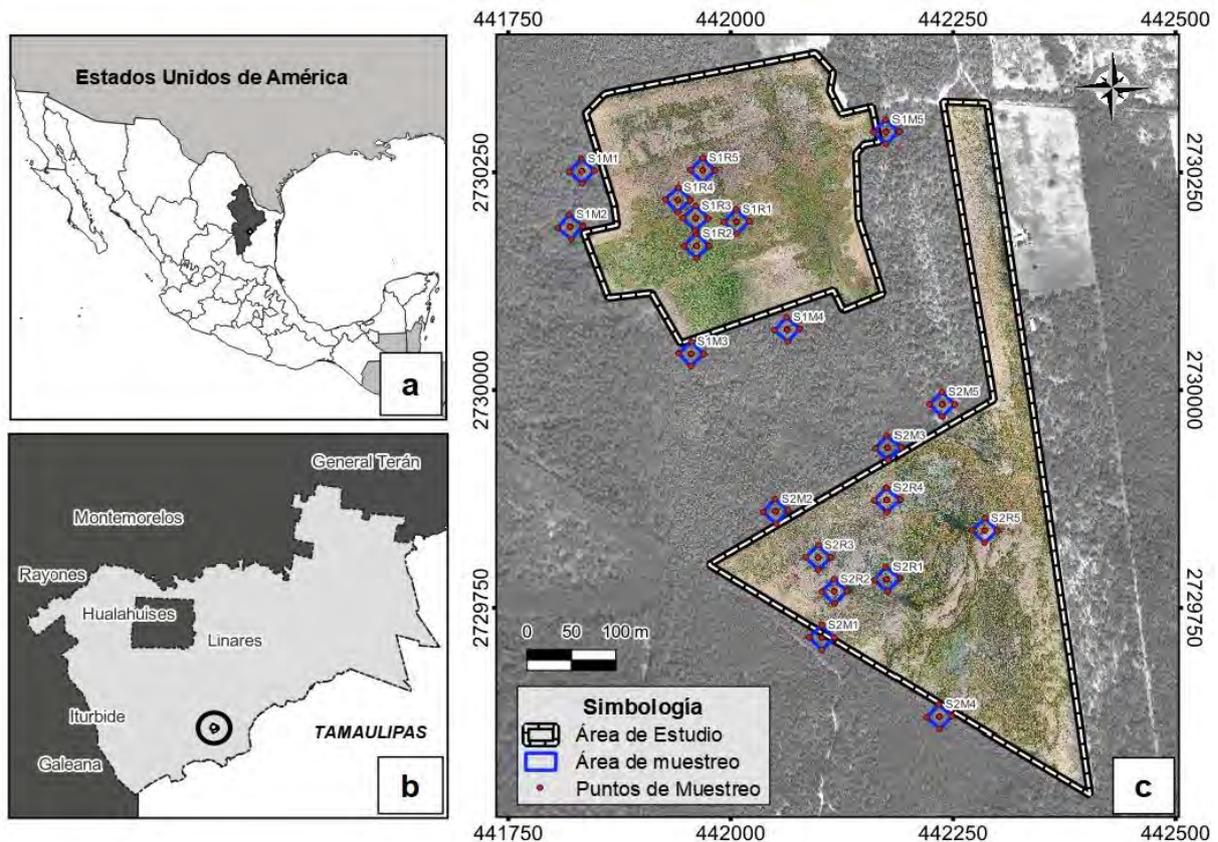


Figura 1. Área de estudio localidad rural “Loma alta” ampliación rancherías, Linares, Nuevo León (Elaboración GEMA S.C).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las propiedades físicas y químicas analizadas revelaron que los cambios de uso de suelo y el abandono de estos, generó la modificación en las propiedades físicas y química evaluadas. Las propiedades químicas de pH, CE y P no mostraron diferencias ante los sitios, mientras que MO si presentó diferencias significativas entre matorral y el área destinada a reforestación. Los parámetros físicos arrojaron que DA y Po, mostraron diferencias significativas entre el sitio M y R, mientras que los contenidos de arena y arcilla se encontraron diferencias altamente significativas, siendo solamente las partículas de limo que no mostraron diferencias ante ambas condiciones que presentan los suelos (Cuadro 2).

El pH en el sitio M presento valores entre 7.2 y 7.6, una de las muestras cuenta con la clasificación de neutro mientras que el resto se encuentra en los rangos de pH medianamente alcalino, el sitio R presento valores de 7.5 y 7.6. Los valores de CE fueron más altos para el área de reforestación obtenido valores entre 66.2 hasta 158.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para las muestras de matorral los valores se mantuvieron dentro de un rango de los 73.0 -104.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ambos sitios se encuentran en una valoración de salinidad muy escasa, haciendo relación a la investigación de Llorente (2004), la cual menciona que el pH de los vertisoles se acerca a la neutralidad y la baja salinidad, por el alto contenido de arcillas.

En cuanto a la MO el sitio M mostró porcentajes entre 2.31% y 4.37%, para el sitio R los valores disminuyeron, oscilando entre 0.86%-2.85% ambos valorizados como

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

contenido mediano, concordando con la investigación de Martínez (2020) donde la MO se modifica dependiendo el uso de suelo. El contenido de P para ambos sitios oscilo entre 0.09-1.59 mg/kg, clasificándose como bajo para todas las muestras, no encontrándose diferencias significativas entre sitios tan como lo revela la investigación de Candia (2023) entre el uso de suelo antrópico y prístino no se observan diferencias estadísticas.

La DA para el sitio de matorral rondaron entre 0.88-1.07 g/cm³, en reforestación los valores se encontraron entre 1.05-1.27 g/cm³, ambos usos de suelo presentan clase muy baja de DA. La Po para el suelo del matorral obtuvo un valor de 62.2% mientras que el sitio R se presentó una disminución en la porosidad, obtenido 55.8% interpretándose los valores para ambos sitios como clase bajo y encontrando diferencias significativas entre sitios, esto difiere a lo investigado por Yáñez *et al.*, (2019) y Diaz (2017), quienes mencionan que no se encuentran diferencias ante diferentes usos de suelo.

Por otra parte, la textura, presento un promedio en el sitio M de 18.7% en arena, 37.7% en limo y 46.3% de arcilla, mientras que para el sitio R los valores fueron de 9.6% arena, 36.1% limo y 54.2% arcilla, ambos sitios con una clasificación textural de arcillosa, tal como lo señala Sotelo (2008), los vertisoles pueden presentar desde 30% hasta el 90% de arcillas.

CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación revelan que los cambios de uso del suelo y el abandono de estos, generan cambios en las características edáficas, siendo los parámetros químicos los más afectados ante estos factores, tales como el contenido de materia orgánica. Las propiedades físicas también se ven afectadas por estos cambios, siendo DA, Po, arena y limo las propiedades que presentaron diferencias significativas entre los dos sitios evaluados.

Conocer el estado actual de las propiedades fisicoquímicas en suelos visiblemente degradados es de tal importancia como base para comparar el efecto de acciones de reforestación a realizar.

Cuadro 2. Valores medios \pm desviación estándar de las propiedades físicas y químicas de suelo degradado con reforestación (R) y con vegetación del matorral (M).

PROPIEDADES	UNIDADES	M	R
pH	---	7.44 ^a \pm 0.14	7.54 ^a \pm 0.05
Conductividad eléctrica (CE)	μ S/cm	83.19 ^a \pm 8.97	103.20 ^a \pm 35.18
Materia orgánica (MOS)	%	3.25 ^a \pm 0.69	2.31 ^b \pm 0.64
Fósforo (P)	mg/Kg	0.57 ^a \pm 0.47	0.69 ^a \pm 0.48
Densidad aparente (DA)	g/cm ³	0.97 ^a \pm 0.08	1.17 ^b \pm 0.06
Porosidad (Po)	%	62.27 ^a \pm 2.67	55.82 ^b \pm 2.50
Arena	%	18.00 ^a \pm 7.00	9.00 ^b \pm 4.00
Arcilla	%	43.00 ^a \pm 9.00	54.00 ^b \pm 8.00
Limo	%	37.00 ^a \pm 4.00	36.00 ^a \pm 7.00

Letras diferentes para cada una de las propiedades indican que existen diferencias significativas entre los dos sitios de estudio ($p \leq 0.05$).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

AGRADECIMIENTOS

Los autores de esta investigación agradecemos a la empresa GEMA S.C por el apoyo brindado en campo, como también por el apoyo de material para el análisis de los parámetros evaluados.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams, M. (1995). Fundamentos de química de suelos. Universidad Central de Venezuela Consejo de Desarrollo Científico y Humanismo. *Caracas*, 385 p.
- Bautista, C., A., J. Etchevers B., R.F. Del Castillo., & C. Gutiérrez. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2).
- Burbano-Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias agrícolas*, 33: 117-124.
- Candia, D., A.B, J.W. Rasche. V., N.C. Escobar. D & D. A. Fatecha. F. (2023). Disponibilidad de fósforo en suelos del Chaco Central extraído por distintas metodologías. *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay*, 28(2), 329-351.
- LLorente, M. 2004. Caracterización física y química de vertisoles del noreste de México sometidos a distintas formas de manejo. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, Nuevo León, México. 73pp.
- Martínez, R. A. 2020. Caracterización fisicoquímica de un chernozem bajo diferentes usos del suelo en el noreste de México. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, Nuevo León, México. 54 pp.
- Pérez, G., M. E., & M, P. García R. (2013). Aplicaciones de la teledetección en degradación de suelos. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* 61: 285-308.
- Sotelo, R., M. Gutiérrez., B. Cruz., S. Ortiz., & C. Segura, (2008). Historia y desarrollo de la clasificación de vertisoles en el Sistema FAO y la taxonomía. *Terra Latinoamericana*, 26(4), 325-332.
- Yáñez, D., M. I., I. Cantú S., H. González R., & L. Sánchez C. (2019). Effects of land use change and seasonal variation in the hydrophysical properties in Vertisols in northeastern Mexico. *Soil Use and Management* 35(3):378- 387. <https://doi.org/10.1111/sum.12500>
- Diaz, G. K.E. 2017. CARACTERIZACIÓN FISICOQUIMICA DE UN CALCISOL BAJO DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE SUELO EN EL NORESTE DE MEXICO. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, Nuevo León, México. 67 pp.

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E HÍDRICAS EN DOS CONDICIONES DE USO DE SUELO

Sarha Carolina Bravo González¹; María Inés Yáñez Díaz¹;
Fortunato Garza Ocañas¹; Israel Cantú Silva¹

¹ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional Km 145
CP 67700, Linares, Nuevo León, México.
Sarha.bravogn@uanl.edu.mx

RESUMEN

Las transformaciones en el uso del suelo, tanto en México como a nivel global, han provocado cambios significativos en la cobertura del territorio, este fenómeno se debe principalmente al rápido aumento de la población, impulsado a su vez por el desarrollo económico, causando alteraciones en sus propiedades y en la salud de los ecosistemas. El objetivo de este trabajo fue evaluar las características físicas, químicas e hidrológicas en un área ubicada al noroeste de Nuevo León en dos usos de suelo distintos (Pastizal y Matorral). Se trabajó con dos parcelas bajo las mismas condiciones climáticas y mismo tipo de suelo (Vertisol). Entre las propiedades físicas que se analizaron, se encuentran pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), carbono orgánico (CO), arena, limo, arcilla, densidad aparente (DA), porosidad total (Pt), capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y agua útil (AU). Los resultados mostraron diferencias significativas entre el pastizal y el matorral en pH, MO, CO, arena, arcilla, PMP y AU. En el pastizal, se observó una menor cantidad de materia orgánica y menor capacidad de retención de agua, además de una estructura del suelo más compacta. En el matorral, se encontraron niveles más altos de materia orgánica, mejor retención de agua y una estructura del suelo más favorable para la circulación de aire y agua. En conclusión, los estudios de uso de suelo son de gran importancia para toma de decisiones de manera informada para que se maximicen los beneficios sociales, económicos y ambientales a largo plazo.

PALABRAS CLAVE

Agua disponible; Fertilidad; Matorral; Pastizal; Vertisol.

INTRODUCCIÓN

El suelo es una capa superficial de la Tierra que se diferencia de la roca sólida como un componente tridimensional y natural de un ecosistema, el cual se define como una combinación de materia orgánica, materia mineral, agua y aire con la habilidad de nutrir y mantener el crecimiento de las plantas (Medina, 2020). Los suelos tipo Vertisol son altamente significativos en el contexto de las propiedades hídricas del suelo debido a sus características de altos contenidos de arcillas, lo que se refleja en su capacidad única de expansión y contracción estacional, lo que los convierte en componentes clave de los paisajes agrícolas en diversas partes del mundo (Torres *et al.*, 2016).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Los cambios de uso de suelo son la actividad humana que más afecta a los diversos ecosistemas del mundo. En el noreste de México el establecimiento de áreas de cultivo tiene un impacto significativo en algunas propiedades como la densidad aparente, la porosidad, la infiltración hídrica, la aireación y la capacidad de almacenamiento de agua (Yáñez *et al.*, 2019).

Los cambios de uso del suelo, como la conversión de tierras forestales a áreas de cultivo, tienen impactos significativos en las propiedades físicas, químicas e hidrológicas del suelo (Juan, 2017). Estas alteraciones pueden disminuir la calidad y la productividad del suelo, comprometiendo su capacidad para soportar el crecimiento de plantas y afectando la sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas y naturales. Además, los cambios en el uso del suelo pueden influir en la biodiversidad y los ciclos de nutrientes, lo que resalta la importancia de gestionar adecuadamente estas transformaciones para mantener la salud del suelo y la integridad del ecosistema.

Este estudio examina el impacto en las propiedades del suelo Vertisol bajo dos diferentes condiciones de uso del suelo, empleando análisis de laboratorio se examinó el impacto de los usos del suelo como el pasto cultivado y el matorral, con el objetivo de entender mejor el comportamiento del suelo bajo estas condiciones y su capacidad para mantener la salud y productividad del ecosistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del proyecto

La selección de sitios consistió en identificar y ubicar las dos áreas de uso de suelo PAST(Pastizal) y MET(Matorral) ubicados en el ejido "Los Leones" en el municipio de Linares, Nuevo León, México, situado en las coordenadas geográficas de aproximadamente 24°56'32"N de latitud y 99°21'29"W de longitud, con una elevación de (250) msnm (Figura1).

Muestreo

En cada sitio, se recolectaron muestras representativas mediante un método de muestreo aleatorio compuesto por 5 submuestras, con el objetivo de obtener aproximadamente 1 kg de suelo por muestra. Las muestras se tomaron a una profundidad de 0-30 centímetros y se recolectaron un total de 5 muestras compuestas por sitio. Se analizaron diversas propiedades del suelo, tales como conductividad eléctrica por el método determinación rápida en suspensión suelo: Agua 1:5 (Woerner, 1989), pH por el método AS-23 de la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), materia orgánica por el método Walkley y Black modificado (Woerner, 1989), textura por el procedimiento Bouyoucos a través del método AS-09 NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002) densidad aparente por el método del cilindro (Woerner, 1989) muestreo *in situ*, porosidad total por relación de la densidad aparente y la densidad real de partículas (Yáñez *et al.*, 2019), punto de marchitez permanente y capacidad de campo por el procedimiento olla y membrana de presión a través del método AS-06 NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), y agua útil por la diferencia de capacidad de campo y punto de marchitez permanente (SEMARNAT 2002).

Análisis

Los resultados obtenidos de los análisis de suelo fueron sometidos a la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad. Además, se utilizó la prueba de Levene para examinar la homocedasticidad de la varianza. Dado que los datos cumplían con estos supuestos, se procedió con el análisis de varianza para determinar si existían diferencias significativas entre los grupos. Las pruebas de ANOVA se realizaron utilizando SPSS versión 25 y se estableció un nivel de significancia de 0.05 para todas las pruebas.

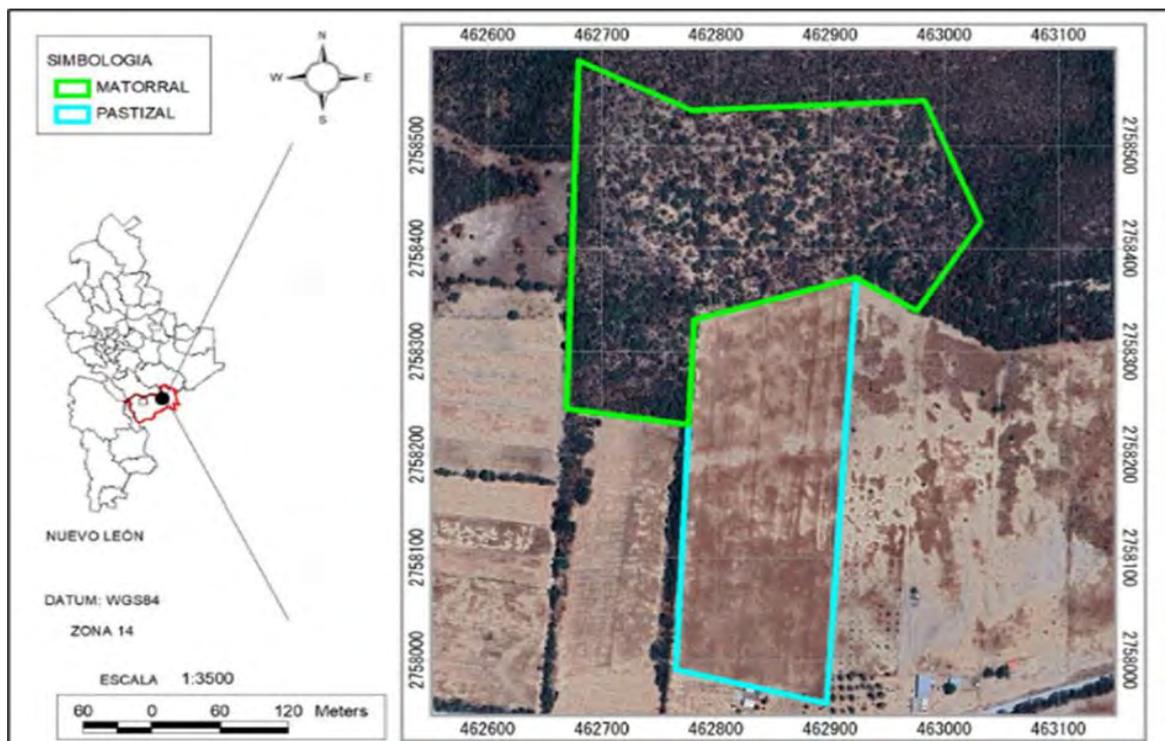


Figura 1. Área de estudio, condición de matorral (cuadro verde) y pastizal (cuadro azul). Elaboración propia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de resultados de las propiedades del suelo para los dos sitios presentaron diferencias significativas en pH, materia orgánica, carbono orgánico, arena, arcillas, punto de marchitez permanente y agua útil (Cuadro 1). El pastizal presentó una textura arcillosa con valores de 10.86%(arena), 49.30%(limo) y 39.84%(arcilla) mientras que el matorral se clasificó como franco arcilloso con valores de 30.48%(arena), 30.76% (limo) y 30.46%(arcilla), contenidos altos de arcillas son características principales de suelos vertisoles (Sotelo *et al.*, 2008).

El pastizal, siendo un sitio de cultivo en comparación con el matorral que es un sitio de vegetación natural sin intervención, presenta un pH de 7.18, lo que lo clasifica como neutro. Además, tiene un menor contenido de materia orgánica, lo que podría reducir la fertilidad del suelo como lo mencionan Hidalgo *et al.* (2019) en sus estudios. La menor cantidad de arena en este sitio afecta negativamente la textura y el drenaje del suelo. Asimismo, el mayor contenido de arcilla perjudica la permeabilidad y la aireación del suelo.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Por último, el pastizal muestra un menor porcentaje de agua útil con 7.90%, lo que indica una capacidad reducida de retención de agua para las plantas similar a lo reportado por Reta *et al.* (2024).

Las diferencias observadas entre el pastizal cultivado y el matorral se deben principalmente a la distinta gestión y uso del suelo en cada sitio. En el pastizal, las prácticas agrícolas implementadas afectan negativamente las propiedades del suelo, como se ha señalado en el estudio de Martínez *et al.* (2008). En contraste, el matorral, que cuenta con vegetación natural sin intervención humana, conserva una estructura del suelo más estable. Esta estabilidad se refleja en una menor densidad aparente y una mayor porosidad del suelo. La menor densidad aparente indica que el suelo es menos compacto, lo que facilita la circulación de aire y agua. Además, la mayor porosidad contribuye a un mejor almacenamiento de agua y favorece el crecimiento de las raíces.

Cuadro 1. Valores medios \pm desviación estándar y valoración de las propiedades fisicoquímicas evaluadas para las dos condiciones de uso.

Propiedades	Unidades	Pastizal	Valoración	Matorral	Valoración
pH		7.18 ^a \pm 0.3	Bajo	7.62 ^b \pm 0.04	Alto
Conductividad eléctrica	ds/m	0.86 ^a \pm 8.95	Bajo	0.89 ^a \pm 2.82	Alto
Materia orgánica	%	2.74 ^a \pm 0.07	Bajo	3.23 ^b \pm 0.18	Alto
Carbono orgánico	%	1.59 ^a \pm 0.04	Bajo	1.87 ^b \pm 0.10	Alto
Arena	%	10.86 ^a \pm 6.28	Bajo	30.84 ^b \pm 7.63	Alto
Limo	%	49.30 ^a \pm 10.34	Alto	38.76 ^a \pm 5.48	Bajo
Arcilla	%	39.84 ^a \pm 7.89	Alto	30.46 ^b \pm 3.29	Bajo
Densidad aparente	g/cm ³	1.15 ^a \pm 0.05	Alto	1.13 ^a \pm 0.07	Bajo
Porosidad	%	56.32 ^a \pm 2.04	Bajo	57.27 ^a \pm 2.86	Alto
Capacidad de campo	%	27.84 ^a \pm 1.16	Alto	26.60 ^a \pm 0.71	Bajo
Punto de marchitez permanente	%	19.18 ^a \pm 1.18	Alto	17.13 ^b \pm 1.24	Bajo
Agua útil	%	7.90 ^a \pm 0.41	Bajo	9.47 ^b \pm 0.98	Alto

Letras diferentes para cada propiedad evaluadas, indican diferencias significativas entre pastizal y matorral ($p \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

El análisis mostró diferencias significativas entre las dos condiciones de uso de suelo. El pastizal presentó mayor compactación, menor materia orgánica (2.74%) y menor retención de agua (7.90%), lo que limita la fertilidad y la eficiencia del suelo. En contraste, el matorral tuvo mejor estructura, mayor contenido de materia orgánica (3.23%) y una mayor capacidad de retención de agua (9.47%), lo que favorece la circulación de aire y agua. Estas diferencias resaltan la importancia de estudios de uso de suelo y de implementar prácticas de manejo sostenible para mejorar la calidad del suelo. Los resultados demuestran que el manejo del uso del suelo puede tener un impacto significativo en la salud y productividad de los ecosistemas.

BIBLIOGRAFÍA

- Hidalgo, C., A. Merino, V. Osorio-H, J. D. Etchevers, & E. Aguirre. (2019). Physical and chemical processes determining soil organic matter dynamics in a managed vertisol in a tropical dryland area. *Soil and Tillage Research* 194:104348. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104348>
- Juan, P., J.I. (2017). Identificación y evaluación de impactos ambientales en el Campus Ciudad Universitaria, Universidad Autónoma del Estado de México, Cerro de Coatepec, Toluca México. *Acta universitaria*, 27(3), 36-56. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1249>
- Martínez, E, H., Fuentes E, J P., & Acevedo H, E. (2008). Carbono organico y propiedades del suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8(1), 68-96. <https://doi.org/10.4067/s0718-27912008000100006>
- Medina, R, J. J. (2020). Metodologías utilizadas en la elaboración de compost en el Ecuador" (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2020).
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 - Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad, y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*. 31 de diciembre del 2002. Segunda Sección. México, D.F.
- Sotelo, R., E., Gutiérrez C., M. del C., Cruz B., G., Ortiz S., C. A., & Segura C., M. A. (2008). Historia y desarrollo de la clasificación de vertisoles en el sistema FAO y la taxonomía. *Terra Latinoamericana*, 26(4), 325-332. Recuperado en 23 de julio de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018757792008000400005&lng=es&tlng=es.
- Torres, G, C. A., Gutiérrez, M. D. C., Ortiz S, C. A., & Gutiérrez C, E. V. (2016). Manejo agronómico de los Vertisoles en México: una revisión. *Terra Latinoamericana*, 34(4), 457-466.
- Woerner, P., M. (1989). Métodos químicos para el análisis de suelos calizos de zonas áridas y semiáridas. Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, NL, México. 105 p.
- Yáñez, D., M. I., I. Cantú S., H. González R., & L. Sánchez C. (2019). Effects of land use change and seasonal variation in the hydrophysical properties in Vertisols in northeastern Mexico. *Soil Use and Management* 35(3):378- 387. <https://doi.org/10.1111/sum.12500>

EVALUACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS EN OBRAS DE CONSERVACIÓN EN GALEANA, NUEVO LEÓN

Ana Marissa de la Fuente-Solís¹; María Inés Yáñez-Díaz¹; Eduardo Alanís-Rodríguez¹; Israel Cantú-Silva¹; Wibke Himmelsbach¹; Miguel Ángel Martín del Campo-Delgado²

¹Facultad de Ciencias Forestales (FCF), Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), C.P. 67700, Ciudad de Linares, Nuevo León, México.

²Universidad Tecnológica del Valle de Toluca, C.P. 52044, Estado de México, México.
Autor para correspondencia; correo-e: marissa27solis@gmail.com

RESUMEN

El suelo es esencial en el funcionamiento y desarrollo de los ecosistemas, sin embargo, en la actualidad, la degradación del suelo es una de las principales preocupaciones ya que se ve afectada la capacidad actual o futura de los suelos provocado un deterioro de la calidad de los servicios ambientales que se obtienen de él. El objetivo de esta investigación es evaluar las propiedades físicas y químicas del suelo donde se realizó reforestación con obras de conservación de suelos dentro (ZTd) y afuera (ZTf) y un sitio testigo (T). La presente investigación se realizó en el municipio de Galeana, Nuevo León, en el ejido La Tapona. Para la determinación de las propiedades fisicoquímicas, se seleccionaron 2 sitios y se implementaron polígonos de 12x12 m. Las muestras se analizaron mediante los procedimientos de la NOM-021-RECNAT-2000 y Woerner. La estabilidad de agregados fue de alta a muy alta en los sitios de muestreo y de acuerdo a la valoración, el contenido de materia orgánica fue media alta, media y media, respectivamente ZTd, ZTa y T. Los porcentajes de porosidad total, materia orgánica, conductividad eléctrica y nitrógeno total, presentaron los valores más altos en las ZTd, de estos solo la conductividad eléctrica no presento diferencias significativas, por el contrario, las variables de densidad aparente, compactación y fósforo presentaron los valores más bajos.

PALABRAS CLAVE

Degradación; Propiedades físicas; Propiedades químicas; Zanjas trincheras.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un elemento clave para el desarrollo de la vida en el planeta, juega un papel vital en el funcionamiento de cualquier ecosistema (Hoth, 2015). A sí mismo, es un recurso finito que forma parte del capital estratégico natural de un país (CONAFOR, 2007). Pero, a pesar de ser un pilar de gran parte de la economía agrícola mundial y de la biodiversidad, el suelo se encuentra bajo un deterioro significativo (SEMARNAT, 2018).

La calidad del suelo incluye los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo y sus interacciones (Luters *et al.*, 2000). Las preocupaciones por la degradación del suelo se derivan de la pérdida y deterioro de la calidad de los servicios ambientales

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

que se obtienen de él, quizás los más importantes son la producción de alimentos y el uso y captación del agua (SEMARNAT, 2018).

En México, el gobierno federal ha apoyado prácticas mecánicas de conservación de suelos durante décadas (CONAFOR, 2007). Por lo cual, es de suma importancia contar con información actualizada y confiable sobre sus características y estado, así como su formación y degradación (Gardi *et al.*, 2014). Así mismo, la evaluación de las prácticas de conservación de suelos degradados nos permitirá identificar ciertas condiciones ambientales para determinar su vida útil. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación es evaluar las propiedades físicas y químicas del suelo donde se realizó reforestación con obras de conservación de suelos y un sitio testigo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el ejido la Tapona del municipio de Galeana, Nuevo León, México, en enero del 2023. De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1998), prevalece un clima templado seco o seco BSok(x'), la temperatura media anual oscila entre 12°C y 18°C. La precipitación media anual oscila entre 400 y 600 mm y predominan los suelos tipo Leptosol (INEGI, 1986).

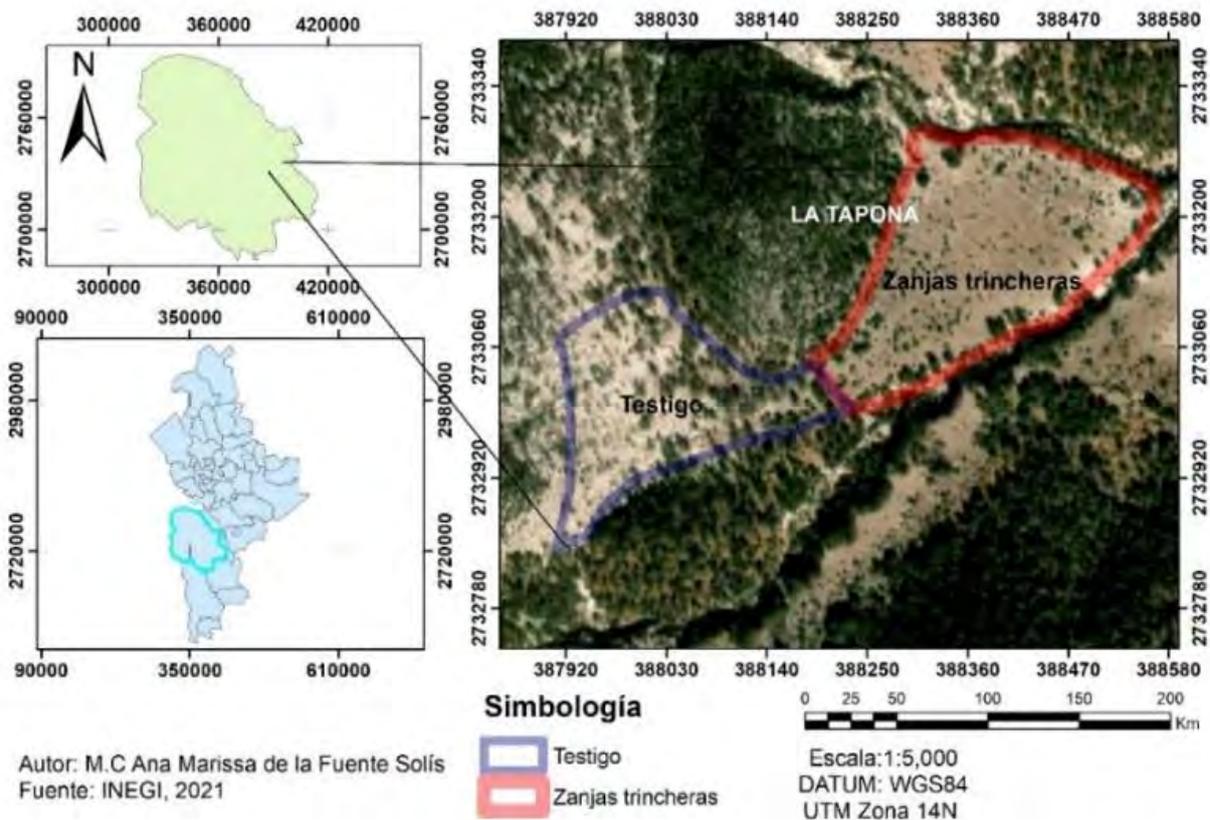


Figura 1. Área de estudio, Ejido La Tapona.

Se seleccionaron 2 áreas (Figura 1), la primera es donde se localizan las obras de conservación, zanjas trincheras (ZT) y la segunda corresponde al sitio testigo. Para la determinación de las propiedades fisicoquímicas del suelo, se establecieron al azar 5 sitios de muestreo en el área con ZT, se tomaron 5 muestras compuestas dentro de las ZT (ZTd) y 5 muestras compuestas afuera de las ZT (ZTa), al igual que para el área

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

testigo (T), a una profundidad de 0-30 cm. En cada sitio se seleccionó un área de 12x12 m para sacar las submuestras de cada uno de los sitios, hasta obtener aproximadamente 1 kg de suelo.

Las muestras se analizaron mediante los procedimientos de la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002) y de Woerner (1989), véase Cuadro 1. Los análisis se realizaron en el laboratorio de suelos y nutrición de bosques de la Facultad de Ciencias Forestales, UANL.

Cuadro 1. Métodos utilizados para la determinación de parámetros físicos y químicos.

Variable	Método
Textura	Método AS-09
Densidad aparente (DA)	Método del cilindro
% Porosidad total (Po)	Se obtuvo partiendo de los valores obtenidos de DA
pH	Método AS-23
Conductividad eléctrica (CE)	Determinación rápida en suspensión suelo-agua 1:5
Materia orgánica (MO)	Método de Walkley-Black modificado
Nitrógeno total (Nt)	Método Kjeldahl
Fósforo (P)	Método AS-10
Resistencia mecánica a la penetración (RMP)	<i>In-situ</i>
Compactación	<i>In-situ</i>
Estabilidad de agregados	<i>In-situ</i>

Análisis de estadístico

Los datos obtenidos de textura (arena, arcilla, limo), DA, compactación, RMP, porosidad, pH, CE y MO fueron sometidos a un análisis estadístico para los supuestos de normalidad (prueba Shapiro-Wilk con la corrección de Liliefors) y homogeneidad de varianza (prueba Levene). Dado que los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza no se cumplieron para la textura, RMP, el pH y la CE, se realizó una prueba no paramétrica (prueba Kruskal-Wallis) y posteriormente una prueba de Mann-Whitney.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2, se muestran los resultados correspondientes a las propiedades físicas. Blanco-Sepúlveda (2009), menciona que la compactación del suelo disminuye el volumen de poros y aumenta la densidad aparente. En el presente estudio los valores de compactación y DA más altos se obtuvieron en las ZT afuera y en el testigo y los valores más bajos en mismos sitios (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resultados de los análisis de propiedades físicas del suelo con obras de conservación de suelos dentro (ZTd), afuera (ZTf) y un sitio testigo (T).

Variable	ZTd	ZTf	T
Textura	Franco limosa	Franca	Franca arenosa / Areno limosa
DA (g cm ⁻³)	0.76	1.10	1.22
% Porosidad total (%)	71.27	58.22	53.94
Resistencia mecánica a la penetración (kg cm ⁻²)	13.17	19.78	18.41
Compactación (kg cm ⁻²)	272.15	342.52	345.14

Los agregados son un conjunto estable de partículas primarias del suelo que se encuentran enlazadas o cementadas por diferentes sustancias orgánicas e inorgánicas, a su vez, uno de los principales agentes de unión es la materia orgánica (Meza & Geissert, 2006). Se determinó que la estabilidad de agregados fue de alta a muy alta en los sitios de muestreo y de acuerdo a la valoración, el contenido de MO fue media alta, media y media, respectivamente ZTd, ZTa y T (Cuadro 3), lo que supone que un buen contenido de MO ayuda a la estabilidad de agregados. Chaer et al., (2009) menciona que la MO reduce la DA, Gonzáles, (2013) observó que cuando el porcentaje de MO es alto los valores de DA son bajos, encontró en los horizontes más superficiales (0-18 cm) mayor presencia de MO y valores de DA bajos, estos resultados son similares a la presente investigación, en donde se destaca que dentro de la ZT se encontraron los porcentajes de MO más altos y a su vez, los más bajos de DA. En el Cuadro 3, se muestran los resultados correspondientes a las propiedades químicas.

Cuadro 3. Resultados de los análisis de propiedades químicas del suelo con obras de conservación de suelos dentro (ZTd), afuera (ZTf) y un sitio testigo (T).

Variable	ZTd	ZTf	T
pH	7.37	7.62	7.11
CE (mS/cm)	682.49	567.86	249.48
% MO (%)	5.42	3.92	2.94
Fósforo (mg kg ⁻¹)	8.75	8.99	15.7
N total (%)	0.31	0.22	0.11

De acuerdo a la valoración de Woerner (1989), el pH varió de neutro a medianamente alcalino. El pH ligeramente ácido, entre 6 y 7, proporciona mejores condiciones de asimilabilidad de nutrientes, estos valores son óptimos para el crecimiento de la mayoría de los cultivos. Por el contrario, el pH neutro puede presentar altos niveles de Ca, Mg y en algunos cultivos pueden mostrar deficiencias de micronutrientes (Osorio, 2012). El fósforo presentó valores más altos en el área testigo y el nitrógeno total valores más altos dentro de la ZT.

Se presentaron diferencias significativas en las variables de DA, compactación, porcentaje de Po, porcentaje de MO e nitrógeno total, solo el fósforo no presentó diferencias significativas. Respecto a las pruebas no paramétricas, las variables de arena, limo, RMP y pH presentaron diferencias significativas, por el contrario, la arcilla y la CE no presentaron diferencias.

CONCLUSIONES

Los porcentajes de porosidad total, materia orgánica, conductividad eléctrica y nitrógeno total presentaron los valores más altos en las ZTd, de estos solo la conductividad eléctrica no presentó diferencias significativas, por el contrario, las variables de densidad aparente, compactación y fósforo presentaron los valores más bajos, de los cuales solo el fósforo no presentó diferencias significativas. El área T presentó los valores promedio más altos de densidad aparente, compactación y fósforo. Solo los valores obtenidos de pH y de resistencia mecánica a la penetración fueron mayor en la ZTf, a su vez, presentaron diferencias significativas. La ZTd

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

muestran una mejoría en la calidad del suelo en el ejido, las variables analizadas en la presente investigación son propiedades que aportan una visión general de la calidad del suelo y evaluarlas es una herramienta importante para la evaluación del impacto de obras de conservación de suelos en la toma de decisiones a futuro.

BIBLIOGRAFÍA

- Blanco-Sepúlveda, R. (2009). La relación entre la densidad aparente y la resistencia mecánica como indicadores de la compactación del suelo. *Agrociencia*, 43(3), 231-239.
- Chaer, G. M., Myrold, D. D., & Bottomley, P. J. (2009). A soil quality index based on the equilibrium between soil organic matter and biochemical properties of undisturbed coniferous forest soils of the Pacific Northwest. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(4), 822-830.
- CONAFOR, (2007). Protección, restauración y conservación de suelos forestales: Manual de obras y prácticas.
- García, E. (1998). Climas (Clasificación de Köppen, modificada por García) Escala 1:1000000.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz-Gaistardo, J., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M. F., Montanarella, L., Muñiz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M. I. y Vargas, R. (2014). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe. Luxembourg, Comisión Europea, Unión Europea, L-2995.
- González, R. (2013). Evaluación de la calidad del suelo para diferentes usos y cubiertas vegetales de la ladera Este de Cerro Grande, comunidad Dexcani Alto, municipio de Jilotepec. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Hoth, J., (2015). Año Internacional del Suelo: retos para México. *Mitt. (Mitteilungsblatt) México*, junio - julio 2015 Nr, 647: 2-5.
- INEGI. (1986). Síntesis geográfica del estado de Nuevo León.
- Luters A., Salazar J. C., Plaza L., (2000). Soil Quality Test Kit Guide (Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo), Argentina.
- Meza-Pérez, E., & Geissert-Kientz, D. (2006). Estabilidad de estructura en andisoles de uso forestal y cultivados. *Terra Latinoamericana*, 24(2), 163-170.
- Osorio, N. W. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo integral del suelo y Nutrición vegetal*, 1(4), 1-4.
- SEMARNAT. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Secretaría De Medio Ambiente Y Recursos Naturales. Diario Oficial, (Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis).
- SEMARNAT. (2018). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México.
- Woerner M. (1989). Método químico para el análisis de suelos calizos de zonas áridas y semiáridas. Facultad de Ciencias Forestales, Departamento Agroforestal, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares Nuevo León.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

EVALUACIÓN DE TRES MANEJOS AGRÍCOLAS PARA EL CULTIVO DE AGUACATE HASS, EN SOLA DE VEGA, OAXACA

Lidia Velasco-Velasco¹; Marco Polo Carballo-Sánchez²; Eréndira Esmeralda Hernández-Andrade²; Langen Corlay-Chee^{3*}

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Iguala, Km. 2.5 Carretera Iguala-Tuxpan. 40000 Iguala de la Independencia, Guerrero, México.

²Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Posgrado en Edafología, Km. 36.5 Carretera México- Texcoco. 56264 Texcoco. Estado de México.

³Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos, Km. 38.5 Carretera México - Texcoco. 56230 Texcoco, Estado de México.

*lcorlayc@chapingo.mx

RESUMEN

La producción de aguacate Hass, en Sola de Vega, Oaxaca, ha incrementado significativamente en la última década. Sin embargo, la sostenibilidad y rentabilidad de este cultivo dependen de un manejo adecuado del suelo y su nutrición. Se evaluó el impacto de tres tipos de manejo, agrícola convencional, agroecológico y órgano-mineral en parcelas de aguacate, después de cinco años de manejo. Las parcelas se distribuyeron en bloques completamente al azar, y se tomaron muestras de suelo para analizar nutrientes esenciales. Los datos se analizaron estadísticamente utilizando pruebas de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), pruebas de normalidad, independencia de datos y homogeneidad de varianzas. El manejo agroecológico incrementó significativamente los niveles de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y calcio en comparación con el manejo convencional. El manejo órgano-mineral también mejoró estos parámetros, destacando en el aumento de potasio y magnesio. Aunque el manejo convencional fue eficiente en la reducción de deficiencias nutrimentales, presentó menor disponibilidad de nutrientes y una mayor susceptibilidad a la erosión del suelo debido al uso intensivo de herbicidas. En conclusión, el manejo agroecológico tiene un impacto positivo en la regeneración del suelo y la mejora de su fertilidad, aunque enfrenta desafíos en la producción de bioinsumos. El manejo órgano-mineral proporciona un equilibrio entre la regeneración del suelo y la eficiencia en la producción. La combinación de prácticas convencionales y agroecológicas se plantea como una alternativa viable para garantizar la sostenibilidad a largo plazo del cultivo de aguacate.

PALABRAS CLAVE

Materia orgánica; Nutrientes; Lombricomposta; Lixiviado.

INTRODUCCIÓN

La producción de aguacate Hass en Oaxaca tiene un alto potencial económico, y en la última década ha retomado auge debido a los diversos programas federales que han fomentado este cultivo mediante financiamiento, tecnificación y asistencia técnica. Como resultado, el estado se encuentra actualmente en el octavo lugar en volumen de producción a nivel nacional con 17.7 t ha^{-1} (SIAP, 2023).

Sin embargo, para que este cultivo sea rentable, es necesario considerar factores como el clima, la disponibilidad de agua, temperatura, características edáficas, tales como tipo de suelo, fertilidad física, química y microbiológica. Además, uno de los grandes retos para obtener rendimientos óptimos con una alta relación beneficio/costo es realizar un manejo integral que garantice la sanidad y nutrición de los cultivos.

En este contexto, se han implementados diversas estrategias para aumentar el rendimiento del aguacate, entre las cuales destacan el manejo nutrimental y las prácticas agrícolas involucradas en la producción. Sin embargo, el establecimiento de nuevos huertos en el municipio ha provocado un cambio en el uso del suelo y su degradación debido a los manejos intensivos en el control de malezas y fertilizaciones, lo cual implica altos costos de producción. Este estudio tiene como objetivo, comparar los efectos de tres manejos agrícolas sobre las características químicas del suelo y la disponibilidad de nutrientes esenciales para el cultivo de aguacate Hass.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y manejos: El estudio se llevó a cabo en parcelas (16.51°N, 98.88°O y 1440 msnm), en Sola de Vega, Oaxaca. Este ensayo representa la primera evaluación después de cinco años de manejo de las parcelas con tres tipos de condición experimental. Las parcelas se establecieron en el 2019, tres parcelas de 0.75 hectárea cada una, con el trasplante de plantas de aguacate criollo e injertadas con la variedad Hass. Los manejos se distribuyeron en bloques completos al azar. Los tipos de manejo evaluados fueron: 1) Convencional, que incluye aplicaciones periódicas de fertilizantes granulados durante la temporada de lluvias y solubles mediante fertirriego en la temporada seca, además de herbicidas e insecticidas; 2) Agroecológico, que emplea lombricomposta, compostas, lixiviados, cenizas y en ocasiones, abonos de ganado como fuente de fertilización, y utiliza métodos mecánicos para el control de malezas y productos elaborados con extractos vegetales, caldos de cenizas, para el manejo de plagas y enfermedades; y 3) Órgano- mineral, que combina fertilización en fertirriego con lixiviados y lombricompostas en épocas de lluvia, junto con productos elaborados para el manejo preventivo de plagas y enfermedades, complementados con químicos como correctivos y un control de malezas mecánico seguido por herbicida de contacto.

Muestreo y análisis de Suelo: Se realizó el muestreo en marzo 2024, para ello se realizó una cuadrícula en cada parcela, de la cual se seleccionaron aleatoriamente sitios de muestreo para obtener 24 submuestras a una profundidad de 20 cm, formando muestras compuestas con tres repeticiones por parcela. Los parámetros evaluados, incluyendo pH, conductividad eléctrica, densidad aparente, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, se determinaron siguiendo la metodología descrita en la NOM-021 de la SEMARNAT 2000. El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando el lenguaje de programación R versión 4.2.2 para Windows, con pruebas de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) y pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk), independencia de datos y de homogeneidad de varianzas (prueba de Bartlett).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los diferentes manejos en las parcelas de aguacate Hass, tienen impacto en las propiedades físicas y químicas del suelo. En los parámetros de fertilidad, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, excepto en fósforo (Cuadro 1). Los insumos aplicados en el manejo agroecológico incrementaron el contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y calcio en comparación con el manejo convencional. El manejo órgano-mineral mostró un incremento en materia orgánica, nitrógeno y fósforo, aunque en menor medida que el agroecológico, mientras que superó a ambos tratamientos en el contenido de potasio y magnesio. Estos resultados coinciden con lo reportado por Martínez-Aguilar *et al.* (2020), quien observó mayores niveles de materia orgánica en sistemas de producción agroecológicos, mixtos o combinados, en comparación con los convencionales. En este sentido, Vallejo (2013) menciona que la incorporación de insumos orgánicos al suelo favorece la diversidad microbiana, la cual interviene en procesos de mineralización, solubilización y en otros procesos bioquímicos que aumentan la disponibilidad de nutrientes a largo plazo.

Todos los nutrimentos son esenciales para el desarrollo del aguacate; no obstante, debido a las exigencias edáficas de este cultivo, es necesario mejorar las propiedades como la estructura del suelo, aumentar su drenaje y contenido de materia orgánica, así como garantizar un buen porcentaje de porosidad (Selladurai *et al.*, 2020). Estos factores benefician el desarrollo radicular. El manejo agroecológico mejora el contenido de materia orgánica y la densidad aparente, pero la producción o elaboración de composta, lombricomposta y otros bioinsumos se vuelve cada vez más compleja para satisfacer la demanda nutrimental de cultivos. Además, su efecto no es inmediato, las diferencias nutrimentales visuales de elementos poco móviles o inmóviles en la planta son inevitables en parcelas con este tipo de manejo.

El manejo convencional ha mostrado mejores resultados en términos de eficiencia y menores deficiencias nutrimentales. Sin embargo, la disponibilidad de nutrientes es más baja en comparación con los otros dos manejos. El uso de herbicidas sistémicos y de contacto deja el suelo expuesto a la erosión hídrica, lo que provoca pérdida de fertilidad. El pH del suelo es el más alto debido al uso de fertilizantes solubles y granulados durante la temporada de lluvias. Al respecto, Gómez *et al.* (2018), indica que la agricultura convencional depende en gran medida de insumos sintéticos para alcanzar una mayor eficiencia en el proceso productivo.

El manejo órgano-mineral permite una producción eficiente, asegurando el abastecimiento nutrimental del cultivo y la regeneración de suelo a mediano o largo plazo. Este manejo se centra en mejorar la cantidad de materia orgánica del suelo, debido a su función y relación con otras propiedades y es un importante reservorio y fuente de N, P, S y otros nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, así como una fuente de energía para el microbioma edáfico (Bernoux y Cerri, 2005).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cuadro 1. Parámetros evaluados en parcelas con tres tipos de manejos.

Parámetro	Manejo		
	Convencional	Agroecológico	Órgano-mineral
pH	7.53 ± 0.06 b	7.13 ± 0.02 a	7.1 ± 0.130 a
Densidad aparente(gcm ⁻³)	1.27 ± 0.023 a	1.10 ± 0.005 b	1.18 ± 0.047ab
Materia orgánica (%)	1.43 ± 0.12 c	4.53 ± 0.06 a	2.57 ± 0.23 b
Nitrógeno (mg kg ⁻¹)	31.72 ± 1.90 b	53.93 ± 2.45 a	51.51 ± 1.61 a
Fósforo (mg kg ⁻¹)	1.77 ± 0.06 a	2.50 ± 0.17 a	2.13 ± 0.54 a
Potasio (mg kg ⁻¹)	190.63 ± 4.22 b	154.46 ± 7.31 c	230.60 ± 6.3 a
Calcio (mg kg ⁻¹)	7.38+03 ± 4.59 b	7.89+03 ± 1.09 a	5.75+03 ±1.22 c
Magnesio (mg kg ⁻¹)	209.81 ± 10.17b	171b.46 ±12.41b	329.26 ± 32. 91a
Clase textural	Arcilloso [‡]	Arcilloso	Arcilloso

Valores promedios ± error estándar, letras distintas en las líneas, indican diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). [‡]Clasificación (NOM-021 SEMARNAT 2000).

CONCLUSIONES

El manejo agroecológico tiene impactos positivos en las propiedades del suelo, fomenta su regeneración y mejora la disponibilidad algunos nutrientes. El manejo Órgano-mineral presenta como una alternativa más sostenible, ya que permite la recuperación del suelo a largo plazo y garantiza la eficiencia del sistema, enfocándose en regenerar el suelo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a Grupo Consultor Zubizar y Asociados S.C. por el financiamiento de los análisis.

BIBLIOGRAFÍA

- Bernoux, M., & Cerri, C. E. P. (2005). Geochemistry. Soil, Organic Components. In Encyclopedia of Analytical Science. <https://doi.org/10.1016/B0-12-369397-7/00245-4>.
- Martínez-Aguilar, F. B., Guevara-Hernández, F., Aguilar-Jiménez, C. E., Rodríguez-Larramendi, L. A., & Reyes-Sosa, M. B. (2020). Caracterización físico-química y biológica del suelo cultivado con maíz en sistemas convencional, agroecológico y mixto en la Frailesca, Chiapas. *Terra Latinoamericana*, 38(4), 871-881.
- NOM-021-SEMARNAT-2000. (2000). Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación 31 de diciembre de 2002. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>. (Recuperado 14 de agosto 2024).
- Selladurai, R., y Awachare, C. M. (2020). Nutrient management for avocado (*Persea americana miller*). *Journal of plant nutrition*, 43(1), 138-147.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Servicio de Información y Estadística Agrolimentaria y Pesquera (SIAP). (2023). Producción Perene Aguacate SADER, México. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/ 28 de Agosto de 2024.
- Vallejo Q., V. E. (2013). Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano. Experiencias en sistemas silvopastoriles. Colomb. For. 16: 83-99.



EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LOS SUELOS Y PROPUESTA DE MANEJO: ESTUDIO DE CASO, TEMASCALcingo, ESTADO DE MÉXICO

Patricio Sánchez-Guzmán¹; Sergio Gerardo Benedicto-Valdés¹

¹Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Postgrado en Edafología. Campus Montecillo. Montecillo, México. CP 56230. sanchezp@colpos.mx

RESUMEN

En el actual municipio de Temascalcingo en el Estado de México se fundó uno de los primeros asentamientos humanos durante el periodo posterior a la conquista, por lo que en el valle se establecieron varias haciendas destinadas a la producción de cultivos agrícolas como maíz, trigo y algunos forrajes. Esta actividad ha promovido en algunos lugares la degradación del suelo y se ha propiciado la declinación de la fertilidad, erosión hídrica, erosión eólica, compactación, entre otras. El objetivo del presente radica en conocer el estado actual de sus propiedades y evaluarlas en su entorno climático y de manejo agronómico y al mismo tiempo conocer la diversidad edáfica de la región. Los resultados muestran que el estado actual de las propiedades de los suelos se relaciona con su génesis (suelos jóvenes) y su uso; y algunos grupos de suelo reportados en el Municipio no es posible encontrarlos.

PALABRAS CLAVE

Clasificación; Descripción; Materia orgánica; Propiedades.

INTRODUCCIÓN

El Municipio de Temascalcingo se caracteriza por presentar un relieve variable; las áreas de Sierra ocupan el 34%, los lomeríos un 28% y los valles un 23% (INEGI, 2010). Este relieve cambiante y tanto la Geología dominada por rocas ígneas extrusivas y un clima templado húmedo son los principales promotores de la diversidad edafológica de la región, en donde se reportan 7 grupos de referencia. De acuerdo con su ocurrencia los Phaeozems cubren el 34% de la superficie, los Vertisols el 16%, los Andosols 13%, los Luvisols y Planosols 10% cada uno, los Leptosols 9% y Durisols 2% (INEGI, 2010). La agricultura es la principal actividad en la región (57%), seguido de las actividades forestales (27%) y las pecuarias (9%). Dichas actividades se consideran las causas del deterioro de las propiedades del suelo (Oldeman, 1988), razón por la que se hace necesaria una evaluación que permita conocer el estado actual (FAO, 2008), así como una propuesta de manejo agronómico con la finalidad de mantener la funcionalidad del recurso suelo, desde el punto de vista productivo y ambiental en la zona de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El municipio de Temascalcingo se localiza al Nor Poniente del Estado de México en el límite con los estados de Querétaro y Michoacán y en su jurisdicción existen 66 comunidades y una superficie de 36 200 ha.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

De acuerdo con INEGI, existen en la región 7 grupos de suelos de los 32 reconocidos en la WRB; sin embargo, algunos de ellos como Luvisols, Planosols y Durisols requieren condiciones de alta precipitación pluvial y pendientes ligeras, para que los procesos evolutivos involucrados en cada uno de ellos se presenten (Porta *et. al.*, 2019); por otra parte, la geología dominante corresponde con materiales volcánicos (recientes) por lo que el tiempo durante el cual actúan los procesos de intemperismo es relativamente corto, limitando con ello la formación de horizontes producto de la iluviación de materiales en el perfil del suelo. Razón por la cual se realizó un levantamiento de suelos con un enfoque paisajista, en el que se describieron perfiles de suelo (FAO, 2006), se clasificaron científicamente (WRB, 2022) y se generó una base de datos de las propiedades de los mismos, que se empleó para evaluar el estado actual de los suelos (FAO, 2008; García-Centeno-2017), así como los análisis de laboratorio para cada uno de los horizontes (Van Reewijk, 2002) y con ello plantear recomendaciones de manejo, con el objetivo de garantizar sistemas productivos durables a lo largo del tiempo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la clasificación científica de los suelos se concluye que, de los suelos reportados por INEGI, solo es posible encontrar Andosols, Vertisols y Cambisols (Cuadro 1), ya que los factores formadores de suelo condicionantes en la región son el material parental (volcánico) y el relieve que cambia de áreas con pendientes altas, lomeríos de pendientes suaves y valles (Figura 1). La formación de Luvisols, Planosols y Acrisols no es posible en la región dado que se requiere de un periodo mayor de tiempo de interacción para que los procesos de intemperismo (Porta *et. al.*, 2019) y su subsecuente lavado de bases y acumulaciones de materiales promuevan los procesos formadores necesarios para que se manifiesten en el perfil del suelo.

Cuadro 1. Clasificación de los suelos representativos de Temascalcingo.

Paraje	Clasificación de acuerdo con WRB (IUSS Working Group, 2022)
El Tejocote	Dystric Fragic Protovertic Vitric Cambisols (Loamic, Geoabruptic, Columnic)
San Antonio	Eutric Protovertic Chromic Cambisols (Clayic, Ochric)
Cerritos	Pellic Vertisols (Stagnic, Vitric)
Andaró	Vitric Dystric Andosols (Protoandic, Fragic)
Juanacatlán	Pellic Vertisols (Ochric, Vitric)
San Pedro el Alto	Fragic Vitric Dystric Cambisols (Loamic, Densic, Ochric, Raptic)
Potla	Haplic Vertisols (Mazic, Magnesic, Raptic, Vitric)

La caracterización de los suelos y la valoración de las propiedades en los distintos horizontes que constituyen los mismos permiten conocer su condición natural actual. A nivel internacional se ha emplea la evaluación visual de cada una de ellas para propiedades observables en la superficie del suelo (FAO, 2008) y en algunos casos se evalúan muy pocas del interior del perfil del suelo (García-Centeno, 2017).

En este contexto se generó un esquema (gráfico de radar) en el que se asigna un valor a cada propiedad del suelo medida en campo con una escala que varía de “no favorable (0)” a una condición “muy favorable (5)” en los primeros 50 cm de profundidad, considerando los distintos horizontes del suelo en esa profundidad. Se incluyen aquellas que tienen importancia desde el punto de vista productivo (Cuadro 2).

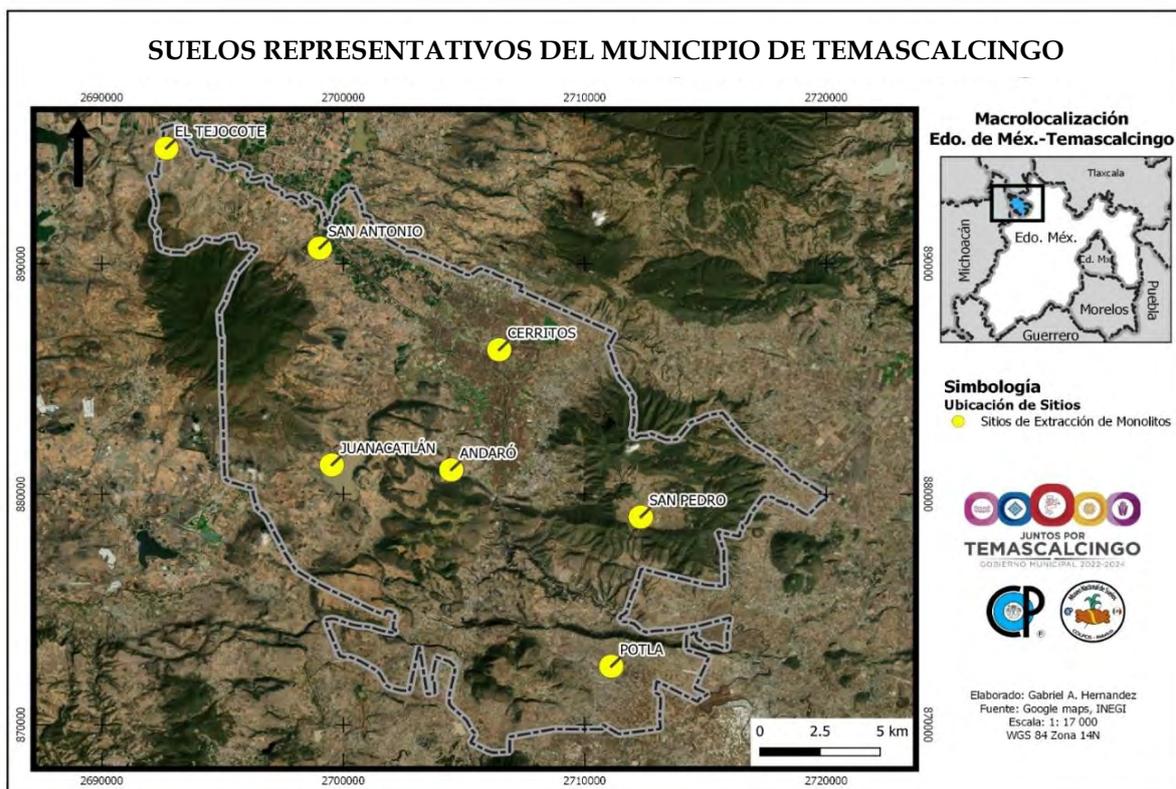


Figura 1. Ubicación de los perfiles de suelo.

Los resultados muestran que el contenido de materia orgánica es una de las principales limitantes en los suelos de la región, así como el tamaño de partículas (textura) dominante. Ambos condicionan de manera importante a otras características como la consistencia (dureza de los suelos), la estructura, el movimiento de agua (Saxton and Rowls, 2006) y el riesgo de erosión, éste último asociado con la falta de estructura pedal del suelo (Oldeman, 1988) (Figura 2).

Cuadro 2. Evaluación de las propiedades del suelo.

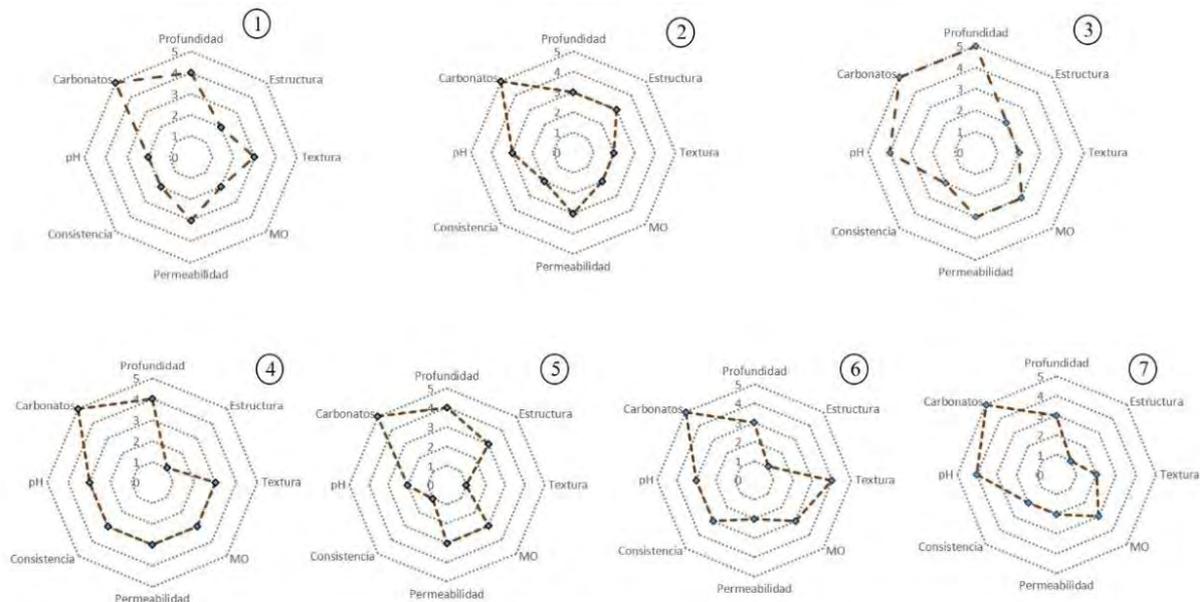
Condición	Prof (cm)	Estructura *	Textura **	Permeabilidad	Consistencia ***	pH	Carbonatos	MO
Muy favorable (5)	> 150	G, Mi < 0.5 cm	F	Moderada	Friable	6.5-7.0	Sin reacción	Muy fuerte (muy alto)
Favorable (4)	100-150	BS 1-3 cm	FA, FRA, FR	-	Ligeramente firme	5.5-6.5 7.0-7.5	Ligera	Fuerte (alto)
Regular (3)	50-100	BA, BS > 3 cm	FRL, FL	Rápida	Firme	5.0-5.5 7.5-8.5	moderado	Moderado (medio)
Inadecuado (2)	25-50	P > 7 cm	AF, RL, RA	Lenta	Muy Firme	4.0-5.0 8.5-10.0	Fuerte	Ligero (bajo)
Desfavorable (1)	< 25	L, Ma	A, R, L	Muy rápida Muy lenta	Extremadamente firme	< 4.0 > 10.0	Muy fuerte	Sin reacción (muy bajo)

* Estructura: G: granular, Mi: migajoso, BS: bloques subangulares, BA: bloques angulares, P: prismática, L: laminar, Ma: masivo.

** Textura: F: franco, FA: franco arenoso, FRA: franco arcillo arenoso, FR: franco arcilloso, FRL: franco arcillo limoso; FL: franco limoso,

AF: arena francosa; RL: arcillo limoso; RA: arcillo arenoso; A: arena, L: limo y R: arcilla.

*** Consistencia: determinada en húmedo.



1: El Tejocote, 2: San Antonio, 3: Cerritos, 4: Andaró, 5: Juanacatlán, 6: San Pedro el Alto y 7: Potla

Figura 2. Evaluación de las propiedades de los suelos.

Para evitar la degradación del suelo y garantizar el funcionamiento óptimo de los mismos en su entorno se recomienda que en las zonas agrícolas de temporal se promueva la adición de enmiendas orgánicas del orden de $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ una vez cada 5 años, que en términos de volumen representa una modificación del horizonte superficial del orden del 13%; también se sugiere la rotación de cultivos alternando leguminosas y gramíneas y donde las condiciones lo permitan, la integración del uso abonos verdes. Finalmente, En las áreas con pendientes fuertes se recomienda la formación de terrazas o en determinado caso la creación de bordos en curva a nivel y donde la consistencia del suelo es muy firme el uso del arado de cincel o subsoleo profundo.

El beneficio de la adición de enmiendas orgánicas propicia la mejora de algunas de las propiedades físico-químicas de los suelos, principalmente la Da, el contenido de MO, la disponibilidad de N. Estos datos son generados estimando que la integración total de la MO ocurra en un periodo de 4 años, por lo que la adición de enmiendas debe realizarse de manera periódica en ciclos de 5 años (Cuadro 3).

Cuadro 3. Estimación de algunas características de los suelos después de aplicar composta ($300 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$).

Sitio	MO-a	Da-a	N-a	MO-t	Da-t	N-t
El Tejocote	3.09	1.30	0.014	4.09	1.17	0.041
San Antonio	3.60	1.50	0.140	4.47	1.34	0.167
Cerritos	6.02	1.60	0.253	6.84	1.43	0.280
Andaró	3.86	1.40	0.014	4.79	1.26	0.041
Juanacatlán	2.06	1.10	0.169	3.24	1.00	0.196
San Pedro	3.35	1.20	0.014	4.43	1.08	0.041
Potla	3.09	1.60	0.267	3.91	1.43	0.294

MO: materia orgánica (%); Da: densidad aparente ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); N: Nitrógeno total (%); a: actual; t: después del tratamiento.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

CONCLUSIONES

La descripción adecuada del perfil del suelo permite evaluar sus propiedades de manera objetiva con gráficos del tipo “radar” y al mismo tiempo sirve para identificar las principales limitantes edafológicas para la producción de cultivos.

La identificación de las propiedades limitantes determina el plan de acción a seguir (manejo agronómico) para garantizar la sostenibilidad de los sistemas productivos.

La adición de 300 m³.ha⁻¹ garantiza un incremento anual del 1% de MO para los suelos de la región.

Se recomienda implementar el tratamiento y evaluar la disponibilidad nutrimental en los distintos suelos de la región.

BIBLIOGRAFÍA

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2006). Guidelines for soil description. Fourth Edition. Rome, Italy.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2008). Visual soil assessment field Guides. Rome. Italy.
- García-Centeno, J.L. 2017. Metodologías de campo para determinar profundidad, densidad aparente, materia orgánica, infiltración del agua, textura y pH. Managua. Nicaragua.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (2010). Compendio de información geográfica municipal del Municipio de Temascalcingo. México.
- IUSS-Working group WRB. (2022). World Reference Base for Soil Resources. 4^a Edition. Vienna Austria.
- Oldeman, R.L., 1988. Guidelines for general assesment of the status of human-induced Soil Degradation. Wageningen. The Netherlands.
- Porta-Casanelas, J., López-Acevedo, M. y Poch-Claret, Rosa M. 2019. Edafología: Uso y protección de suelos. 4^a Edición. Madrid, España.
- Saxton, K.E. and Rowls, W.J. 2006. Soil and water Characteristics estimates by Texture and Organic matter for Hydrologic solutions. Soil science society of American Journal 70: 1569-1578.
- Van Reewjik, L.P. 2002. Procedures for soil analysis. Sixth edition. Wageningen, The Netherlands.

FERTILIZACIÓN NITROGENADA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE NITRATOS DEL SUELO EN LA ETAPA V₆ DEL MAÍZ. LOCALIDAD CEDEL, CHIHUAHUA

Uribe-Montes Hugo Raul^{1*}; Nava-Ruiz Paulina²; Chávez-Sanchez Noe³; Ramos-Castro Wendy Paulina⁴

^{1,2 y 3} Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Delicias. Cd. Delicias, Chihuahua, México.

⁴ Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentarias. Chihuahua, México.

*Autor para correspondencia: hugouribem@hotmail.com

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 fertilizantes que necesitan los cultivos de verano como el maíz, mucho mejor que el balance de masas y las dosis óptimas económicas. Se trata del enfoque del monitoreo del N dentro de la estación de crecimiento, mediante el análisis de nitratos del suelo en la etapa V₆ del maíz, también llamado PSNT (Presidedress Soil Nitrate Test, por sus siglas en inglés). En este estudio, los resultados mostraron que el análisis de nitratos del suelo en la etapa V₆ del cultivo, refleja adecuadamente la disponibilidad de N del suelo para el maíz, y 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 seco (t ha⁻¹), se determinó un modelo donde como ordenada al origen (0 ppm de NO₃-N) fue de 18.2359 y como punto de intersección entre líneas o umbral de respuesta fue 32.8 ppm de NO₃-N con lo cual se producen 25.760 t ha⁻¹ de forraje seco, por lo que se concluye que no existe respuesta a concentraciones de nitratos mayores a esta concentración y es la agrónomicamente apropiada. En esta localidad, la fertilización con nitrógeno en la etapa V₆ en maíz si no hay nitratos y se quiere producir máximos rendimiento se debe fertilizar con 156 kg de N ha⁻¹.

PALABRAS CLAVE

Fertilización; NO₃; Maíz; PSNT.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es el nutriente que más a menudo limita la producción de cultivos, pero paradójicamente su uso inadecuado tiene un fuerte impacto en el ambiente (contaminación de acuíferos), donde altas dosis de fertilización y riego frecuente se utilizan para asegurar un óptimo crecimiento. La sobrefertilización como una práctica segura contra la incertidumbre del nivel de N disponible (NO₃) que tiene el suelo es común, pero difícil de defender desde un punto de vista ambiental.

Se ha detectado que el Nitrógeno en forma de nitrato (N-NO₃) de actividades agrícolas es contaminante tanto de los ecosistemas acuáticos superficiales como de las aguas subterráneas.

El N mineral residual del suelo después de la cosecha (como un indicador del potencial de lixiviación de nitratos durante el otoño y el invierno) aumenta sustancialmente cuando se aplican cantidades superiores a la dosis óptima de N (Andraski *et al.*, 2000; Delgado *et al.*, 2001). La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que el agua potable no debe contener más de 10 mg N-NO₃ L⁻¹ (50 mg NO₃ L⁻¹) (Organización Mundial de la Salud, 2004). Espino-Valdés *et al.* (2010) en un estudio en la región agrícola de Delicias, Chihuahua, concluyeron que el 38 % del total de los pozos de agua potable estudiados presentaron concentración de nitratos por encima del valor límite establecido en la norma de agua potable, por lo que existe contaminación difusa por nitratos en el agua subterránea del área de estudio. De acuerdo al análisis isotópico realizado, indica que la presencia de altas concentraciones de nitratos en el municipio de Delicias se debe a la combinación de residuos de fertilizantes con desechos orgánicos procedentes de escurrimientos de fosas sépticas y/o residuos animales. Por lo que se recomienda entre otras cosas, promover la dosificación adecuada de fertilizantes y el uso eficiente del agua en el riego para reducir el volumen de lixiviación en el acuífero.

Las prácticas que mejoran la eficiencia de uso del N incluyen el ajuste de las dosis de aplicación, basado en la estimación precisa de las necesidades de los cultivos (por ejemplo, el análisis de nitratos a 30 cm de profundidad del suelo en la etapa V₆ del maíz también llamado PSNT; uso de formas de fertilizantes de liberación controlada o lenta o inhibidores de la nitrificación (que frenan los procesos microbianos que conducen a la formación de N₂O); aplicación del N en el momento que sea menos susceptible a la pérdida, a menudo justo antes de la mayor absorción por la planta (mejor época); colocando el N con más precisión en el suelo para hacerlo más accesible a las raíces de los cultivos (en banda); o evitar las aplicaciones de N en exceso a los requerimientos de las plantas (Paustian *et al.*, 2004).

Estudios recientes utilizando el PSNT han demostrado una buena correlación entre el rendimiento del grano de maíz o forraje y el contenido de NO₃-N de la superficie del suelo cuando las plantas están en V₄ a V₆ (Magdoff *et al.*, 1984; Fox *et al.*, 1989; Binford *et al.*, 1992; Meisinger *et al.*, 1992). El contenido de NO₃-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 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 V₄ a V₆. 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 V₆ (Binford *et al.*, 1992).

El análisis de $\text{NO}_3\text{-N}$ 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.

Este trabajo tuvo como objetivos identificar mediante el PSNT los valores críticos de nitratos en el suelo a partir de los cuales no hay respuesta a la fertilización nitrogenada y generar recomendaciones de N en maíz para obtener máximos rendimientos de forraje y grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en un suelo Yermosol cálcico (FAO/UNESCO, 1974) en el Campo Experimental Delicias ($28^{\circ}10'43''\text{N}$; $105^{\circ}29'42''\text{W}$) perteneciente al Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Las características del suelo en su estrato 0-30 cm de profundidad para la textura, pH, M.O. (%), C.E. (ds/m), NO_3 (ppm), P (ppm), K (ppm), Fe (ppm), Zn (ppm), Cu (ppm) y Mn (ppm) fue franco arcilloso-arenoso, 7.9, 0.8, 0.72, 14.3, 10.5, 423, 2.4, 0.4, 0.6 y 6.1.. respectivamente. El lugar tiene a una altitud sobre el nivel del mar de 1,165 metros, el cual tiene un clima seco semicálido.

Se sembró en Delicias el 16 de junio del 2022 el híbrido Antílope de Asgrow con una población de 92,000 plantas/ha. El cultivo fue asperjado en la etapa la etapa V_4 con una solución foliar de 6% y 0.5% de SO_4Fe y SO_4Zn , respectivamente, para evitar clorosis férrica. Se aplicó dos veces el insecticida Coragen (Clorantraniliprol) a razón de 75 ml ha^{-1} en las etapas V_2 (14 DDS) y V_4 (21 DDS) para controlar Gusano cogollero *Spodoptera frugiperda*. El cultivo recibió un riego de presiembra (7 de junio) y dos riegos de auxilio al inicio del ciclo (8 de julio y 2 de agosto) y posteriormente hubo 137.5 mm de lluvia bien distribuida a partir del 18 de agosto hasta el 3 de septiembre.

Las parcelas experimentales constaron de cuatro surcos de 0.8 m de ancho y 12 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 otros tres m lineales de plantas (4.8 m^2) para estimar rendimiento de grano. Los tratamientos fueron diseñados pensando 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 permitieran determinar el umbral de concentración de NO_3 (en ppm) del suelo donde hay respuesta a la fertilización nitrogenada (tratamientos del 1 al 6 en el cuadro 2); también, conocer el momento adecuado de aplicación de fertilizante nitrogenado para obtener el máximo rendimiento (tratamientos del 7 al 11 en el cuadro 2); además, se adicionaron dos tratamientos con materiales orgánicos (estiércol y biosólidos) producidos en la región, comúnmente aplicados en la agricultura, aplicados en cantidades que se supone satisfacen los requerimientos de N del cultivo y un testigo absoluto. Los tratamientos del 1 al 12 fueron aplicados con 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 al momento de la siembra.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Para N-NO₃ se muestreó después de que el cultivo se estableció y justo antes de que iniciara el crecimiento rápido de la planta (V₆ o 30 DDS) 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 de los tratamientos 1 al 6 (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 42 muestras de suelo en cada localidad, en siete repeticiones de cada tratamiento y poder correlacionarlos con el rendimiento de forraje para silo o rendimiento de grano. Las muestras de suelo se secaron al aire, se tamizaron y se mandaron al laboratorio para su análisis. El diseño experimental fue bloques al azar con siete repeticiones. Se analizaron nitratos en el suelo mediante el método del sulfato de brucina, antes de que inicie 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 ($\alpha=0.05$) y se utilizó el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2023). El experimento también se analizó como un factorial, donde época de aplicación de N (aplicación de N a la siembra y en V₆) y dosis de N (45, 90, 135, 180 y 225 kg ha⁻¹ de N) fueron los factores. Se midieron rendimiento de forraje para silo, forraje seco y grano en maíz. Estos rendimientos se correlacionaron con la concentración de NO₃ en el suelo para determinar el umbral de NO₃ mediante los modelos de superficie de respuesta del tipo lineal segmentado con el procedimiento NLIN del paquete estadístico SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cuadro 1 muestra las diferentes dosis de N aplicados antes de la siembra de maíz (tratamientos 1-6), los cuales se utilizaron para simular diferentes concentraciones de nitratos (ppm) en el suelo en la etapa V₆ del maíz, donde se puede ver un gradiente de concentración de 16.6 ppm cuando no se aplicó N hasta 29.5 ppm donde se aplicó 135 kg ha⁻¹ de N. Se observaron incrementos de 4.3 ppm por cada 45 kg de N ha⁻¹ aplicado. Se puede observar que el suelo utilizado en el experimento poseía una cantidad pobre de nitratos residual de alrededor de 12.6 ppm, la cual tiene es típica de suelos donde antes fueron sembrados con leguminosas comestibles, como lo muestra el tratamiento testigo (tratamiento 14) del Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos de N aplicados en la siembra y concentración de NO₃ (ppm) en el suelo en la etapa V₆ del cultivo de siete repeticiones en la localidad Campo Experimental Delicias. 2022. INIFAP-Delicias.

N Fertilización			Repetición							Promedio
Siembra	V ₆	No. Tratamiento	I	II	III	IV	V	VI	VII	
0	0	1	1	20.7	18.0	15.6	14.5	15.3	13.1	16.6
45	0	2	2	21.4	23.3	17.4	16.2	20.6	23.0	20.3
90	0	3	2	24.8	30.7	18.5	22.5	20.6	24.1	23.9
135	0	4	2	31.0	33.7	24.1	30.7	28.8	28.7	29.5
180	0	5	3	32.0	35.9	24.5	31.7	30.3	32.8	31.6
225	0	6	3	36.5	38.3	31.8	31.2	32.1	32.8	33.9
Testigo		14	1	14.0	16.1	12.9	11.5	12.0	11.5	12.6

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Las variables estudiadas en maíz respondieron positivamente a la aplicación de N como se muestra en el cuadro 2, donde se observaron incrementos de alrededor de 8.4, 7.0, 1.1 y 2.3 t ha⁻¹ de forraje fresco para silo, forraje seco, peso seco de grano de elote y peso de grano, respectivamente, comparando cuando no se fertiliza con N vs la aplicación de 180 o 225 kg ha⁻¹ de N. La aplicación de 135 kg de N ha⁻¹ fue igual estadísticamente en rendimiento de grano a 180, 225 kg de N ha⁻¹ y estiércol. Esto nos permite la posibilidad de utilizar la dosis de 135 kg ha⁻¹ de N para impactar menos el medio ambiente, sin la disminución significativa del rendimiento (el rendimiento se reduce alrededor de 10%). La aplicación tanto de estiércol (60 t ha⁻¹) como de biosólidos (10 t ha⁻¹) satisficieron la demanda de N por el cultivo de maíz y fueron estadísticamente iguales a la aplicación de 180 o 225 kg de N ha⁻¹.

La fertilización con nitrógeno en V₆ en maíz (Ritchie y Hanway, 1982) es más eficiente que la aplicación a la siembra, sobretodo en labranza de conservación (Wells *et al.*, 1992; Sainz Rozas *et al.*, 1999). Sin embargo algunos técnicos y agricultores en las regiones agrícolas maiceras sugieren se aplique Urea [(NH₂)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:

$$N_f = (N_{ch} + N_{cr} - e_s N_{sin} - e_m N_{min}) / e_f$$

Donde: 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 NO₃ en el suelo en V₆ (PSNT) han demostrado una buena correlación entre el rendimiento del grano de maíz y el contenido de NO₃-N de la superficie del suelo cuando las plantas están en V₄ a V₆ (Magdoff *et al.*, 1984; Fox *et al.*, 1989; Binford *et al.*, 1992; Meisinger *et al.*, 1992; Sainz-Rosas *et al.*, 2000). El contenido de NO₃-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 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 V₄ a V₆. Sin embargo, el PSNT también puede

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

ser usado como herramienta para evaluar aplicaciones de N antes de la siembra e indicar si se necesita N complementario en V_6 (Binford *et al.*, 1992).

El objetivo general de este trabajo fue validar el método de análisis de nitratos del suelo en la etapa V_6 en maíz para definir dosis y épocas de fertilización nitrogenada en maíz bajo riego por gravedad, pero como objetivo específico se tuvo el de determinar el umbral de la concentración de nitratos del suelo (ppm de NO_3) en que hay respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz. Para lograr los objetivos planteados se analizó el comportamiento de diferentes variables de producción en función de la concentración de $\text{NO}_3\text{-N}$ en la etapa V_6 del cultivo, simulados por la aplicación de dosis crecientes de N (0, 45, 90, 135, 180 y 225 kg ha^{-1}), en 42 parcelas generadas a partir de seis tratamientos por siete repeticiones. En todas las superficies de respuesta de las variables estudiadas se notaban dos áreas definidas; en la primera existe una fuerte respuesta del rendimiento desde 13 ppm hasta alrededor de 32 ppm de $\text{NO}_3\text{-N}$; y en la segunda área los rendimientos desde 32 hasta 38 ppm $\text{NO}_3\text{-N}$ fueron similares, por lo que fue necesario definir estadísticamente el punto que delimita las dos áreas (Figura 1).

Para ello, se obtuvieron modelos de superficie de respuesta del tipo lineal segmentado para cada una de las variables estudiadas como se muestra en el cuadro 3, donde el umbral de respuesta varió desde 28.0 hasta 35.9 ppm de $\text{NO}_3\text{-N}$ para las diferentes variables estudiadas.

Cuadro 2. Tratamientos de N y comparación de medias de rendimiento de forraje fresco para silo, forraje seco, peso seco de grano de elote y peso de grano en la localidad Campo Experimental Delicias. 2022. INIFAP-Delicias.

No. Tratamiento	N Fertilización (kg ha^{-1})		Forraje fresco para silo (t ha^{-1})	Forraje seco (t ha^{-1})	Peso seco de grano de elote (t ha^{-1})		Peso de grano (t ha^{-1})
	Siembra	Etapa V_6					
1	0	0	31.5 g	20.7 h	8.9 bc	8.3 g	
2	45	0	34.4 defg	22.5 fgh	8.9 bc	9.1 e	
3	90	0	35.1 cdef	23.7 def	9.2 ab	9.6 cde	
4	135	0	38.0 abc	24.8 cde	9.5 ab	10.0 abc	
5	180	0	39.3 ab	27.7 a	9.9 a	10.0 abc	
6	225	0	37.3 abcd	24.7 cde	9.5 ab	9.8 bcd	
7	0	45	33.9 efg	21.4 gh	8.9 bc	8.7 f	
8	0	90	36.7 bcde	23.0 efg	9.6 ab	9.6 bcde	
9	0	135	36.5 bcde	25.3 cd	9.0 bc	10.6 a	
10	0	180	39.9 a	27.5 ab	9.9 a	9.2 def	
11	0	225	37.9 abc	26.0 abc	9.8 a	10.0 abc	
12	Estiércol		39.2 ab	25.3 bc	9.8 a	10.2 ab	
13	Biosólidos		37.3 abcd	24.8 cde	10.0 a	9.9 abc	
14	Testigo		33.9 fg	21.7 gh	8.3 c	8.1 g	
DMS			3.133	1.870	0.792	0.680	

Letras distintas indican diferencia estadística significativa (DMS, $\alpha=0.05$).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cuadro 3. Modelos de superficie de respuesta del tipo Lineal segmentados generados para las distintas variables estudiadas en la localidad Campo Experimental Delicias. 2022. INIFAP-Delicias.

Variable	A (Ordenada al Origen)	B (Pendiente)	Umbral de respuesta	F	Pr>F	R ²
Forraje para silo	29.9521	0.2323	35.9	5.61	0.0070	0.83
Forraje seco	18.2359	0.2294	32.8	14.88	0.0001	0.56
Peso Seco Grano Elote	7.8229	0.0557	34.3	9.95	0.0003	0.30
Peso Grano Maíz	6.6503	0.1170	28.0	22.49	0.0001	0.49

De las variables estudiadas, la variable más importante es el forraje seco, esto debido a que uniformiza el peso independientemente del agua que contengan los tratamientos, es decir es independiente de cuando se haya cosechado el cultivo para forraje, normalmente se cosecha para ensilaje cuando el maíz para forraje tiene un 35% de materia seca. Otra razón porque el forraje seco es importante como variable, es que la determinación de concentración de N dentro de la planta se reporta en base seca y este es fundamental para el cálculo de las necesidades fertilizantes. Para la variable forraje seco ($t\ ha^{-1}$), se determinó un modelo donde como ordenada al origen (0 ppm de NO_3^- -N) fue de 18.2359 y como punto de intersección entre líneas o umbral de respuesta fue 32.8 ppm de NO_3^- -N con lo cual se producen $25.760\ t\ ha^{-1}$ de forraje seco (figura 1). Este modelo tiene una correlación muy aceptable y es confiable para utilizarse en la predicción de rendimiento de forraje seco en función del contenido de nitratos en el suelo. Esta variable es importante para predecir las necesidades de fertilizante nitrogenado.

Se observaron relaciones estrechas ($R^2 = 0.30-0.83$, $P=0.0001$) entre las variables de rendimiento estudiadas y la concentración de NO_3^- -N en el suelo a 0-30 cm en la etapa V₆ del maíz, en la localidad Campo Experimental Delicias del INIFAP (cuadro 3). Estos resultados están acordes con lo reportado por Magdoff et al., 1984; Fox et al., 1989; Meisinger et al., 1992; Binford et al., 1992 e indican que bajo las condiciones de suelo y ambiente en esta localidad antes de la etapa V₆ 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 antes de V₆ 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 (cuatro puntos, Figura 1). Por otro lado, los pocos puntos (seis 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 V₆ no fueron importantes bajo las condiciones de este experimento.

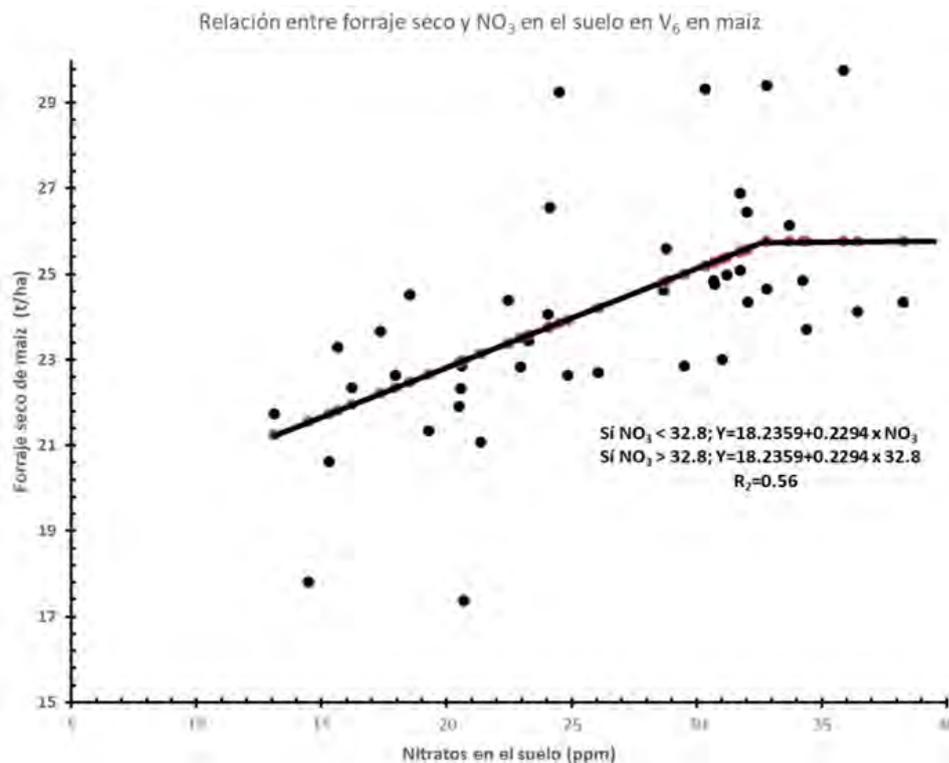


Figura 1. Rendimiento de forraje seco (t/ha) en respuesta a la concentración de NO₃ (ppm) en el suelo en la etapa V₆ del maíz en la localidad Campo Experimental Delicias. 2022. INIFAP-Delicias.

Un enfoque general para estimar las necesidades de fertilizante nitrogenado basado en el análisis de nitratos del suelo es utilizando la siguiente ecuación:

$$Nf = [(RM - RP)N_n] / E$$

Donde:

Nf = Recomendación de fertilizante nitrogenado (kg N ha⁻¹).

RM = Rendimiento meta (Mg ha⁻¹).

RP = Rendimiento posible estimado sin ningún fertilizante añadido (Mg ha⁻¹).

N_n = Necesidades estimadas de N para altos rendimientos (kg N ha⁻¹).

E = Eficiencia de absorción de N.

Asumiendo que: 1) las necesidades de maíz para silo de alto rendimiento es 11.5 kg de N t⁻¹; 2) 20% de N más es absorbido por raíces y rastrojos (tocones), además del ensilado cosechado; y 3) la eficiencia de la absorción de N es de 70% por lo tanto la ecuación se convierte en $Nf = (RM - RP)20.5$.

El cálculo de rendimiento de forraje seco ajustado y necesidades fertilizantes en base a los resultados generados en el experimento se muestran en el cuadro 4.

Para cada región agrícola es conveniente tener un cuadro de recomendaciones, donde dependiendo del potencial de rendimiento del suelo, podamos sugerir cuanto fertilizante aplicar.

Cuadro 4. Cálculo de rendimiento de forraje seco ajustado y necesidades fertilizantes en base a los resultados generados en la localidad Campo experimental delicias. 2022. INIFAP-Delicias.

Forraje seco (t ha ⁻¹)	Forraje fresco para silo (t ha ⁻¹)	Fertilizante nitrogenado (kg ha ⁻¹)
$Y=18.2359+0.2294(\text{NO}_3)$	$Y=29.9521+0.2323(\text{NO}_3)$	$Nf= (\text{RM-RP})20.5$
$Y=18.2359+0.2294(0)=18.2$	$Y=29.9521+0.2323(0)=29.95$	$Nf= (25.8-18.2)20.5=156$
$Y=18.2359+0.2294(3)=18.9$	$Y=29.9521+0.2323(3)=30.65$	$Nf= (25.8-18.9)20.5=142$
$Y=18.2359+0.2294(6)=19.6$	$Y=29.9521+0.2323(6)=31.35$	$Nf= (25.8-19.6)20.5=127$
$Y=18.2359+0.2294(9)=20.3$	$Y=29.9521+0.2323(9)=32.05$	$Nf= (25.8-20.3)20.5=113$
$Y=18.2359+0.2294(12)=21.0$	$Y=29.9521+0.2323(12)=32.75$	$Nf= (25.8-21.0)20.5=98$
$Y=18.2359+0.2294(15)=21.7$	$Y=29.9521+0.2323(15)=33.45$	$Nf= (25.8-21.7)20.5=84$
$Y=18.2359+0.2294(18)=22.4$	$Y=29.9521+0.2323(18)=34.15$	$Nf= (25.8-22.4)20.5=69$
$Y=18.2359+0.2294(21)=23.1$	$Y=29.9521+0.2323(21)=34.85$	$Nf= (25.8-23.1)20.5=55$
$Y=18.2359+0.2294(24)=23.8$	$Y=29.9521+0.2323(24)=35.55$	$Nf= (25.8-23.8)20.5=40$
$Y=18.2359+0.2294(27)=24.5$	$Y=29.9521+0.2323(27)=36.25$	$Nf= (25.8-24.5)20.5=26$
$Y=18.2359+0.2294(30)=25.2$	$Y=29.9521+0.2323(30)=36.95$	$Nf= (25.8-25.2)20.5=11$
$Y=18.2359+0.2294(32.8)=25.8$	$Y=29.9521+0.2323(33)=37.65$	$Nf= (25.8-25.8)20.5=0$
	$Y=29.9521+0.2323(35.9)=38.29$	

CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que el análisis de NO₃-N a 30 cm de profundidad del suelo en la etapa V₆ (PSNT) del cultivo de maíz, refleja adecuadamente la disponibilidad de N del suelo para el maíz y 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 seco (t ha⁻¹), se determinó un modelo donde como ordenada al origen (0 ppm de NO₃-N) fue de 18.2359 y como punto de intersección entre líneas o umbral de respuesta fue 32.8 ppm de NO₃-N con lo cual se producen 25.760 t ha⁻¹ de forraje seco, por lo que se concluye que no existe respuesta a concentraciones de nitratos mayores a esta concentración y es la agrónomicamente apropiada. En esta localidad, la fertilización con nitrógeno en la etapa V₆ en maíz si no hay nitratos y se quiere producir máximos rendimiento se debe fertilizar con 156 kg de N ha⁻¹.

BIBLIOGRAFÍA

- Andraski, T. W., L. G. Bundy, and K. R. Brye. 2000. Crop management and corn nitrogen rate effects on nitrate leaching. *J. Environ. Qual.* 29:1095-1103.
- Binford, G.D., A.M. Blackmer and M.E. Cerrato. 1992. Relation between corn yields and soil nitrate in late spring. *Agron. J.* 84: 53-59.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Delgado, J. A., R. J. Ristau, M. A. Dillon, H. R. Duke, A. Stuebe, R. F. Follett, M. J. Shaffer, R. R. Rigggenbach, R. T. Sparks, A. Thompson, L. M. Kawanabe, A. Kunugi, and K. Thompson. 2001. Use of innovative tools to increase nitrogen use efficiency and protect environmental quality in crop rotations. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32:1321-1354.
- Espino-Valdés, M. S., C. J. Navarro-Gómez y M. Royo-Ochoa. 2010. Evaluación del origen de nitratos en el agua subterránea de Delicias, Chihuahua, usando técnicas isotópicas. *Administración y tecnología para el diseño. Anuario 2010.* p. 239-248.
- 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., 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.
- 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.
- Paustian, K., B. A. Babcock, J. Hatfield, R. Lal, B. A. McCarl, S. McLaughlin, A. Mosier, C. Rice, G. P. Robertson, N. J. Rosenberg, C. Rosenzweig, W. H. Schlesinger, and D. Zilberman. 2004. *Agricultural mitigation of greenhouse gases: Science and policy options.* CAST Rep. R141. Council on Agricultural Science and Technology, Ames, IA.
- 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.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Schlesinger, W. H. 1999. Carbon sequestration in soils. *Science* 284:2095.

SAS Institute. 2023. *SAS/STAT User's guide*. SAS Institutes Inc. Cary, N.C.

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.



FERTILIZACIÓN SINTÉTICA, ORGÁNICA Y MICROBIOLÓGICA EN EL CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN INVERNADERO

Leonel García-Álvarez¹; Rodolfo de la Rosa-Rodríguez ¹; Martha Patricia España-Luna²; Ma. Del Rosario Martínez-Blanco¹; Alfredo Lara-Herrera^{2*}

¹ Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Avenida Ramón López Velarde 801, Colonia Centro, C.P. 98000 Zacatecas, Zac. México

² Unidad Académica de Agronomía de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Carretera Zacatecas-Guadalajara Km. 15.5 C.P. 98170 Zacatecas, Zac. México

*Autor responsable: alara204@hotmail.com; Tel. +52(492)-924-4147

RESUMEN

El cultivo de tomate en ambiente protegido fundamentalmente se nutre con fertilizantes químicos. Con el objetivo de reducir el uso de fertilizantes químicos se llevó a cabo el presente trabajo mediante la incorporación de abonos orgánicos y biofertilizantes. Se evaluaron dos factores: Fertilización y Biofertilización; los niveles de la fertilización fueron: fertilización sintética (Solución nutritiva Steiner) al 100 % (testigo SN100) y al 50 % (SN50), fertilización orgánica (FO) (a base de composta y siete tipos de abonos orgánicos líquidos), los niveles del factor biofertilización consistieron (Un consorcio a base de *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* y *Glomus intraradices*) en la inoculación en diferentes etapas del cultivo; cada tipo de fertilización por separado y/o sus combinaciones entre ellas. En el factor fertilizante, la fertilización SN100 tuvo el mayor rendimiento ($p < 0.05$), le siguieron SN50 y SN50+FO, el menor rendimiento fue con el FO. No se presentaron diferencias en los niveles del factor biofertilizante. En la interacción, el tratamiento con SN50+FO x BST (inoculación en la siembra y en el trasplante) presentó el mayor rendimiento de frutos, estadísticamente ($p < 0.05$) fue igual al testigo.

PALABRAS CLAVE

Solución nutritiva, Abonos orgánicos, *Azospirillum brasilense*; *Bacillus subtilis*; *Glomus intraradices*.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la hortaliza más cultivada en todo el mundo y la de mayor valor económico (SIAP, 2024). El uso principal del tomate es en ensaladas y en jugo en fresco; la industria alimenticia actual procesa los tomates en diversas formas. Los principales tipos son Saladette, bola y Cherry (SAGARPA, 2017).

Los fertilizantes químicos que se utilizan en mayores cantidades son los nitrogenados, fosforados y potásicos (FAOSTAT, 2024). Los riesgos de daños que éstos pueden causar al suelo y el medio ambiente son: disminución de la materia orgánica, alteraciones de la estructura física, acidificación afectando la microflora benéfica y el desarrollo de los cultivos, estimula la proliferación de plagas, puede inducir la compactación, reducir la aireación y la capacidad de almacenamiento de agua, así

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

como la capacidad de fijación de nitrógeno por rizobacterias, acumulación de sales minerales, se inducen desbalances entre los nutrimentos para los cultivos y estimulan la eutrofización en masas de agua (Nadarajan y Sukumaran, 2021)

Los fertilizantes químicos son la principal fuente de nutrimentos para los cultivos hortícolas en invernadero (Nadarajan y Sukumaran, 2021; Olasekan-Adekiya *et al.*, 2022), sin embargo, la inoculación con microorganismos son una alternativa biológica que puede contribuir a aportar nutrimentos, entre estos microorganismos, las micorrizas y las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal son las más utilizadas con este fin (Tahiri *et al.*, 2022, Zhou *et al.*, 2022).

Otra alternativa para aportar nutrimentos a los cultivos son los abonos orgánicos (Olasekan-Adekiya *et al.*, 2022; Tahiri *et al.*, 2022), en invernadero no es permitido el uso de estiércoles, con el fin de evitar problemas de tipo químico y microbiológico, pero el uso de abonos previamente humificados, como las compostas y vermicompostas son de gran importancia (Alvarado-Raya *et al.*, 2023).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la combinación de abonos químicos (al 50 %), orgánicos y microbiológicos en la producción de frutos de tomate; la hipótesis planteada fue que con esta combinación de abonos se tiene el mismo rendimiento que con fertilizantes químicos al 100 %.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental. El trabajo se desarrolló del 14 de abril al 4 de noviembre del año 2023, en una nave de invernadero tipo túnel de 200 m², con sistema de control de temperatura y humedad relativa mediante la renovación del aire caliente y seco por aire fresco y húmedo. El invernadero se ubica en la Unidad Académica de Agronomía de la Universidad Autónoma de Zacatecas, en las coordenadas 22° 43' 40" de latitud norte y 102° 40' 55" de longitud oeste, y a una altitud de 2237 m.

Materiales biológicos. Se utilizó el tomate tipo Saladette, indeterminado, variedad SVTJ7518, de la empresa Seminis®. Los biofertilizantes pertenecen a la empresa Biogea® el producto utilizado fue el THD que contiene: 10,000 esporas/ml del hongo micorrízico arbuscular *Glomus intraradices*, 100 millones de UFC/ml de *Azospirillum brasilense* y 10 millones de UFC/ml de *Bacillus subtilis*.

Tratamientos evaluados. Se utilizó un diseño experimental con 12 tratamientos al azar con tres repeticiones por tratamiento, con un arreglo factorial donde se evaluaron dos factores en el aporte de nutrimentos: Fertilizantes (Químico y Orgánico) y Biofertilizantes. El factor fertilizante presentó tres niveles, que consistió en: (a) fertilizantes químicos, (b) fertilizantes orgánicos, y (c) fertilizantes químicos y orgánicos. El factor Biofertilizantes presentó cuatro niveles, los cuales correspondieron a los momentos de las inoculaciones: (SM) no inoculación (sin microorganismos), (BS) en la siembra, (BT) en el trasplante, y (BST) en la siembra y en el trasplante.

Adicional a los 12 tratamientos correspondientes al experimento factorial (4 x 3 = 12), se tuvo un tratamiento testigo, el cual correspondió a la aplicación de los nutrimentos que requiere el cultivo mediante una SN completa y balanceada (Solución nutritiva Steiner) al 100 % (SN100).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

El diseño de los tratamientos fue: 1: SN-100 (Testigo), 2: Solución nutritiva balanceada, aporte del 50 % (SN-50), 3: Fertilización orgánica (FO), 4: SN-50 + FO, 5: Biofertilizantes en siembra (BS) + SN-50, 6: Biofertilizantes en trasplante (BT) + SN-50, 7: BS + BT+ SN-50, 8: BS + FO, 9: BT + FO, 10: BS + BT + FO, 11: BS + SN-50 + FO, 12: BT + SN-50 + FO, 13: BS + BT + SN-50 + FO.

Manejo del cultivo. La siembra se realizó el 14 de abril de 2023, en charolas de poliestireno de 242 cavidades de 25 ml (2x2x6.2 cm) por celda, se utilizó el sustrato QTS 2 Xtra Substrate de la empresa Compaqpeat 250. Para la charola donde no se inocularon los microorganismos se utilizó un litro de agua destilada para un volumen de 6 litros de sustrato para llenar la charola, para la charola donde se aplicaron los biofertilizantes se añadió 2 ml al agua del producto Biogea THD con la que se humedeció el sustrato. Después de que las cavidades de las charolas estuvieron llenas de sustrato se procedió con el manejo del riego y fertilización propuesto por Tahiri *et al.* (2022).

El trasplante se realizó el 8 de mayo del 2023, las plantas que llevaron el tratamiento con biofertilizantes antes de ser trasplantadas primero se aplicó en drench en el orificio una solución de 10 ml que contenían a los biofertilizantes la dosis utilizada fue de 2 ml por litro de agua. Los tratamientos en los que se aplicaron abonos orgánicos, parte de esos abonos se aplicaron al momento de preparar el sustrato de las macetas con el 33 % (v:v) de composta (9 kg), y el resto 67 % (v:v) de suelo (18 Kg), otros tratamientos presentaron solamente suelo al 100 % dependiendo el tratamiento. Cada unidad experimental constó de una maceta con 27 kg de suelo o suelo con abono orgánico, con una planta de tomate a doble tallo. El aporte de nutrientes a cada planta se presenta en el Cuadro 1.

Además de la composta, en los tratamientos que se aplicaron abonos orgánicos, también se complementaron con la aplicación de abonos orgánicos líquidos, los cuales se aplicaron en “drench” en la base de cada planta. Los abonos orgánicos utilizados fueron: Bionat®, té de composta, melaza, extracto de algas marinas, ácidos húmicos y aminoácidos (Huminare®) y aminoácidos y microelementos (Bionare®); estos abonos se intercalaron una vez por semana durante el desarrollo del cultivo.

Cuadro 1. Aporte de nutrientes y suma total de estos en los diferentes tratamientos.

Nut	Aporte de nutrientes/Tratamientos					SN100 x	SN50 x SM,	FO x SM,	FO+SN50 x		
	Agua (A)	S1 (27 kg)	S2 (18 kg)	Com (9 kg)	SN100	SM	SN50 x BS,	FO x BS,	SM, FO+SN50		
							SN50 x BT y	FO x BT y	x BS,		
							SN50 x BST	FO x BST	FO+SN50 x BT		
									y FO+SN50 x		
									BST		
N	241.02	712.8	475.20	1,782.00	26,898.98	13,449.49	467.70	27,852.80	14,403.31	2,965.92	16,415.41
P	96.41	194.4	129.60	32,400.00	4,319.70	2,159.85	346.59	4,610.51	2,450.66	32,972.60	35,132.45
S	428.48	477.1	318.67	34,800.03	32,754.53	16,377.27	656.97	33,660.10	17,282.84	36,204.15	52,581.42
K	3,213.60	27,270.0	18,180.00	126,900.00	42,522.58	21,261.29	33.21	73,006.18	51,744.89	148,326.81	169,588.10
Ca	4,284.80	183,600.0	122,400.00	54,000.00	23,928.84	11,964.42	84.01	211,813.64	199,849.22	180,768.81	192,733.23
Mg	535.60	19,170.0	12,780.00	29,700.00	6,678.10	3,339.05	19.20	26,383.70	23,044.65	43,034.80	46,373.85

*Nut=nutriente, S1=suelo 100%, S2=suelo 67%, Com=composta 33%, AOL=abono orgánico líquido (melaza, algas marinas, bionare y bionat).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el factor fertilizante, la fertilización sintética (SN-100) fue mayor, fue diferente a la SN-50 ya sea con o sin fertilizantes orgánicos, y el menor rendimiento en este factor fue con la fertilización orgánica. El factor Biofertilizante no tuvo efecto en el rendimiento de frutos (Cuadro 2).

El mayor rendimiento de frutos fue con la SN al 100 % (testigo) equivalente a 4.67 kg planta⁻¹. En la interacción, los tratamientos con la SN al 50 %, indistintamente que se combinara con abonos orgánicos y biofertilizantes, no fueron diferentes respecto al testigo. El menor rendimiento se obtuvo con cualquier nivel del factor biofertilizante y del factor fertilizante con el nivel de fertilizante orgánico, pero sin SN (Cuadro 2).

El efecto benéfico del fertilizante orgánico no se manifestó en el rendimiento de frutos, como lo reportaron Tahiri *et al.* (2022) con la aplicación de 10 % de composta, a pesar de que en el presente experimento la dosis aplicada fue mayor (33 %), la principal razón se atribuye a la baja concentración de N (0.43 %) y a la alta relación C/N (57).

Cuadro 2. Efecto de los factores evaluados en el rendimiento de frutos de tomate.

Factor / Nivel	Rendimiento (kg planta ⁻¹)	Factor / Nivel	Rendimiento (kg planta ⁻¹)
		Fertilizante x Biofertilizante:	
Fertilizante:		SN100 x SM	4.67 a
SN100	4.67 a	SN50 x SM	2.97 a
SN50	2.53 b	FO x SM	0.47 c
FO	0.62 c	FO+SN50 x SM	2.73 a
FO+SN50	2.72 b	SN50 x BS	2.45 ab
Tukey	0.55	FO x BS	0.95 bc
Biofertilizante:		FO+SN50 x BS	3.13 a
SM	2.06 a	SN50 x BT	2.38 ab
BS	2.18 a	FO x BT	0.54 c
BT	1.57 a	FO+SN50 x BT	1.80 abc
BST	2.03 a	SN50 x BST	2.34 ab
Tukey	0.7	FO x BST	0.52 c
		FO+SN50 x BST	3.22 a
		Tukey	1.59

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$), SN100= solución nutritiva Steiner al 100 %, SN50= solución nutritiva Steiner al 50 %, FO= fertilización orgánica. SM=sin microorganismos, BS= biofertilizantes en la siembra, BT= biofertilizantes en el trasplante, BST= biofertilizantes en la siembra y el trasplante- DMS = Diferencia mínima significativa ($p < 0.05$).

CONCLUSIONES

El mayor rendimiento de frutos se obtuvo con la aplicación de la solución nutritiva al 100 % (testigo). Con las combinaciones de la SN al 50 % ya sea con o sin fertilización orgánica y con o sin biofertilizantes, el rendimiento fue estadísticamente igual que el tratamiento testigo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado-Raya H. E., Escamilla-García P. E., Estrada-Chavira M. E., Pérez-Soto F. y Moreno-López K. E. 2023. La composta como reductor de gases de efecto invernadero en el sector agrícola: una revisión integral. ITEA Información Técnica Económica Agraria 119(1): 2-18. <https://doi.org/10.12706/itea.2022.012>
- Nadarajan S. and Sukumaran S. 2021. Chapter 12. Chemistry and toxicology behind chemical fertilizers In: Controlled release fertilizers for sustainable agriculture. Ed: F.B. Lewu, Tatiana Volova, Sabu Thomas, Rakhimol K.R. pp: 195-229.
- Olasekan-Adekiya A., Olatunde-Dahunsi S., Femi-Ayeni J., Aremu C., Muyiwa-Aboyeji C., Okunlola F. and Emmanuel-Oyelami A. 2022. Organic and in-organic fertilizers effects on the performance of tomato (*Solanum lycopersicum*) and cucumber (*Cucumis sativus*) grown on soilless medium. Scientific Reports. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16497-5>
- SAGARPA, 2017. Planeación Agrícola Nacional 2017 - 2030. Jitomate mexicano www.gob.mx/SAGARPA.
- SIAP, 2024. Crops data. En línea, disponible en http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do Consultado el 6 mayo del 2024.
- Tahiri A. I., Meddich A., Raklami A. 2022. Assessing the potential role of compost, PGPR, and AMF in improving tomato plant growth, yield, fruit quality, and water stress tolerance. *J Soil Sci Plant Nutr* 22: 743-764. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00684-w>.
- Zhou W., Zhang M., Tao K., Zhu X. 2022. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria on growth and reactive oxygen metabolism of tomato fruits under low saline conditions. www.techscience.com/journal/biocel BIOCELL 2022 46(12): 2575-2582. Doi: 10.32604/biocell.2022.021910

ÍNDICES PARA CALCULAR EL USO EFICIENTE DEL NITRÓGENO EN FRIJOL, FERTILIZADO CON NANOMOLIBDENO FOLIAR

**Ezequiel Muñoz-Márquez¹; Esteban Sánchez-Chávez^{1*};
Juan Manuel Soto-Parra²; Ramona Pérez-Leal²; Rosa María Yañez-Muñoz²;
Linda Citlalli Noperi-Mosqueda²**

¹Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C., Delicias, Chihuahua, México.

²Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, Chih., México. *Autor de correspondencia: esteban@ciad.mx

RESUMEN

La fertilización nitrogenada excesiva es una práctica común en la producción de cultivos. Como consecuencia, los efectos tóxicos del nitrógeno (N) en el medioambiente, son un gran problema para la humanidad. Por tal razón, se buscan prácticas y herramientas tecnológicas que garanticen altos rendimientos con una baja tasa de aplicación de fertilizantes. Por lo que el objetivo del presente estudio, fue evaluar el uso eficiente del nitrógeno (UEN) en la formación de biomasa en frijol ejotero cv. Strike, bajo la fertilización foliar con nanofertilizante de molibdeno frente a los fertilizantes convencionales quelato de molibdeno y molibdato de sodio, y combinados con fertilización edáfica de nitrato de amonio. Las plantas se cultivaron en un invernadero experimental y se regaron con solución nutritiva. Los tratamientos consistieron en la aplicación foliar de NanoMo, quelato Mo y molibdato de sodio en cuatro dosis (0, 5, 10 y 20 ppm de Mo), complementado con la fertilización edáfica de nitrato de amonio (0, 3, 6 y 12 mM de N). Los resultados mostraron que con la aplicación del NanoMo, las plantas acumularon mayor biomasa total en hojas, tallos, frutos y raíz, con incrementos del 25% y 50% respectivamente en comparación con el quelato y molibdato. Finalmente, se concluye que, la aplicación foliar de NanoMo incrementó de manera sustancial la EUN, y elevó el rendimiento de las plantas de frijol ejotero en 45%. Además, el uso de los índices de eficiencia, permitieron precisar el destino final del nitrógeno asimilado en la producción y desarrollo de las plantas.

PALABRAS CLAVE

Fertilización foliar; Micronutriente; Nanofertilizante; Nitrógeno; *Phaseolus vulgaris* L.

INTRODUCCIÓN

El papel del N para el crecimiento y productividad de los cultivos es indispensable. Tiene efecto directo en la producción de la biomasa, por influir directamente en la eficiencia del sistema fotosintético. De esta manera, si el sistema fotosintético se mantiene fuerte permite el desarrollo óptimo de las plantas; si por el contrario, la deficiencia del N se hace presente, el sistema fotosintético se atrofia y provoca raquitismo y muerte de las plantas Poultney *et al.*, 2024.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Del mismo modo, el molibdeno (Mo) tiene un papel fundamental en la regulación y expresión de las enzimas encargadas de la asimilación de N (Imran *et al.*, 2019). Por tal razón, es primordial la mejora la EUN dentro de los programas de manejo de los cultivos. El incremento de la EUN a través de la gestión agronómica, y el empleo de tecnologías de alto rendimiento, logran reducir las aplicaciones excesivas de N, incrementan su aprovechamiento y reducen la contaminación ambiental provocada por los fertilizantes nitrogenados Govindasamy *et al.*, 2023.

Por lo que el objetivo del presente estudio, fue evaluar el uso eficiente del nitrógeno (UEN) en la formación de biomasa en frijol ejotero cv. Strike, bajo la fertilización foliar con nanofertilizante de molibdeno frente a los fertilizantes convencionales quelato de molibdeno y molibdato de sodio, y combinados con fertilización edáfica de nitrato de amonio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y manejo del cultivo

El cultivo se desarrolló en un invernadero experimental en Lázaro Cárdenas, Meoqui, Chihuahua, en 2020. Se germinaron semillas de frijol cv. Strike, y 12 días después de la germinación, las plantas se trasplantaron a bolsas de polietileno que contenían vermiculita y perlita (2:1). Se aplicó solución nutritiva completa durante 20 días según Hoagland, 1950 de acuerdo a lo propuesto por Sánchez *et al.*, 2006 a partir de la germinación de las plantas. Pasados los 20 días, se aplicaron los tratamientos diferenciados de N en la solución nutritiva cada tres días y hasta el final del cultivo. Los tratamientos con Mo se aplicaron de manera foliar cada siete días a partir de la aparición de las hojas verdaderas.

Diseño experimental y tratamientos

Se estableció un diseño experimental con arreglo de parcelas divididas en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Las fuentes de molibdeno BROADACRE® ZnMo Nanofertilizer, GRO BoMo® Chelate y Molibdato de sodio; las dosis de nitrógeno como nitrato de amonio (NH_4NO_3): 0, 3, 6 y 12 mM, y las dosis de molibdeno: 0, 5, 10 y 20 ppm. Se realizaron cinco aplicaciones foliares de las tres diferentes fuentes de molibdeno a partir del día 21 después de la germinación, y 16 aplicaciones de la solución nutritiva diferenciada en nitrógeno a partir del día 22 después de la germinación.

Análisis vegetal

Biomasa y rendimiento

Las muestras se lavaron, y se secaron a 70 °C durante 24h. La producción de biomasa total se calculó en base al peso seco del material vegetal expresado en gramos (g planta^{-1}) (Muñoz-Márquez *et al.*, 2022). El rendimiento se obtuvo en base al peso fresco de los frutos por planta. Los ejotes verdes se recolectaron y se pesaron al momento del muestreo. El rendimiento total se expresó en gramos por planta (g planta^{-1}) (Muñoz-Márquez *et al.*, 2022).

Contenido de nitrógeno total

La concentración de N total se determinó por medio del Analizador Elemental Orgánico Flash 2000 (Jean-Baptiste Dumas, 1964). La concentración de N total orgánico se expresó en porcentaje (%).

Índices de eficiencia de absorción, distribución y utilización de nitrógeno para la formación de la biomasa de la planta

Los índices fueron los siguientes:

- Requisitos fisiológicos de nitrógeno (RFN_{mg})

Se refiere a los miligramos de nitrógeno necesarios para formar cada órgano de la planta.

$$RFN_{mg} = ((CON/100) PO)1000=mg$$

Donde CON es la concentración de nitrógeno del órgano de la planta (hoja, tallo, fruto o raíz), PO es el peso del órgano de la planta, todo multiplicado por 1000. El resultado se expresó en miligramos (mg).

- Contribución relativa de nitrógeno ($CRN_{\%}$)

Se refiere a la cantidad de nitrógeno en porcentaje (%) para formar cada órgano de la planta.

$$CRN_{\%} = (mgNO / (mgNh+mgNt+mgNf+mgNr)) 10000=\%$$

Donde mgNO son los miligramos de nitrógeno necesarios para formar el órgano de la planta, mgNh son los miligramos de nitrógeno necesarios para formar las hojas, mgNt son los miligramos de nitrógeno necesarios para formar los tallos, mgNf son los miligramos de nitrógeno necesarios para formar los frutos, mgNr son los miligramos de nitrógeno necesarios para formar la raíz, todo multiplicado por 1000. El resultado se expresó en porcentaje (%).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índices de eficiencia de uso del nitrógeno en la formación de biomasa

La escasez o sobre fertilización de nitrógeno afecta fuertemente el metabolismo general de la planta, y la distribución de metabolitos necesarios para su supervivencia (Yadav *et al.*, 2023). En la presente investigación, los resultados mostraron que la aplicación del NanoMo logró incrementar la EUN para la formación eficiente de la biomasa total (Figura 1). La producción del follaje esencial para la eficiencia fotosintética, incrementó en 41.66% más que con la aplicación de quelato, y 36.85% más que con la aplicación de molibdato de sodio. Del mismo modo, en la formación de los tallos 43.52% y 23.85%, en raíz 25.96% y 2.30% y en fruto 45.78% y 17.78% más que el quelato y molibdato respectivamente en todos los órganos. Estos resultados permiten observar, como el NanoMo logró una mayor asimilación de nitrógeno, lo que se tradujo en el aumento de la acumulación de materia seca, en este caso, mayor desarrollo y número de hojas, tallos, raíz y frutos. La clara ventaja del NanoMo sobre los fertilizantes convencionales, se presenta como una alternativa clara que incrementa el UEN en beneficio del cultivo.

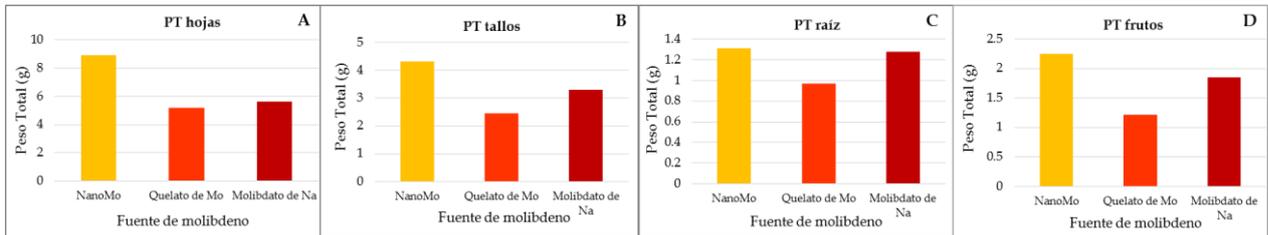


Figura 1. Efecto del NanoMo y nitrato de amonio sobre la EUN en la formación de biomasa total.

Utilizando el índice RFN_{mg} , se puede apreciar de manera clara, como la planta utiliza una mayor cantidad de nitrógeno para la producción de hojas. El segundo órgano que requirió mayor cantidad de N para su formación, fueron los tallos (Figura 2), con el sentido de que deben ser lo suficientemente fuertes para sostener toda la estructura del vegetal. La diferencia en el aprovechamiento del N con el uso del NanoMo respecto al quelato y molibdato, va de 25.47% y 50.15% en hoja, 22.35% y 41.86% para tallo, 60.19% y 11.42%, y para raíz de 53.68 y 53.90 respectivamente (Figura 2). Con este parámetro, se pudo apreciar de manera clara como el N bajo el efecto de NanoMo, fue fácilmente metabolizado para formar parte de los aminoácidos y proteínas que son indispensables para el desarrollo óptimo de la planta. En la figura 3, que indica el índice CRN%, se puede apreciar como la producción de hojas se lleva el mayor porcentaje de N en las tres diferentes fuentes de molibdeno. Es importante señalar, que hubo un mayor aprovechamiento de N con el uso del nanofertilizante, y que con una menor cantidad de N pudo producir mayor cantidad de fruto.

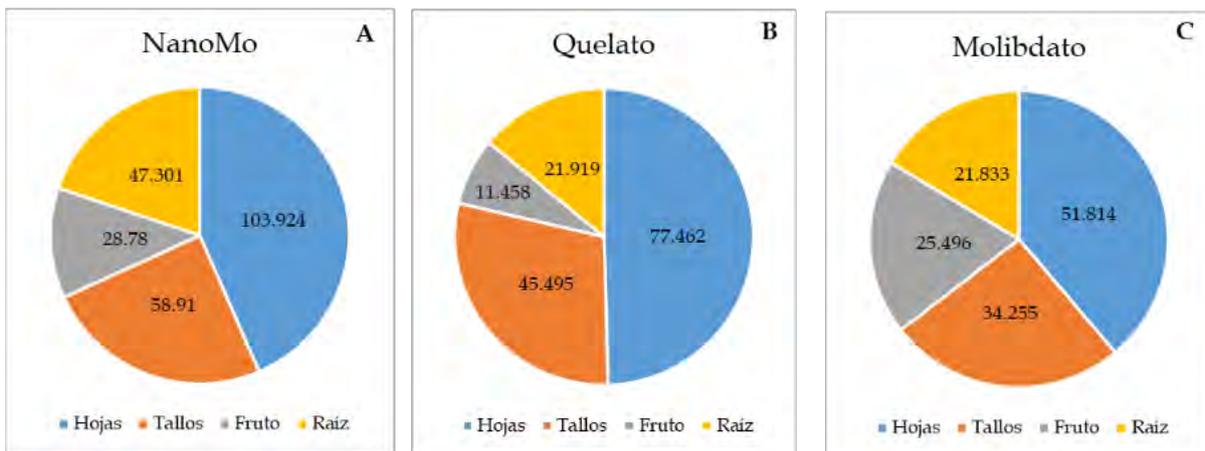


Figura 2. Índice Requisitos fisiológicos de nitrógeno (RFN_{mg}) para la formación de los órganos de las plantas de frijol cv. Strike.

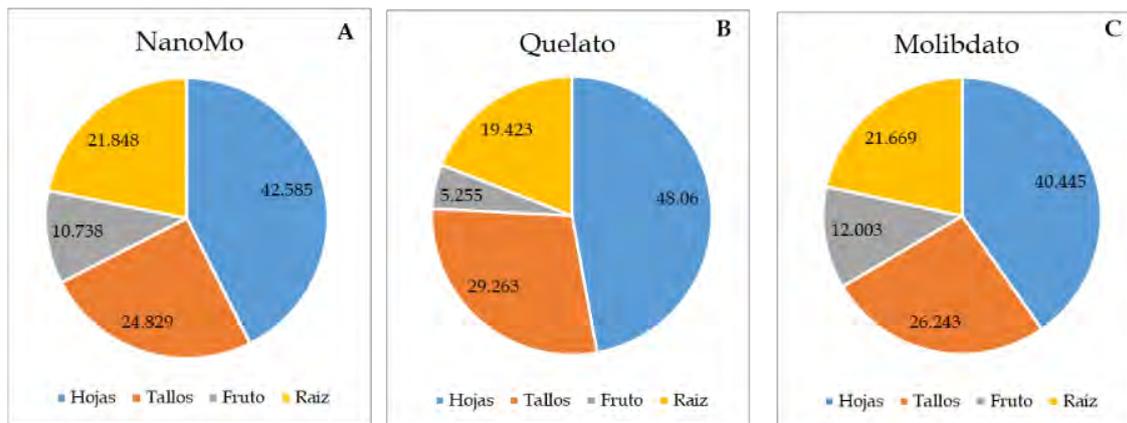


Figura 3. Índice Contribución relativa de nitrógeno (CRN%) para la formación de los órganos de las plantas de frijol cv. Strike.

Es importante destacar, el beneficio de la interacción del N edáfico con el NanoMo foliar (Figura 4). La estrategia de aplicar NanoMo potencializó la asimilación del N principalmente en las dosis de 6 mM-N y 10 ppm-Mo, y pudo ser utilizado eficientemente para la formación de la biomasa vegetal total.

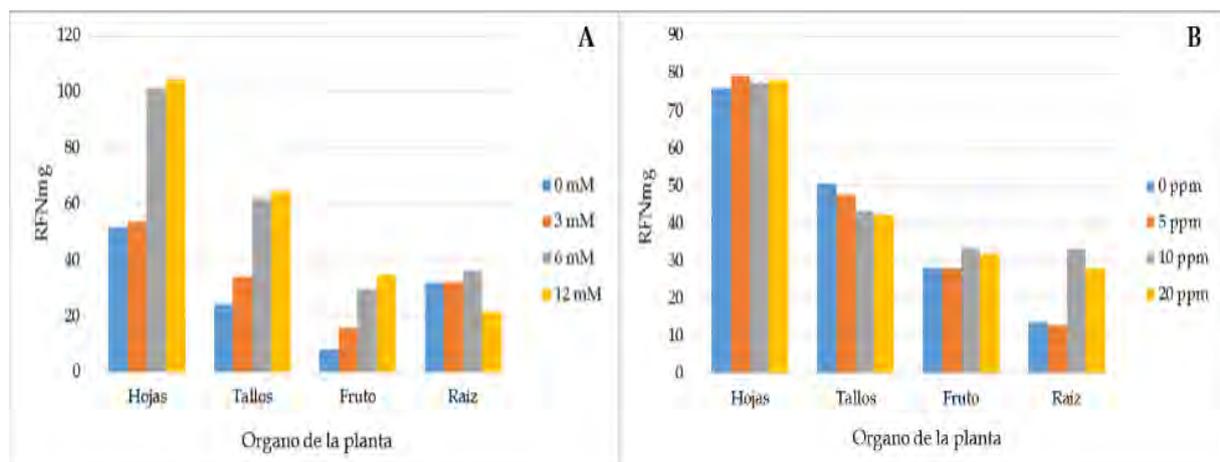


Figura 4. Índice Requisitos fisiológicos de nitrógeno (RFN_{mg}) para la formación de los órganos de las plantas de frijol cv. Strike. a) Efecto de las dosis de nitrógeno (mM), b) Efecto de las dosis de molibdeno (ppm).

CONCLUSIONES

La aplicación foliar de NanoMo incrementó de manera sustancial la EUN, y elevó el rendimiento de las plantas de frijol ejotero en 45%. Además, el uso de los índices de eficiencia, permitieron precisar el destino final del nitrógeno asimilado en la producción de los órganos de las plantas. De esta manera, es posible estimar el crecimiento, desarrollo y rendimiento en los cultivos.

BIBLIOGRAFÍA

- Dumas, J. B. A. (1964). In A History of Chemistry. *Palgrave, London*, 337-375.
- Govindasamy, P., Muthusamy, S. K., Bagavathiannan, M., Mowrer, J., Jagannadham, P. T. K., Maity, A., Halli, H. M., Vadivel, R. T. K. D., Raj, R., Pooniya, V., Babu, S., Rathore, S. S. L. M., Tiwari, G. (2023). Nitrogen use efficiency – a key to enhance crop productivity under a changing climate. *Front. Plant Sci.* 14:1121073. doi: 10.3389/fpls.2023.1121073
- Hoagland, D. R., Arnon, D. I. (1950). The water culture method for growing plants without soil. *California Agricultural Experiment Station, University of California, Berkeley, CA. Circular 347.*
- Imran, M., Sun, X., Hussain, S., Ali, U., Rana, M. S., Rasul, F., Hu, C. X. (2019). Molybdenum-Induced Effects on Nitrogen Metabolism Enzymes and Elemental Profile of Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) Under Different Nitrogen Sources. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(12), 3009. doi:10.3390/ijms20123009
- Muñoz-Márquez, E., Soto-Parra, J. M., Noperi-Mosqueda, L. C., Sánchez, E. (2022). Application of molybdenum nanofertilizer on the nitrogen use efficiency, growth and yield in green beans. *Agronomy*, 12(12), p.3163.
- Poultney, D. M. N., Thuriès, L., Versini, A. (2024). Importance of Overlooked Crop Biomass Components in Sugarcane Nitrogen Nutrition Studies. *Nitrogen*, 5, 62-78. doi.org/10.3390/nitrogen5010005
- Sánchez, E., Romero, L., Ruíz, J. M. (2006). Caracterización del estado nutricional y fisiológico en plantas de judía (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike) sometidas a un estrés por nitrógeno. *Editorial de la Universidad de Granada, Granada, España*. ISBN: 84-338-4168-8.
- Yadav, M. R., Kumar, S., Lal, M.K., Kumar, D., Kumar, R., Yadav, R.K., Kumar, S., Nanda, G., Singh, J., Udawat, P. (2023). Mechanistic Understanding of Leakage and Consequences and Recent Technological Advances in Improving Nitrogen Use Efficiency in Cereals. *Agronomy*, 13, 527. doi.org/10.3390/agronomy13020527

LA IMPORTANCIA DE LOS RESIDUOS VEGETALES EN EL CICLAJE DE FÓSFORO EN SUELOS CON USO AGRÍCOLA

Daniel Tinoco Varela¹; Oneyda Hernández Lara²;
Jeannette Sofía Bayuelo Jiménez^{1*}

¹ Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Carretera Morelia-Zinapécuaro km 9.5. 58850 Tarímbaro, Michoacán, México.
bayuelo@umich.mx (Autor de correspondencia).

² Instituto de Suelos, La Habana, Cuba. Carretera Capdevila, Boyeros km 8.5. La Habana, Cuba.

RESUMEN

La reducida eficiencia de los fertilizantes químicos, acoplada con su alto costo en el mercado, ha propiciado el interés en el ciclaje biológico del fósforo (P) proveniente de fuentes orgánicas. Se evaluó el impacto del uso del suelo (forestal y agrícola) y manejo (residuos vegetales) en las formas y distribución de P en un Andisol de Michoacán. Se incluyeron suelos con diferente uso: agrícola y forestal. Al suelo arable se le adicionó residuos vegetales de sorgo, frijol y hojarasca de aguacate. El P del suelo se fraccionó secuencialmente y se cuantificó 1, 45 y 90 días después de la incubación. El P total de los residuos jóvenes (sorgo y frijol) y maduros (aguacate) varió de 2 a 11 mg g⁻¹, respectivamente. En ambos usos del suelo, el P total estuvo representado mayormente por la forma inorgánica (65 a 81 %). Las formas lábiles de P (Bic-Pi y Bic-Po) y moderadamente lábiles (NaOH-Pi) incrementaron con la adición de residuos vegetales (de 29 a 34 y de 65 a 78 mg kg⁻¹). Sin embargo, la fracción orgánica (NaOH-Po) disminuyó en el suelo agrícola. La adición de residuos vegetales no incrementó de inmediato el P biodisponible, pero el suministro de P fue constante debido a la mineralización del Po lábil. Los resultados mostraron que el suelo arable desprovisto de cobertura (calle) afecta el ciclaje de P en Andisoles y confirma el papel fundamental de la capa orgánica en la conservación y biodisponibilidad de P.

PALABRAS CLAVE

Andisol; Formas de fósforo; Mineralización; Agricultura de conservación.

INTRODUCCIÓN

En Michoacán son comunes los suelos de origen volcánico (Andisol), mayormente con uso agrícola y, en menor extensión, forestal (INEGI, 2017). El cambio de uso del suelo y la dependencia de altos insumos agrícolas ha mitigado la calidad del suelo (Maranguit *et al.*, 2017). En particular, la aplicación de fertilizantes químicos en el suelo reduce el contenido de materia orgánica, intensifica la adsorción de fosfato con óxidos de Al, Fe y Ca e inmoviliza los acervos orgánicos de P (Bayuelo-Jiménez *et al.*, 2019). El agotamiento de las reservas disponibles y mineralizables de fósforo (P), consecuente impacta negativamente la productividad del suelo (Maranguit *et al.*, 2017). Diversas estrategias como el uso de residuos vegetales favorecen la mineralización y biodisponibilidad de nutrientes y la producción agrícola.

El uso de residuos vegetales en un sistema agrícola integrado reduce la demanda de fertilizantes fosfatados y, los cultivos posteriores, pueden absorber el P acumulado en la biomasa del cultivo después de su descomposición (Soltangheisi *et al.*, 2020). En general, entre mayor sea la capacidad de la especie vegetal para adquirir el P del suelo, mayor será su contribución en el ciclaje del mismo (Damon *et al.*, 2014). En este estudio se evaluó el impacto del uso del suelo (forestal y agrícola) y manejo (adición de residuos vegetales) en las formas y distribución de P en un Andisol de Michoacán.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio: Se incluyó la localidad de Pablo Cuin, en el municipio de Ario Rosales (19°13' N y 101°39' O), Michoacán. En el sitio prevalecen los suelos de origen volcánico tipo Andisol (Soil Survey Staff, 1999), con reducida disponibilidad de fosfatos ($< 6 \text{ mg P kg}^{-1}$). Se incluyó un suelo con un uso forestal (suelo nativo) y otro contiguo con uso agrícola (suelo cultivado en calle [(Cc) y Cajete (Cj)]). El suelo se obtuvo de un muestreo de 40 puntos a una profundidad de 0-5 cm y de 5-20 cm. Posteriormente, las muestras compuestas se secaron, tamizaron e incubaron por 1, 45 y 90 días para cuantificar las fracciones de P en el suelo y el P proveniente de la biomasa microbiana.

Fraccionamiento secuencial del suelo: Se utilizó el método de fraccionamiento secuencial de P (Hedley *et al.*, 1982) para cuantificar las formas y distribución de P en el suelo, después de 7 d de incubación. En este método se utilizan diversos extractantes, los cuales separan secuencialmente cada forma de P en el suelo. El P inorgánico (Pi) lábil se extrajo con NaHCO_3 0.5M (Bic-Pi). El P unido a sesquióxidos Fe/Al se separó con NaOH 0.1 M ($\text{NaOH}_{0.1}$ -Pi) y NaOH 0.5 M ($\text{NaOH}_{0.5}$ -Pi) (Hedley *et al.*, 1982). El P unido al calcio se extrajo con HCl 1M (HCl-Pi). El P residual se obtuvo con $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ concentrado.

Con la sustracción del P residual y los extractos obtenidos con NaHCO_3 0.5 M, NaOH 0.1 M y NaOH 0.5 M, se obtuvo la forma de P orgánico (Po). Se utilizaron los métodos de Murphy y Riley (1962) y Dick y Tabatabai (1977), para cuantificar el P obtenido de los extractos ácidos y alcalinos, respectivamente.

Análisis estadístico: Se implementó un diseño de bloques completos al azar con parcelas divididas y tres repeticiones por tratamiento. Se utilizó un análisis de varianza para todas las variables de Pi y Po incluidas. Con la prueba de Tukey $P \leq 0.05$ (SAS, 2000), se probaron las diferencias entre las medias de cada una de las variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cambio de uso del suelo de bosque a monocultivo de aguacate afectó la concentración, proporción, distribución y disponibilidad de las formas inorgánicas y orgánicas de P (Figura 1). El P total estimado en el suelo con uso forestal (488 a 553 mg kg^{-1}) fue menor que el obtenido con uso agrícola en cajete (518 a 674 mg kg^{-1}) y calle (432 a 544 mg kg^{-1}). Dichas concentraciones son comunes en Andosoles de la región (490 - 2,488 mg kg^{-1}) (Bayuelo-Jiménez *et al.*, 2019) y constituyen, a largo plazo, un acervo de P. Las formas lábiles de P (Resina-Pi, Bic-Pi y Bic-Po) representaron sólo una pequeña proporción del P total (2 a 13 %); esto debido a la alta capacidad de sorción de los fosfatos en el suelo ácido ($>85 \%$) (Galván-Tejeda *et al.*, 2014).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Además, se modificó por la interacción entre el uso del suelo y la adición de residuos vegetales, particularmente en la superficie (0-5 cm). La adición de residuos incrementó exitosamente las formas lábiles de P (de 5 a 29 %) con respecto al control. El mayor incremento se presentó en la superficie del suelo en calle (23 %) y, en menor proporción en el suelo de cajete (11 %). El efecto de los residuos vegetales ocurrió primordialmente en las fracciones inorgánicas (Bic-Pi). Dicho incremento podría atribuirse a la excreción de ácidos orgánicos y liberación de protones que transforman acervos moderadamente lábiles en formas lábiles de P (Takahashi & Dahlgren, 2016).

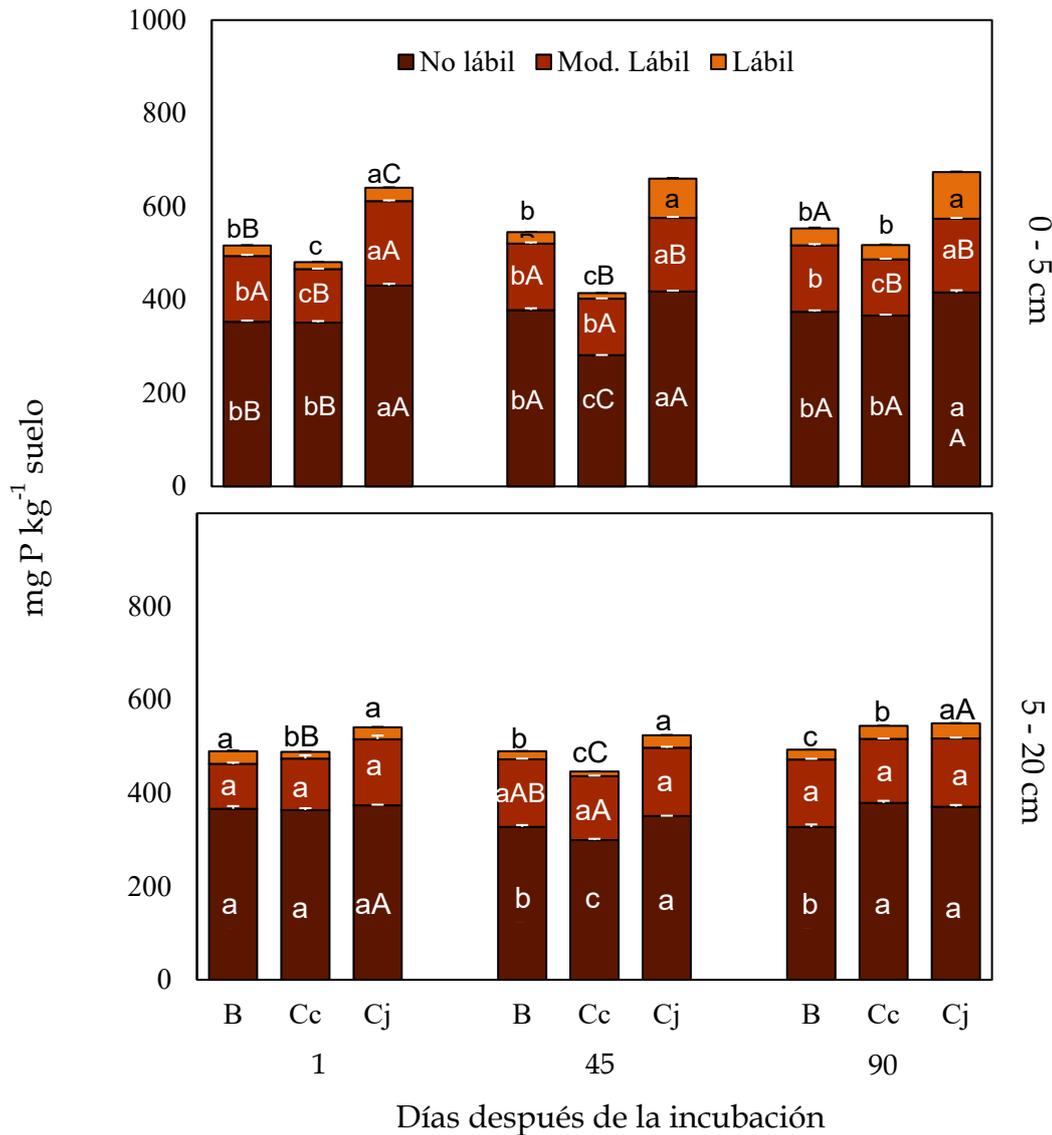


Figura 1. Acervo de fósforo lábil, moderadamente lábil y no lábil en bosque (B) y cultivado en calle (Cc) y cajete (Cj) en el mantillo (0-5 cm) y suelo (5-20 cm). 1, 45 y 90 días después de la incubación. Medias seguidas de diferente letra entre uso del suelo (minúsculas) y tiempo de incubación (mayúsculas), son estadísticamente diferentes entre sí (Tukey, 0.05). Las medias son el promedio de tres repeticiones ($n = 3$).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Similarmente, la adición de residuos favoreció la fracción de P orgánico lábil. La mayor contribución (de 45 a 72 %) se obtuvo en la superficie del suelo cultivado en cajete, mientras que, en el suelo de calle la contribución fue menor (de 18 a 69 %). Las formas moderadamente lábiles de P representaron del 16 a 36 % del P total. Esta proporción fue similar (27 %) a la reportada por Tinoco-Varela y Bayuelo-Jiménez (2021) (27 a 40 %). La mayor proporción de $\text{NaOH}_{0.1}\text{-Pi}$ se registró en la superficie del suelo con la adición de residuos de sorgo (40 %) y frijol (40 %) y disminuyó en el perfil del mismo. En general, el incremento de esta fracción (NaOH-Pi) se asocia linealmente con la actividad del Al^{3+} intercambiable y Fe^{3+} (Bayuelo-Jiménez *et al.*, 2019). De acuerdo con Esberg *et al.* (2019), el NaOH-Pi es una fracción que, en corto tiempo (días a semanas) puede estar biodisponible y, contrario a lo que otros estudios revelan, es de alta labilidad. Sin embargo, la duración de dicha disponibilidad de Pi es reducida, debido a la alta sorción del fosfato con los hidróxidos de Al^{3+} y Fe^{3+} en el suelo (Galván-Tejeda *et al.*, 2014). La adición de residuos vegetales también favoreció la acumulación y distribución de P orgánico moderadamente lábil (NaOH-Po) en la superficie del suelo cultivado en cajete. Es plausible que, un mayor contenido de Po en el suelo cultivado se relacione con el alto contenido de materia orgánica (Velázquez *et al.*, 2016; Maranhuit *et al.*, 2017), la disminución de los sitios de sorción de P (Fe^{3+} y Al^{3+}) e incremento del P microbiano (Maranhuit *et al.*, 2017). Esto es relevante en suelos agrícolas, cuyo contenido de materia orgánica es menor (0.4 a 6.7 %) al registrado en suelos ácidos con uso forestal (2.1 a 25 %) (Galván-Tejeda *et al.*, 2014). A pesar de ello, la alta capacidad de sorción del Po con óxidos de aluminio reduce la mineralización del Po proveniente del residuo vegetal y, por tanto, la disponibilidad de la fracción inorgánica (Damon *et al.*, 2014). En suelos con una alta capacidad de fijación y una reducida disponibilidad de P, la asociación de las raíces con hongos micorrízicos arbusculares, hongos ectomicorrízicos y bacterias solubilizadoras de P, pueden incrementar la desorción de fosfatos y aumentar la adquisición de las reservas de P de moderada labilidad y, favorecer la eficiencia en el uso del nutriente (Cong *et al.*, 2020).

CONCLUSIONES

Los residuos vegetales fueron importantes en el ciclaje de P y constituyeron un componente crítico para el suministro de P lábil (Bic-Pi , Bic-Po) potencialmente disponible para las plantas y los microorganismos del suelo ácido. Otras formas de P de menor labilidad (NaOH-Pi y NaOH-Po) fueron inmovilizadas por los microorganismos del suelo y adsorbidas temporalmente a complejos minerales (los óxidos de Al^{3+} y Fe^{3+}), pero al ser altamente reactivas a la actividad microbiana son una fuente potencial de P lábil en suelos volcánicos de uso agrícola en Michoacán.

AGRADECIMIENTOS

A la Coordinación de Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (6.11/2021-2022). Al Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Michoacán (ICTI-PICIR23-096).

BIBLIOGRAFÍA

Bayuelo-Jiménez, J. S., Muraoka, T., de la Cruz-Torres, E., Quintero-Ponce, E., Paredes-Gutiérrez, L.C., Zaman, M. (2019). Phosphorus fractions and dynamics as affected by land-use changes in the Central M. *Soil Use and Management*, 36, 240-249.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Cong, W.F., Suriyagoda, L.D.B., Lambers, H. (2020). Tightening the Phosphorus Cycle through Phosphorus- Efficient Crop Genotypes. *Trends in Plant Science*, 25, 967-975.
- Damon, P. M., Bowden, B., Rose, T., Rengel, Z. (2014). Crop residue contributions to phosphorus pools in agricultural soils: A review. *Soil Biology & Biochemistry*, 74, 127-137.
- Dick, W. A., Tabatabai, M. A. (1977). Determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. *Journal of Environmental Quality*, 6, 82-85.
- Esberg, C., du Toit, B., Olsson, R., Ilstedt, U., Giesler, R. (2019). Microbial responses to P addition in six South African forest soils. *Plant Soil* 329, 209–225.
- Galván-Tejeda, N. D., Peña-Ramírez, V., Mora-Palomino, L., Siebe, C. (2014). Soil P fractions in a volcanic soil chronosequence of Central Mexico and their relationship to foliar P in pine trees. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177, 792–802.
- Hedley, M. J., Stewart, J. W. B., Chauhan, B. S. (1982). Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Science Society of America Journal*, 46, 970-976.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2017). Anuario estadístico y geográfico de Michoacán de Ocampo 2017.
- Mackey, K. R. M., Paytan, A. (2009). Phosphorus cycle. En: *Environmental Microbiology and Ecology*. (3ª Ed.) (pp: 322-334). Oxford: Academic Press.
- Maranguit, D., Guillaume, T., Kuzyakov, Y. (2017). Land-use affects phosphorus fractions in highly weathered tropical soils. *Catena*, 149, 385-393.
- Murphy, J. & Riley, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in nature waters. *Analytica Chimica Acta*, 27, 31-36.
- Richardson, A. E., Simpson, R. J. (2011). Soil microorganisms mediating phosphorus availability. *Plant Physiology* 156, 989-996.
- SAS Institute. 2000. SAS/SAT user's guide: statistics. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Soil Survey Staff. (1999). Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for marking and interpreting soil survey. Agriculture Handbook 436. United Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Washington, D. C. United States.
- Takahashi, T., y Dahlgren, R. A. (2016). Nature, properties and function of aluminum-humus complexes in volcanic soils. *Geoderma*, 263, 110-121.
- Soltangheisi, A., Bettoni-Teles, A. P., Sartor, L. R., Pavinato, P. S. (2020). Cover cropping may alter legacy phosphorus dynamics under long-term fertilizer addition. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 1-12.
- Tinoco-Varela, D., Bayuelo-Jiménez, J. S. (2021). Formas y distribución de fósforo en un Andisol con sistemas contrastantes de uso del suelo del centro de México. *Terra Latinoamericana* 39, 1-11.
- Velázquez, G., Calabi-Floody, M., Poblete-Grant, P., Rumpel, C., Demanet, R., Condrón, L., Mora, M. L. (2016). Fertilizer effects on phosphorus fractions and organic matter in Andisols. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16, 294–304.

METABOLITOS ASOCIADOS A BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO AISLADAS DE RIZOSFERA Y SU POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO

Carmen Abril Ojeda Aldana¹; Juan Carlos Camacho Chab^{1*}; Manuel Jesús Chan Bacab¹; Rodrigo Enrique Tun Che¹; Katia Irasema Cob Rivera²; Gustavo Enrique Mendoza Arroyo²; Benjamín Otto Ortega Morales¹

¹Centro de Investigación en Microbiología Ambiental y Biotecnología (CIMAB), Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar s/n entre calle 20 y Juan de la Barrera, Col. Buenavista, C.P 24039. Campeche, México.

²Laboratorio de Usos Múltiples. Instituto Tecnológico de Chiná, Calle 11 s/n entre 22 y 28, C.P. 24520. Chiná, Campeche, México.

* Autor de correspondencia: juanccam@uacam.mx

RESUMEN

La solubilización de fósforo mediada por microorganismos puede ser a través de cuatro mecanismos diferentes, los cuales son: la producción de ácidos orgánicos, la excreción de sustancias poliméricas extracelulares, la síntesis de enzimas fosfatasas y la producción de sideróforos. Tomando en cuenta del potencial biotecnológico que representan metabolitos como los sideróforos, en el presente estudio se procedió a evaluar dieciseis cepas bacterianas, las cuales en un trabajo anterior fueron positivas a la solubilización de fosfato inorgánico, evaluando en esta investigación la producción de enzimas fosfatasas y de sideróforos, con la finalidad de valorar a corto plazo el potencial biotecnológico de estos metabolitos. La determinación de la actividad fosfatasa se realizó mediante el ensayo de sustrato p-nitrofenil fosfato, la producción cualitativa de sideróforos fue a través del ensayo de agar-CAS, y las cepas que dieron positivo en el ensayo agar-CAS se les determinó la estimación porcentual de unidades de sideróforos producidos. Los resultados de los ensayos mostraron que cuatro cepas bacterianas sintetizan enzimas fosfatasas. Las cepas TS6B-02, TS6B-05 y TS6B-20 dieron positivo en el ensayo de agar-CAS y la estimación de las unidades porcentuales de sideróforos mostraron una producción superior al 70% lo que representa una cantidad considerable de producción de estos metabolitos, los cuales se pretende ahora establecer una estrategia de aislamiento y caracterización para valorar finalmente su potencial biotecnológico.

PALABRAS CLAVE

Agar CAS; Enzimas fosfatasas; Sideróforos.

INTRODUCCIÓN

Las rizobacterias han sido ampliamente estudiadas por el rol que representan en la interacción con las plantas y el suelo, ya sea por que contribuyen a la fertilización de los suelos o por que promueven el crecimiento de las plantas a través de diferentes mecanismos (Liu *et al.*, 2023). En cuanto a la fertilización de suelos, la solubilización de fósforo es uno de los temas principales en todos los campos que convergen en el estudio del suelo. En microbiología de suelos, se reconoce que existen cuatro mecanismos diferentes para la solubilización de fósforo por parte de las bacterias, los

cuales son: la producción de ácidos orgánicos, la excreción de sustancias poliméricas extracelulares, la síntesis de enzimas fosfatasas y la producción de sideróforos (Khan *et al.*, 2014). Específicamente, en cuanto a los sideróforos, estos son metabolitos secundarios secretados por las bacterias para quelar el hierro a su disposición a partir de compuestos como el fosfato de hierro en suelos. Los sideróforos han tenido aplicación en múltiples campos derivado a las características por su naturaleza química en la ecología microbiana, algunos siendo considerados moléculas con potencial antimicrobiano, entre otras aplicaciones (Raio, 2021). En un trabajo realizado por Mendoza *et al.*, (2020) llevaron a cabo el aislamiento de bacterias solubilizadoras de fosfato de suelos de agroecosistemas, destacando el estudio con la bacteria identificada como *Enterobacter* sp. ITCB-09 por la mayor tasa de solubilización mediante la producción de ácidos orgánicos y sideróforos. Por lo anterior, en el presente estudio se procedió a evaluar las otras cepas aisladas que solubilizaron fosfato, evaluando la producción de enzimas fosfatasas y de sideróforos, con la finalidad de valorar a corto plazo el potencial biotecnológico de estos metabolitos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cepas bacterianas y cultivo

Dieciseis cepas bacterianas fueron reactivadas en cajas de agar de soya y tripticaseína (TSA) por 24 horas a 28 ± 2 °C. Estas cepas fueron caracterizadas por morfología colonial y celular confirmando lo reportado en su aislamiento. Una vez confirmadas las características se realizaron los ensayos posteriores. Estas cepas se aislaron de la rizosfera de suelos de agroecosistemas del rancho Xamantún perteneciente al Instituto Tecnológico de Chiná, en un área de cultivo de palma, el cual se localiza a 21 km de la ciudad de San Francisco de Campeche y a 13 km del poblado de Chiná, municipio de Campeche.

Evaluación de la producción de enzimas fosfatasas

La determinación fue realizada mediante la modificación del método establecido por Malo *et al.*, (2014). Las cepas se inocularon en caldo de soya y tripticaseína (TSB) y caldo de papa dextrosa (PDB) durante 48 horas, por triplicado. Posteriormente, a través de centrifugación a 6,000 RPM durante 10 min., se obtuvo la biomasa y se agregó 1 mL de buffer Tris-HCl al pellet. La lisis celular se realizó en un baño de ultrasonido a 40 kHz/seg durante 10 min., la solución final fue centrifugada a 6,000 rpm durante 10 min. En viales de vidrio se adicionó 200 μ L del extracto celular y 350 μ L de sustrato p-nitrofenil fosfato y se incubó 30 min. a 35 °C. Se realizó un control con 200 μ L del buffer y 300 μ L de reactivo p-nitrofenil fosfato. La producción de enzimas fosfatasas se confirmó con un cambio de coloración amarillo en contraste con el control que permaneció sin cambio de coloración.

Determinación cualitativa de la producción de sideróforos

La producción de sideróforos de las cepas bacterianas fue determinada cualitativamente a través del crecimiento en medio de cultivo agar cromo azurol sulfonato (CAS), de acuerdo con el protocolo descrito por Loudon *et al.*, (2011). Las cepas bacterianas se cultivaron en agar-CAS por 24 horas a 28 ± 2 °C. Posteriormente, se corroboró la producción de sideróforos, verificando que en el desarrollo bacteriano se presentará un cambio de color en el medio de cultivo, de color azul a color rojo-rosa. Como control positivo se utilizó la bacteria *Escherichia coli*.

Estimación de unidades porcentuales de sideróforos (PSU)

Una vez confirmada la producción de sideróforos en el agar-CAS, se estimaron las PSU de acuerdo al protocolo descrito por Arora y Verma (2017). Las cepas bacterianas TS6B-02, TS6B-05, TS6B-20 y *Enterobacter sp.* ITCB-09, incluyendo *Escherichia coli* (control positivo), se cultivaron en TSA por 24 horas. Posteriormente se inoculó cada cepa en TSB, por triplicado, e incubados durante 48 horas a 28 ± 2 °C en agitación constante. Transcurrido el tiempo, se ajustó la densidad celular de los cultivos a 10^8 cfu/mL y se centrifugaron obteniendo la fracción sobrenadante. En proporción 1:1 sobrenadante y reactivo CAS, realizado a través de la modificación de la metodología descrita por Louden et al., (2011). Posteriormente, tras la incubación, se analizó por cada cepa bacteriana la densidad óptica en espectrofotómetro a 630nm para estimar la producción de sideróforos mediante la aplicación de la fórmula:

$$\% \text{ unidades de sideróforos} = \frac{A_r - A_s}{A_r} \times 100$$

Donde:

Ar: Absorbancia de referencia a 630 nm (blanco).

As: Absorbancia de la muestra a 630 nm

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de cepas bacterianas y producción de enzimas fosfatasas

Los resultados de la actividad fosfatasa, mostraron que 4 cepas, de las 16 evaluadas, dieron positivo al ensayo de determinación de esta actividad enzimática (Tabla 1).

Tabla 1. Caracterización de las cepas seleccionadas y resultado de la actividad de enzimas fosfatasas.

Cepa	Tinción de Gram	Morfología celular	Resultado de actividad fosfatasa
TS6B-01	-	Coco	-
TS6B-02	-	Coco	+
TS6B-04	-	Coco	-
TS6B-05	-	Coco	+
TS6B-06	-	Coco	-
TS6B-07	-	Coco	-
TS6B-08	-	Coco	-
TS6B-09	-	Coco	-
TS6B-12	-	Coco	-
TS6B-15	-	Coco	-
TS6B-16	-	Coco	-
TS6B-19	-	Coco	-
TS6B-20	-	Coco	+
TS6B-21	-	Coco	-
TS6B-26	-	Coco	+
TS6B-27	-	Coco	-

Determinación cualitativa de la producción de sideróforos

Tras la siembra de las 16 cepas bacterianas en el medio de cultivo agar CAS, solamente las cepas TS6B-02, TS6B-05 y TS6B-20 presentaron un cambio de color en el medio de cultivo, siendo esto indicativo a la producción de sideróforos (Figura 1), además de la cepa *Enterobacter sp.* ITCB-09 que también presentó cambio en el color del medio CAS.

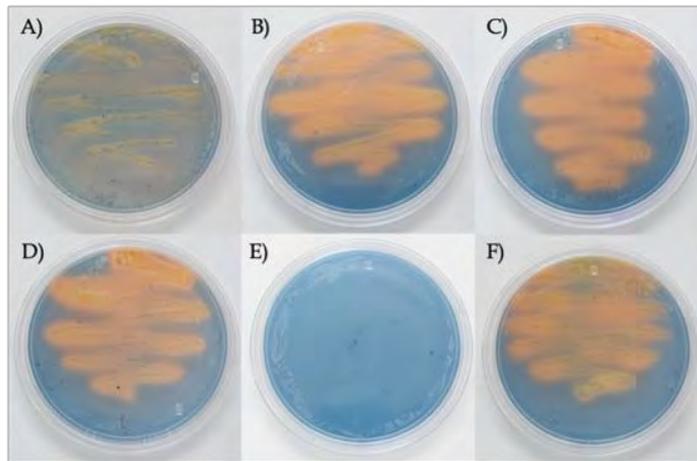


Figura 1. Evaluación de producción de sideróforos en medio de cultivo en agar CAS. A) *Enterobacter sp.* ITCB-09, B) TS6B-02, C) TS6B-05, D) TS6B-20, E) Medio CAS sin siembra (control negativo) y F) *E. coli* (control positivo).

Estimación de unidades porcentuales de sideróforos (PSU)

La estimación de las unidades porcentuales de sideróforos mostraron que las cepas evaluadas alcanzaron valores superiores al 70% (Figura 2).

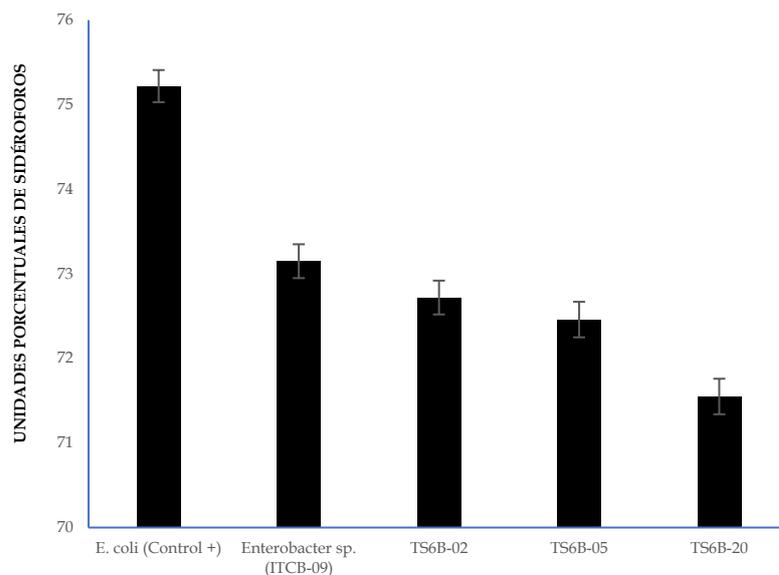


Figura 2. Resultados de la estimación de las UPS de las cepas bacterianas evaluadas.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Se observó que la cepa *Enterobacter sp.* ITCB-09 presentó la mayor capacidad de producción de sideróforos (Figura 2). La concentración de sideróforos producidos por la cepas en general fue superior al 70%, dado que el ensayo establece cuanto hierro se puede capturar mediante los sideróforos producidos, cuanto mayor sea el valor de PSU, mayor será la capacidad de un organismo para adquirir hierro a través de estas moléculas (Arora y Verma., 2017). De esta manera, los porcentajes de PSU sugieren una buena producción de sideróforos de las cepas evaluadas.

CONCLUSIONES

En base al análisis de las cepas bacterianas TS6B-02, TS6B-05, TS6B-20 y *Enterobacter sp.* ITCB-09, provenientes de muestras de suelo se demostró la capacidad de solubilización de fosfato a través de la sinergia de los microorganismos por la producción de enzimas fosfatasas y producción de sideróforos; moléculas que podrían contribuir a la nutrición vegetal y por ende al crecimiento de plantas, a la salud del suelo y al control de patógenos, pudiendo considerarse alternativas biosostenibles. Lo que contribuye a la investigación favorablemente para la continuidad en la búsqueda de la optimización de la producción de sideróforos, así como la realización de más análisis para su aplicabilidad biotecnológica.

BIBLIOGRAFÍA

- Arora, N. K., & Verma, M. (2017). Modified microplate method for rapid and efficient estimation of siderophore produced by bacteria. *3 Biotech*, 7(6). <https://doi.org/10.1007/s13205-017-1008-y>
- Khan, M. S., Zaidi, A., & Ahmad, E. (2014). Mechanism of Phosphate Solubilization and Physiological Functions of Phosphate-Solubilizing Microorganisms. *Phosphate Solubilizing Microorganisms*, 31 - 62.
- Liu, Y., Xiong, Z., Wu, W., Ling, H-Q., & Kong, D. (2023). Iron in the Symbiosis of Plants and Microorganisms. *Plants*. 12(10), 1 - 12. <https://doi.org/10.3390/plants12101958>
- Louden, B. C., Lynne, A. M., & Haarmann, D. (2011). Use of Blue Agar CAS Assay for Siderophore Detection. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 12(1), 51 - 53. <https://doi.org/10.1128/jmbe.v12i1.249>
- Malo, M. S., Moaven, O., Muhammad, N., Biswas, B., Alam, et al. (2014). Intestinal alkaline phosphatase promotes gut bacterial growth by reducing the concentration of luminal nucleotide triphosphates. *American Journal of Physiology. Gastrointestinal and liver physiology*, 306(10), G826-G838. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.00357.2013>
- Mendoza-Arroyo, G. E., Chan-Bacab, M. J., Aguila-Ramírez, R. N., Ortega-Morales, B. O., Canché Solís, R. E., Chab-Ruiz, A. O., & Camacho-Chab, J. C. (2020). Inorganic Phosphate Solubilization by a Novel Isolated Bacterial Strain *Enterobacter sp.* ITCB-09 and Its Application Potential as Biofertilizer. *Agriculture*, 10(9), 383. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090383>
- Raio, A., & Puopolo, G. (2021). *Pseudomonas chlororaphis* metabolites as biocontrol promoters of plant health and improved crop yield. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 37(6). <https://doi.org/10.1007/s11274-021-03063-w>

NANOPARTICULAS DE HIDROXIAPATITA COMO BIOESTIMULANTE EN PIMIENTO MORRÓN

Jessica Janeth Rocha Santillano¹; Sergio Arturo Ortiz Diaz². Juan Manuel Nava Santos¹, Pablo Preciado Rangel^{1*}

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Periférico Raúl López Sánchez y Carretera Santa Fe S/N, Torreón, Coahuila, México. C.P.27010. ²Tecnológico Nacional de México-Campus Instituto Tecnológico de Torreón. Carretera Torreón-San Pedro km 7.5, ejido Ana, Torreón, Coahuila, México. CP. 27170. *Autor de Correspondencia: ppreciador@yahoo.com.mx

RESUMEN

Las nanopartículas de hidroxiapatita (nHAp) obtenidas a partir de roca fosfórica pueden ser utilizadas como bioestimulante en la agricultura sostenible. Se estableció un trabajo experimental con el propósito de cuantificar la influencia de nHAp sobre la biosíntesis de compuestos fitoquímicos en frutos de pimiento morrón, se aplicaron foliarmente cinco dosis de nHAp: 500, 1 000, 1 500 y 2 000 mg L⁻¹ y un tratamiento control. La aspersión foliar de nHAp mejora significativamente la biosíntesis de compuestos bioactivos. La bioestimulación con nHAp en plantas de pimiento es una alternativa que permite incrementar la calidad nutraceútica del fruto; no obstante, es necesario explorar dosis más altas para conocer con mayor claridad sus efectos sobre el cultivo.

PALABRAS CLAVE

Bioestimulación; Compuestos fitoquímicos; Nanomateriales; Nanotecnología.

INTRODUCCIÓN

El fósforo (P) es un macronutriente primario esencial para las plantas y es común que su deficiencia en el suelo limite el rendimiento de los cultivos (Aziz *et al.*, 2014); por lo tanto, para mantener el rendimiento de los cultivos es necesario la utilización de fertilizantes fosfatados; sin embargo, estos presentan baja recuperación de alrededor del 20% (Simpson *et al.*, 2011).

En este sentido los nanofertilizantes pueden ser considerados en la agricultura sostenible por sus bajas dosis y altas tasas de liberación de nutrientes (Lira-saldivar *et al.*, 2018). Las sales de fosfato solubles sintéticas de tamaño nanométrico mejor conocidas como nanopartículas de hidroxiapatita (Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂; (nHAp) a base de roca fosfórica (Banotra *et al.*, 2017), pueden ser utilizadas como una alternativa en la agricultura sostenible como nanofertilizante.

Existen suficientes reportes en la literatura sobre lo anteriormente señalado como el de Marchiol *et al.* (2019) quienes hacen mención que la nHAp suministra el suficiente P a los cultivos, con menor impacto ambiental, evitando la sobre fertilización en los sistemas tradicionales de producción, disminuyendo la degradación de los recursos naturales y un desequilibrio en la biodiversidad (Agarwal *et al.*, 2017). En *Triticum aestivum* se ha utilizado como fertilizante fosfatado con excelentes resultados debido a su tamaño nanométrico permite mayor movilidad en el suelo, facilitando así su

asimilación por las raíces de la planta. Flores-Hernández *et al.* (2021), demostraron que el uso de las nHAp en dosis bajas promueve la generación de biomasa en *Raphanus sativus*. Su utilización en *Ficus carica*, promueve la obtención de frutos de mayor peso y tamaño, además con un mayor contenido de compuestos fenólicos, lo que indica su efectividad como nanofertilizante y nanobioestimulante (Azpeitia *et al.*, 2022).

El pimiento morrón (*Capsicum spp.*) es una hortaliza que presenta un alto contenido nutraceútico (ácido ascórbico, carotenos, fenoles, capsaicinoides, xantofilas y flavonoides, antioxidantes) (Arzube *et al.*, 2022). Estas características lo hacen un cultivo muy demandado; por lo cual en este trabajo de investigación se planteó el objetivo de cuantificar el efecto de la aplicación foliar de nHAp sobre la biosíntesis de compuestos bioactivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio y material vegetal

El estudio fue establecido en un invernadero del Instituto Tecnológico de Torreón, Torreón. Plántulas de chile pimiento morrón v. Hunter (Syngenta®), se colocaron en macetas de 15 L, el cual contenía una mezcla de arena y perlita (80:20;v:v), la densidad de plantación fue de 4 plantas/m².

Nanopartículas

Las nHAp fueron donadas por el Centro de Investigación en Química Aplicada de la Ciudad de Saltillo, Coahuila México, obtenidas por reacción de precipitación química húmeda mediante el procedimiento descrito por Flores-Hernández *et al.* (2021).

Tratamiento y diseño experimental

Los tratamientos consistieron en la aplicación foliar de cuatro dosis crecientes de nHAp: 500, 1 000, 1 500 y 2 000 mg L⁻¹ y el control (agua desionizada). Cada tratamiento con 7 repeticiones, con un total de 35 unidades experimentales. Las aplicaciones se realizaron cada 15 días después del trasplante hasta la cosecha. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar.

Fenoles totales

Para fenoles totales (FT), se utilizó el método de Folin-Ciocalteu (Singleton, y Lamuela, 1999). Las muestras se cuantificaron por espectrofotometría (UV-vis) a 765 nm y la expresión de resultados en mg equivalentes AG 100 g⁻¹ (PF).

Flavonoides totales

Los flavonoides (F), se cuantificaron mediante colorimetría (Zhishen, Mengcheng, y Jianming, 1999). La absorbancia se midió a 510 nm utilizando espectrofotometría (UV-vis) y la expresión de los resultados en mg QE g⁻¹ (PF).

Ácido ascórbico

La concentración del ácido ascórbico (AB) se cuantificó siguiendo el procedimiento indicado por Klein y Perry (1982), en un espectrofotómetro a una absorbancia de 515 nm, expresando los resultados se cómo mg 100 g⁻¹ (PF).

Análisis estadístico

Para el análisis de los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza y la separación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Compuestos bioactivos

El pimiento morrón es un fruto de alto consumo (Jurado, 2022), por lo tanto, el incremento de compuestos bioactivos es deseable en este cultivo ya que estas características mejoran su calidad (Schiavon *et al.*, 2020). Nuestros resultados mostraron que las aplicaciones foliares de nHAp incrementan los compuestos bioactivos en el fruto de pimiento morrón. El más alto contenido de fenoles totales correspondió a la dosis de 2 000 mg L⁻¹ superando 30.03% al tratamiento control (Figura 1 a). Los fenólicos fueron afectados positivamente por los distintos tratamientos evaluados, la dosis más alta de nHAp presentó mayor concentración de este compuesto, teniendo un incremento de 33.4% respecto al control. Dosis altas de NPs inducen una alteración oxidativa y estimulan la síntesis de compuestos no enzimáticos como en este caso de estudio en donde la síntesis de compuestos fenólicos y flavonoides (Zafar *et al.*, 2016). Azpeitia *et al.* (2022), indican que la aplicación de nHAp mejora los compuestos bioactivos en frutos.

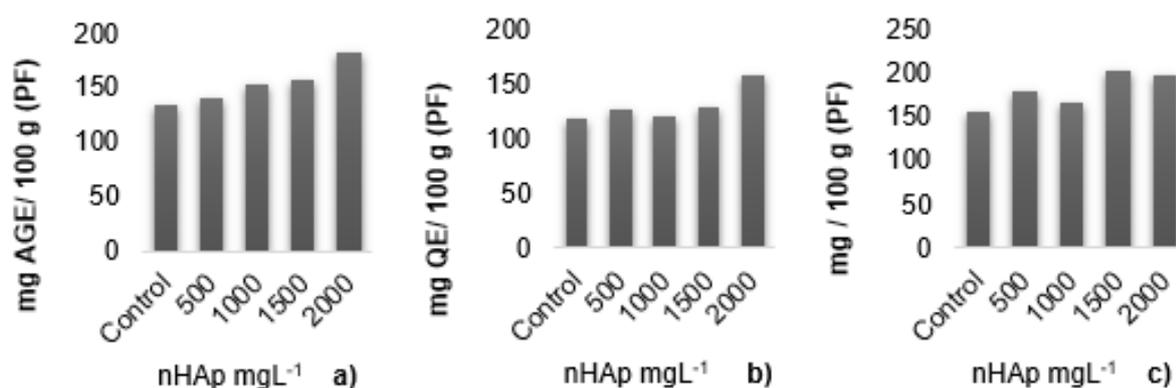


Figura 1. Valores promedio de a) fenoles, b) flavonoides y c) vitamina C en fruto de pimiento morrón, por efecto de la aspersion foliar de nHAp.

Ácido ascórbico

El contenido de ácido ascórbico, fue afectado por la aplicación de nHAp, destacando las dosis de 1 500 y 2 000 mg L⁻¹, presentaron el mayor contenido de vitamina C en los frutos (Figura 1c), superando al control en un 30.44 y 26.92%, respectivamente. Los frutos de pimiento presentan una gran cantidad de vitamina C, ya que el consumo de 100 g proporciona de 100 a 200% del ácido ascórbico recomendado en la dieta nutrimental diaria de la población (Castellanos *et al.*, 2017).

Este estudio mostró que las nHAp aumentaron el contenido de ácido ascórbico en los frutos; se ha reportado que este aumento en la vitamina C, es debido a una estimulación por parte de las NPs en el aparato fotosintético y de esta manera protegerlo de la alta radiación en los complejos captadores de luz desarrollándose el ciclo de la xantofila (Paciolla *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES

La aspersión foliar de nHAp actuó positivamente en la calidad fitoquímica en pimiento morrón. La aspersión foliar de dosis altas de nHAp (1 500 y 2 000 mg L⁻¹) aumenta el contenido de compuesto bioactivos (fenoles, flavonoides y vitamina C) en los frutos.

BIBLIOGRAFÍA

- Agarwal, H., Kumar, S.V. y Rajeshkumar, S. (2017). Revisión de la síntesis ecológica de nanopartículas de óxido de zinc: un enfoque respetuoso con el medio ambiente, *Applied Materials*, 3(4), 406-413. DOI: 10.1016/j.refit.2017.03.002.
- Alzube, A.V.M., Ramos, G.N.V. y Villa, L.D.P. (2022). Evaluación del contenido de ácido ascórbico en pimientos rojos y amarillos ecuatorianos (*Capsicum annuum* L.), *Revista de la Universidad de Guayaquil*, 134(1), 1-11. DOI: 10.53591/rug.v134i1.1415.
- Aziz, T., Sabir, M., Farooq, M., Maqsood, M.A., Ahmad, H.R. y Warraich, E.A. (2014). Deficiencia de fósforo en plantas: respuestas, mecanismos adaptativos y señalización, señalización de plantas: comprensión del entrelazamiento molecular. Hakim, K., Lehman, R., Tahir, Í., editores. Springer: Nueva Delhi, India, 133-148. PIB: 10.1007/978-81-322-1542-4-7
- Apetia, C.H.M. (2022). Evaluación de la calidad de nanopartículas de calcio, silicio e hidroxiapatita de higo (*Ficus carica* L.) producidas en dos concentraciones en invernadero. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, México.
- Banotra, M., Kumar, A., Sharma, B.C., Nandan, B., Verma, A., Kumar, R., Gupta, V. y Bhagat, S. (2017). Descripción de las aplicaciones de la nanotecnología en la agricultura: una revisión, *Revista Internacional de Microbiología y Ciencias Aplicadas Contemporáneas*, 6 (12), 1541 - 1551. DOI: 10.20546/jcmas.2017.612.172.
- Castellanos, J.Z., Cano, R.P., García, C.E.M., Oralde, P. 5. Preciado, R.P., Rós, P.J.L. y García, H. JL (2017). Crecimiento del ají (*Capsicum annuum* L.), rendimiento de frutos y uso eficiente de los recursos de nutrientes orgánicos, *Compost Science and Use*, 25, S70-S77. DOI: 10.1080/1065657X.2017.1362673.
- Flores-Hernández, E.A., Ruiz-Torres, N.A. (2021). Síntesis de nanopartículas de hidroxiapatita y sus efectos en plantas de rábano. *Ecosistemas y recursos agrícolas*, 8(1), 27-47. DOI:10.19136/era.08n12747
- El jurado, Z.A. (2022). Evaluación del proceso de absorción de zinc como corrector de clorofila en plantas de pimiento (*Capsicum annun* L.). *Artículos profesionales*. Universidad de Agricultura ntawm Ecuador. Milagro, Ecuador.
- Klein, B.P. y Perry, A.K. (1982). Actividades del ácido ascórbico y la vitamina A en vegetales seleccionados de diferentes regiones de los Estados Unidos, *Journal of Food Science*, 47(3), 491-495. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1982.tb12750.x.
- Lira-Saldivar, R.H., Méndez-Argüello, B., Santos-Villarreal, G.D.L. ve Vera-Reyes, I. (2018). El potencial de la nanotecnología en la agricultura, *Universities Journal*, 28(2), 9-24. DOI: 10.15174/au.2018.1575.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Marchiol, L., Filippi, A., Adamiano, A., Degli, E. L., Iafisco, M., Mattiello, A. y Braidot, E. (2019). Efectos de las nanopartículas de hidroxapatita sobre la germinación y el metabolismo de las plantas del tomate (*Solanum lycopersicum* L.): evidencia, *Agronomía*, 9(4), 1-61. DOI: 10.3390/Agricultura9040161.
- Paciolla, C., Fortunato, S., Dipierro, N., Paradiso, A., De Leonardis, S., Mastropasqua, L. y De Pinto, M.C. (2019), 8 (11), 519. DOI: 10.3390 / antiox8110519.
- Schiavon, M., Nardi, S., Schiavon, M., Nardi, S., Vecchia, F. y Ertani, A. (2020). Biofortificación de selenio en el siglo XXI: Dalla- estado actual y desafíos en la salud humana, *Plantas y Suelos*, 453(3), 1-26. DOI: 10.1007/s11104-020-04635-9.
- Simpson, R.J., Oberson, A., Calvina, R.A., Ryan, MH, Venekras, EJ, Lamberth, H., Lynch, J. P., Ryan, P. R., Delhaize, E. y Smith, F. A. (2011). Estrategias e intervenciones agrícolas para aumentar la eficiencia del uso del fósforo en la agricultura, *Plantas y Suelos*, 349, 89-120. PIB: 10,1007/s11104-011-0880
- Singleton, V., Orthofer, R. y Lamuela, R.M. (1999). Análisis de fenoles totales y otros sustratos oxidativos y antioxidantes mediante reactivo de Folin-ciocalteu. *Métodos en enzimología*, 299(7), 152-178. DOI: 10.1016/S0076-6879(99)99017-1.
- Zafar, H., Ali, A., Ali, J. S., Haq, I. U. y Zia, M. E. (2016). Efectos de las nanopartículas de ZnO en plántulas y explantes de raíces de mostaza negra: cinética de crecimiento y respuestas antioxidantes, *Frontiers in Plant Science*, 7, 535-536. DOI: 10.3389/fpls.2016.00535.
- Zhishen, J., Mengcheng, T., Jianming, W. (1999). Examen de la actividad antioxidante de los flavonoides de fuentes naturales, *Food Chemistry*, 64, 555-559. DOI: 10.1016/S0308-8146(98)00102

NANOPRIMING CON MOLIBDENO-ZINC SOBRE LA GERMINACIÓN, EMERGENCIA E ÍNDICE DE VIGOR EN TRES PORTAINJERTOS DE NOGAL PECANERO

Julio César Anchondo-Paez¹; Esteban Sánchez-Chávez^{1*}; Damaris Leopoldina Ojeda-Barrios²; Ezequiel Muñoz-Márquez¹; Celia Chávez-Mendoza¹; Sandra Pérez-Álvarez³

¹ Centro de investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Av. 4ta Sur 3820, Fracc. Vencedores del Desierto. Cd Delicias, Chihuahua. México. C.P.33089

² Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua. Av. Pascual Orozco s/n, Campus 1, Santo Niño, Chihuahua, Chihuahua. México. C.P. 31310

³ Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad Autónoma de Chihuahua. Km. 2.5 Carretera Delicias a Rosales, Delicias, Chihuahua. México. C.P. 33000.

*Autor de correspondencia: esteban@ciad.mx

RESUMEN

El nanopriming es una herramienta que podría elevar la tasa y velocidad de emergencia de las semillas e incrementa su resistencia a factores abióticos. Esto es especialmente importante en el establecimiento de huertas de nogal pecanero a través de portainjertos. El objetivo del presente trabajo fue evaluar los efectos del nanopriming con Mo-Zn a 0, 5, 10 y 20 mg L⁻¹ sobre la tasa y velocidad de germinación e índice de vigor de la emergencia por longitud de tres portainjertos de nuez pecanera usados en Chihuahua: Criolla, Riverside y Pawnee. Las semillas de los portainjertos fueron sumergidas en soluciones a 0, 5, 10 y 20 mg L⁻¹, a los 21 días después de la siembra se evaluaron la tasa y velocidad de emergencia e índice de vigor por longitud. Los resultados indican para la variable germinación, el nanopriming no presentó efectos significativos en la interacción portainjerto-dosis. En cuestión del índice de vigor, la interacción portainjerto-dosis fue significativa, con los tratamientos Riverside 20 mg L⁻¹ (13.9) y Criollo 20 mg L⁻¹ (10.36) superiores a Pawnee 5 mg L⁻¹ (1.43 IDV). Con respecto al índice de velocidad de germinación, Riverside a 20 mg L⁻¹ mostró el mayor valor numérico comparados con los demás tratamientos. Los portainjertos Riverside y Pawnee a 20 mg L⁻¹ podrían ser utilizados en campo para incrementar el índice de vigor y resistencia de dichos portainjertos.

PALABRAS CLAVE

Carya illinoensis; Micronutrientes; Nanofertilizante.

INTRODUCCIÓN

La elección y adecuado manejo de los portainjertos en un paso crucial para el desarrollo del árbol de nogal pecanero. Esto es debido a que un portainjerto con cualidades genéticas apropiadas y un crecimiento vegetativo adecuado son importantes para el establecimiento de una huerta nogalera. El nanopriming podría ayudar a reducir los tiempos de germinación, mediante la utilización de nanomateriales para impulsar la germinación de las semillas. Los nanomateriales pueden incluir elementos como el zinc (Zn) y el molibdeno (Mo), mismos que son

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

micronutrientes esenciales para el metabolismo vegetal (Suganya *et al.*, 2020). Sin embargo, existe escasa literatura sobre el nanopriming en especies leñosas como el nogal pecanero. El objetivo del presente trabajo es determinar el efecto de diferentes dosis de un nanofertilizante de Mo-Zn sobre la emergencia, índice de vigor por longitud y la velocidad de emergencia de tres portainjertos de nogal establecidos en Chihuahua (Criolla, Riverside y Pawnee).

MATERIALES Y MÉTODOS

Manejo del cultivo

El experimento fue realizado en Nuevo San Lucas, Chihuahua, México (28°35'72"N, -105°56'8 6"O). Para ello se utilizaron los portainjertos nogal pecanero "Criollo", "Pawnee" y "Riverside", estratificadas un mes previo al inicio del trabajo (5°C). Asimismo, la escarificación manual de las semillas por eliminación mecánica del ápice sin dañar el embrión para posteriormente sumergirlas en soluciones que contenían nanofertilizante Broadacre® Mo-Zn a 0, 5, 10 y 20 mg L⁻¹ por 10 h. Posteriormente, se procedió a la siembra en bolsas de plástico de 20 L rellenas con vermiculita y perlita en proporción 2:1 (v/v). Se aplicó agua y nutrientes con la solución de Hoagland al 33% con un gasto diario de 1 L (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de las características de la solución nutritiva.

Cationes (mg L ⁻¹)	Aniones (mg L ⁻¹)	Salinidad y sodicidad
Calcio (71.16)	Carbonatos (0)	pH (7.32)
Magnesio (8.64)	Bicarbonatos (328.66)	Conductividad eléctrica (0.750 dS/m)
Sodio (82.61)	Sulfatos (98.42)	Porcentaje de sodio (44.90%)
Potasio (4.68)	Cloruros (19.58)	Salinidad efectiva (3.71 Meq)
Boro (0.14)		Clasificación (C2-S1)

Germinación

Las primeras nueces germinaron a partir de los 21 días después de la siembra (DDS) y fue calculada mediante la siguiente ecuación (1):

$$emergencia = \frac{\text{Semillas sembradas}}{\text{Semillas germinadas}} \times 100 \quad (1)$$

Índice de vigor por longitud

El índice de vigor fue evaluado en función de la longitud de la plántula y mediante la ecuación (2). El índice de vigor de la plántula fue expresado como longitud de la plántula medida desde el nivel del sustrato hasta el ápice.

$$\text{Índi de vigor de la semilla (longitud)} = emergencia \times longitud \text{ de la plántula} \quad (2)$$

Índice de velocidad de germinación

El índice de velocidad de emergencia (IDVG) fue definida a través de la ecuación (3) y utilizando el porcentaje de emergencia de las semillas en el día- i después de la siembra:

$$IDVG = \frac{\sum(\text{Porcentaje de emergencia día } i)}{\text{día } i} \quad (3)$$

Análisis estadístico

Para determinar la existencia de diferencias significativas entre variables, se utilizó un ANOVA bifactorial ($p \leq 0.05$). En aquellos casos donde se encontró diferencias se realizó la prueba de separación de medias (Tukey, $p \leq 0.05$). En todos los casos se utilizó el programa estadístico SAS versión 9.0

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Germinación

La germinación de las semillas es una etapa crítica en el ciclo de vida de las plantas, y conocer los factores que afectan la germinación es vital para el desarrollo de los cultivos. En el presente estudio, no se encontraron interacciones significativas para la germinación entre los portainjertos-dosis empleados (Figuras 1A y 1B). La adaptación del nogal pecanero es dependiente de su posición geográfica y, en consecuencia, mayor susceptibilidad o resistencia a los factores bióticos y abióticos (Cervantes *et al.*, 2022). Los cultivares Pawnee y Riverside son originarios de Texas, Estados Unidos en regiones que comparten características climáticas similares a Chihuahua. Esto podría explicar por qué no existen diferencias en la tasa de germinación de las semillas de Criolla, Riverside y Pawnee.

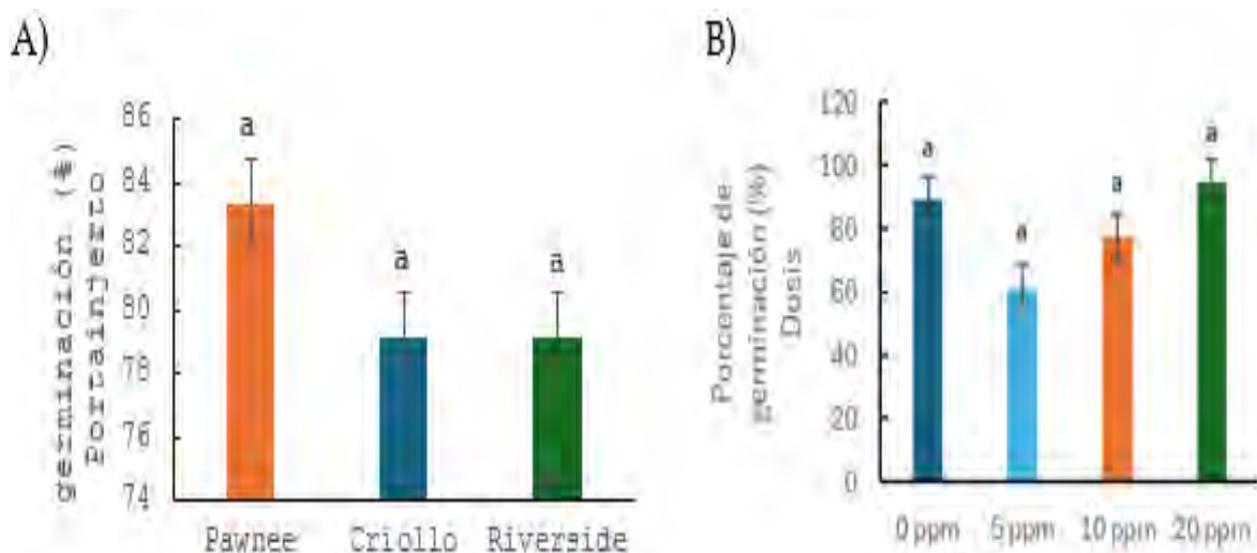


Figura 1. Efecto del nanoprimering sobre: A) el porcentaje de emergencia por material genético y B) el porcentaje de emergencia por dosis. Las letras diferentes representan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey $p \leq 0.05$).

Índice de vigor por longitud (IDV)

El IDV determina qué tan rápido germinan las semillas en condiciones ambientales determinadas. Valores menores de IDV representan menor vigor. En el presente estudio, se detectó una interacción estadística significativa entre los efectos de las plántulas de los portainjertos y la dosis en el índice de vigor ($p \leq 0.05$). Para la variedad, tanto Riverside como Criolla son diferentes estadísticamente a Pawnee (Figura 2). Por su parte, la dosis de 20 mg L⁻¹ fue diferente significativamente al de 5 mg L⁻¹. Los IDV de Riverside 20 mg L⁻¹ (13.9) y Criollo 20 mg L⁻¹ (10.36) fueron superiores al IDV de Pawnee 5 mg L⁻¹ (1.43). Si bien existe escasa literatura del nanopriming con Zn-Mo sobre semillas de nogal pecanero, se ha reportado efectos significativos sobre el IDV en cultivos como el maíz: el nanopriming a 100 mg L⁻¹ de ZnO incrementó este parámetro (Itrotwar *et al.*, 2020). Esta técnica incrementa el contenido de Zn en el embrión y la aleurona de la semilla de maíz, sirviendo como fertilizante y mejora el crecimiento de la plántula. De manera similar, el Mo permite mayor acumulación de N, aumentando la generación de compuestos orgánicos nitrogenados para impulsar el crecimiento (Figura 3).

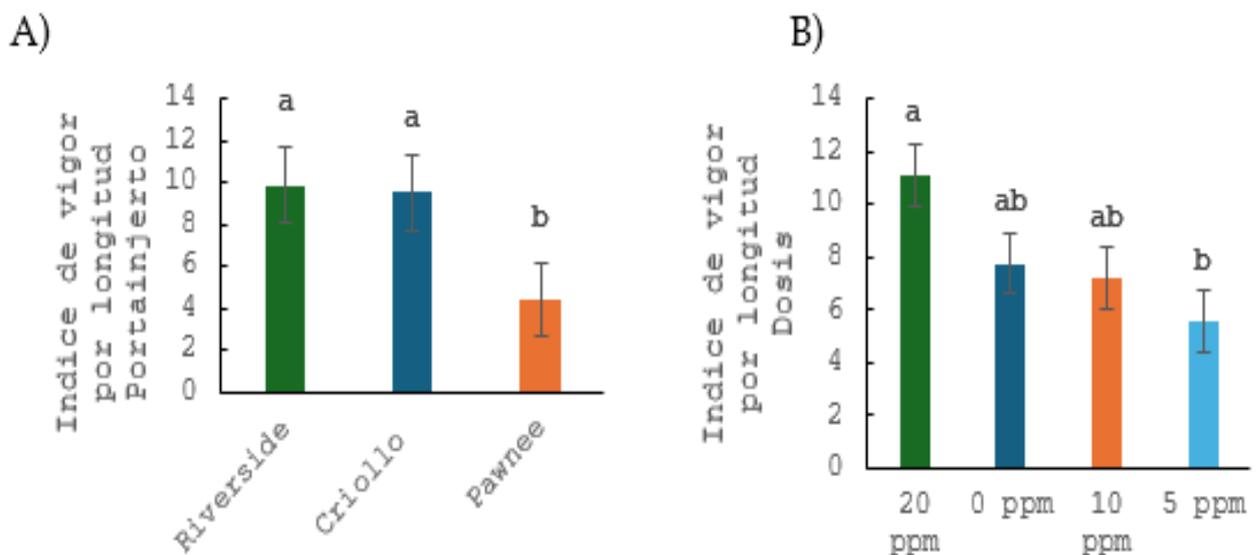


Figura 2. Efecto del nanopriming sobre: A) el Índice de vigor por longitud por portainjerto y B) Índice de vigor por longitud por dosis. Las letras diferentes representan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey $p \leq 0.05$).

Índice de velocidad de germinación

La demora en la germinación expone a las plántulas al estrés biótico y/o abiótico, reduciendo su vigor y afectando la calidad del cultivo (Acharya *et al.*, 2019).

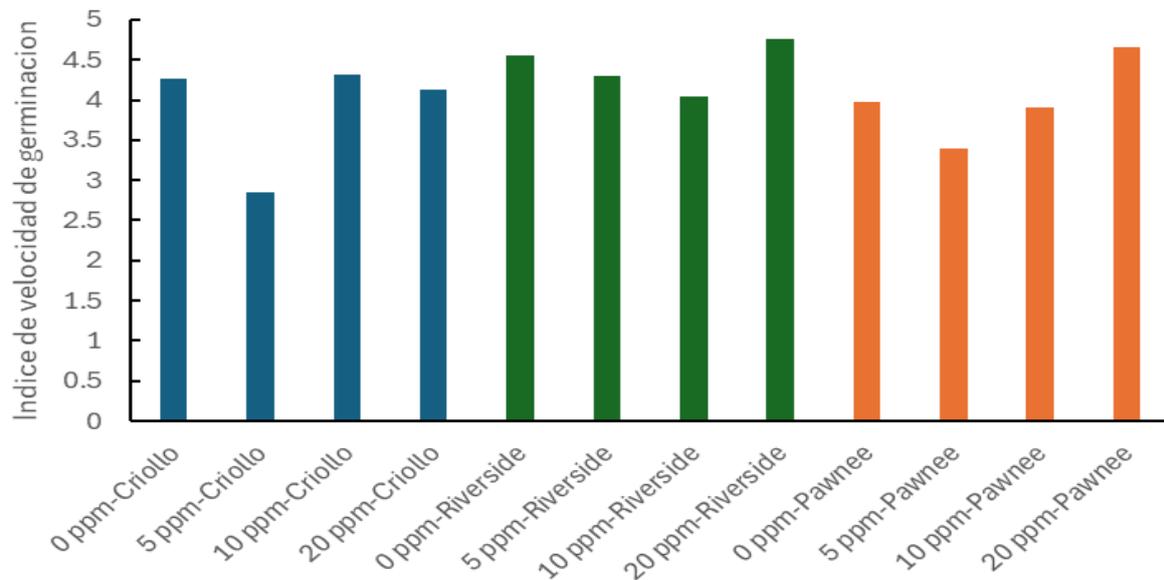


Figura 3. Efecto del nanoprimering sobre el índice de velocidad de germinación. Cada media proviene de seis observaciones.

CONCLUSIONES

El nanoprimering a diferentes dosis no afectó de manera significativa la germinación de los portainjertos. Por su parte, el IDV presentó interacciones significativas entre los tratamientos Riverside y Criollo a 20 mg L⁻¹, siendo superiores a Pawnee 5 mg L⁻¹. Esto podría sugerir que Riverside 20 mg L⁻¹ y Criollo 20 mg L⁻¹ podrían ser utilizados como portainjertos vigorosos para establecer huertas nogaleras en el estado de Chihuahua. Sin embargo, la producción de portainjertos es normalmente en suelos de la región del estado y durante mayores periodos de tiempo, a diferencia de nuestro trabajo. Por lo tanto, la evaluación del nanoprimering en los portainjertos a largo plazo en condiciones de campo y sus efectos a nivel molecular sobre la germinación son necesarios para profundizar el conocimiento en especies leñosas como el nogal pecanero.

BIBLIOGRAFÍA

- Acharya, P., Jayaprakasha, G. K., Crosby, K. M., Jifon, J. L., Patil, B. S. (2019). Green-synthesized nanoparticles enhanced seedling growth, yield, and quality of onion (*Allium cepa* L.). *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7(17), 14580-14590. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b02180>
- Cervantes, K., Heerema, R. J., & Randall, J. J. (2022). The core microbiome of *Carya illinoensis* (pecan) seedlings of different maternal pecan cultivars from the same orchard. *Frontiers in Microbiomes*, 1, 1003112. <https://doi.org/10.3389/frmbi.2022.1003112>
- Itrotwar, P. D., Kasivelu, G., Raguraman, V., Malaichamy, K., Sevathapandian, S. K. (2020). Effects of biogenic zinc oxide nanoparticles on seed germination and seedling vigor of maize (*Zea mays*). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 29, 101778. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101778>

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Suganya, A., Saravanan, A., Manivannan, N. (2020) Role of zinc nutrition for increasing zinc availability, uptake, yield, and quality of maize (*Zea mays* L.) grains: An Overview. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*51, 2001-2021. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1820030>
- Tsobeng, A., Asaah, E., Tchoundjeu, Z., Damme, P.V., Ofori, D., Jamnadass, R. (2017). Growth, flowering and fruiting of stecklings, grafts and seedlings of *Allanblackia floribunda* Oliver (Clusiaceae). - *Agroforest. Syst.* 91: 259-270. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9925-z>



NANOPRIMING CON ZINC-MOLIBDENO SOBRE GERMINACIÓN E ÍNDICES DE VIGOR EN CHILE JALAPEÑO

Erick Humberto Ochoa-Chaparro¹; Esteban Sánchez-Chávez^{1*}; Sandra Pérez-Álvarez²; Luis Ubaldo Castruita-Esparza²; Ezequiel Muñoz-Márquez¹; Celia Chávez-Mendoza¹

¹ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Avenida Cuarta Sur No. 3820, Fraccionamiento Vencedores del Desierto 33089, Delicias, Chihuahua, México.

² Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, UACH. Km. 2.5 carretera a Rosales, Poniente 33000, Delicias, Chihuahua, México.

*Autor de Correspondencia: esteban@ciad.mx

RESUMEN

El chile jalapeño enfrenta desafíos como baja eficiencia de germinación, plántulas débiles y alta mortalidad durante el trasplante. Se ha reportado que el nanopriming es una técnica efectiva para mejorar la germinación y el vigor de las plántulas. Este método no solo mejora la calidad y resistencia de las semillas, sino que también reduce la necesidad de insumos químicos, disminuyendo costos y el impacto ambiental. Sin embargo, la información acerca del nanopriming aplicado al cultivo del chile jalapeño con Zinc y Molibdeno aun es escasa. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la efectividad del uso de nanopriming con Zn-Mo en chile jalapeño cv. M, sobre la germinación y el crecimiento temprano con las dosis de (0-0), (62-5), (124-10) y (248-20) mg L⁻¹, de nanofertilizante de Zn-Mo respectivamente. Los resultados obtenidos fueron que los tratamientos con nanofertilizante de Zn-Mo, incrementaron el porcentaje de germinación e índices de vigor, con respecto al control. Finalmente, se concluye que el nanopriming con Zn-Mo con la dosis de 124-10 mg L⁻¹ incrementa el porcentaje de germinación de semillas y mejora los índices de vigor de las plántulas de chile jalapeño, promoviendo un cultivo sostenible y eficiente.

PALABRAS CLAVE

Eficiencia; Plántula; Semillas; Sostenibilidad; Suelo.

INTRODUCCIÓN

El chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) es una hortaliza crucial en la economía global, con China y México como principales productores en 2022 (Vasileva *et al.*, 2019). Ante la demanda creciente y desafíos como extremos climáticos y suelos pobres, la técnica de nanopriming (NP) emerge como solución innovadora. Esta técnica implica tratar semillas con nanopartículas para mejorar la germinación y desarrollo de las plantas, aumentando la uniformidad y velocidad de germinación y reduciendo la dependencia en fertilizantes y pesticidas químicos.

Además, el NP promueve un sistema radicular robusto que beneficia la estructura del suelo, aumentando su resiliencia frente a la erosión y la sequía, minimizando el impacto ambiental (Singh *et al.*, 2021).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

La adopción de técnicas innovadoras como el nanopriming es clave para superar los desafíos en la producción de chile jalapeño. Esta estrategia fortalece plántulas, mejora la supervivencia post-trasplante y fomenta prácticas agrícolas sostenibles y rentables. La integración de tecnologías avanzadas será esencial para mantener la competitividad y la sostenibilidad a largo plazo del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental, material vegetal y nanofertilizante

Se llevó a cabo en las instalaciones del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (CIAD) en Delicias, Chihuahua, México. Se utilizaron semillas de chile jalapeño cv. M (*Capsicum annuum* L.). El nanofertilizante fue el producto comercial (BROADACRE®, México) ZnMo, cuya composición fue Zn 62%, Mo 5% y 33% de un agente quelante a base de algas.

Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño completamente al azar, donde se evaluaron 4 tratamientos de NP con ZnMo y 3 repeticiones con 100 semillas cada uno por cada tratamiento. Se utilizó un control con semillas sin ningún NP. Los tratamientos son los siguientes: T0 es el control, T1 (0-0), T2 (62-5), T3 (124-10), y T4 (248-20) mg L⁻¹ de zinc y molibdeno, respectivamente.

Siembra y Germinación

Después de 48 h del proceso de imbibición, las semillas se sembraron en charolas de unicel de 338 cavidades. Se usó una mezcla de sustratos de vermiculita y perlita en proporción (2:1 v/v) humedecido con agua destilada previamente. La profundidad de siembra fue de 3 mm. El experimento se llevó a cabo, bajo condiciones controladas de temperatura (20 °C - 28 °C) y humedad (60% -80%).

Manejo del cultivo

Durante el manejo del cultivo, se aplicaron riegos por aspersión a cada charola en los días 3, 5 y 7 después de la siembra, utilizando un aspersor de 2 L. Se empleó una solución nutritiva estándar Hoagland modificada, con 500 mL por charola cada 48 horas (Sánchez *et al.*, 2004). Se monitoreó el porcentaje y número de semillas germinadas durante los primeros 8 días, y se contaron las plántulas a los 5 días después de la siembra (DAS). Los índices de vigorosidad y características morfológicas se evaluaron utilizando el software GerminaR (Lozano-Isla *et al.*, 2019).

Análisis Estadístico

El análisis de varianza y las pruebas de medias se realizaron utilizando la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher ($p \leq 0.05$) en el software estadístico SAS versión 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Semillas germinadas

El número de semillas que germinan es un indicador vital de éxito reproductivo y supervivencia de las plantas en diversos entornos (Nonogaki *et al.*, 2010). En nuestro estudio, T3 mostró un incremento en el número de semillas germinadas, alcanzando un 20% más que el control a los 8 días después de la siembra (DAS), como se muestra

en la Figura 1 (a). Este resultado concuerda con las investigaciones de (Finch-Savage y Bassel, 2016), los cuales demostraron que el éxito en las primeras etapas de germinación puede influir dramáticamente en la dinámica de poblaciones vegetales, especialmente en entornos competitivos y estresantes.

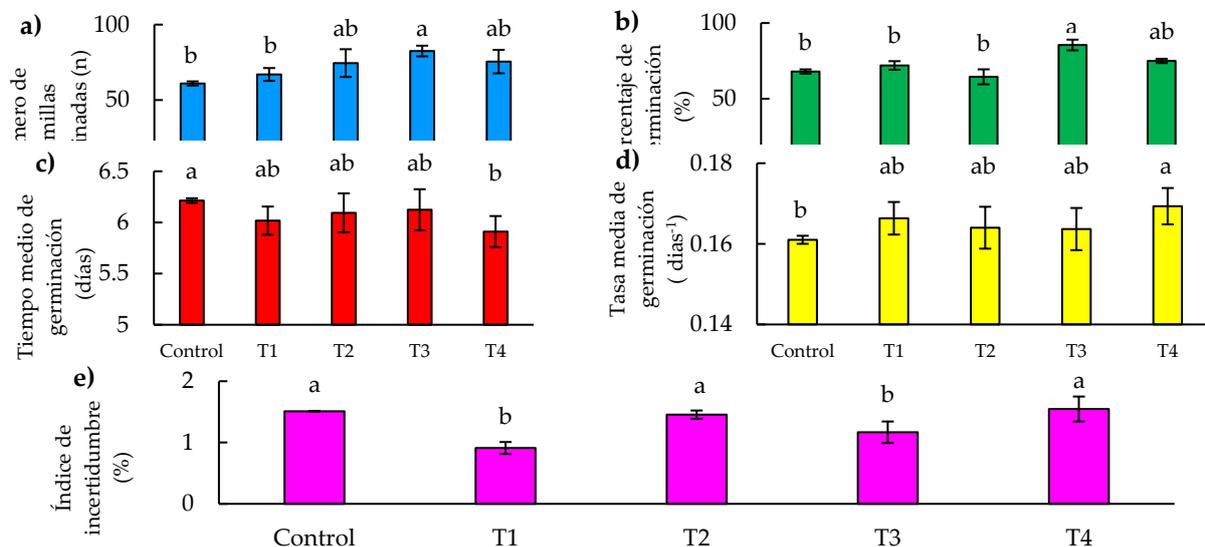


Figura 1. Parámetros de germinación de semillas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.), bajo tratamientos de nanopriming con Zn-Mo. (a) Número de semillas germinadas, (b) Porcentaje de germinación (c) Tiempo medio de germinación, (d) Tasa media de germinación, (e) Índice de incertidumbre. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (prueba LSD de Fisher $p \leq 0.05$). Valores medios \pm error estándar.

Porcentaje de germinación

El porcentaje de germinación indica la viabilidad y desarrollo de semillas en plántulas. T3 mejoró ($p \leq 0.05$) la germinación en comparación con el control y otros tratamientos (T1 y T2), aumentando en un 25% respecto al control y un 32% más que T2 a los 8 días después de la siembra Figura 1 (b). Este resultado respalda la teoría de Kildisheva *et al.* (2020) sobre cómo el priming de semillas puede mejorar procesos metabólicos, romper la dormancia y activar la germinación de manera más eficiente.

Tiempo medio de germinación y Tasa media de germinación

En estudios sobre la capacidad germinativa de las semillas y su vigor, el tiempo medio de germinación (TMG) y la tasa media de germinación (RMG) son indicadores clave (Yilmaz *et al.*, 2021). En el presente estudio, se observó una diferencia significativa en el TMG entre T4 y el control. T4 mostró un TMG de 5.91 días, más rápido que el control que registró 6.21 días Figura 1 (c), lo que sugiere una mejora en la eficiencia de la germinación con T4. Además, al considerar la RMG, que es el inverso del TMG, T4 destacó por acelerar la germinación aproximadamente un 5% más rápido que el control, equivalente a una reducción de aproximadamente 0.3 días o 7 horas ver Figura 4 (d). Según Farooq *et al.* (2021), una germinación rápida es crucial para aprovechar las condiciones ambientales favorables, especialmente en entornos agrícolas donde las ventanas óptimas para la germinación son limitadas.

Índice de incertidumbre de germinación

La incertidumbre en la germinación de semillas es crucial para la agricultura, afectando directamente la productividad y supervivencia de las plántulas. En nuestro estudio, se observaron diferencias significativas en el índice de incertidumbre entre T1 y T4 a los 8 días después de la siembra (DAS). T1 mostró el índice más bajo, siendo un 42% menor que T4 Figura 1 (e). Controlar factores como luz, temperatura, salinidad y estrés osmótico es fundamental para reducir esta incertidumbre (Xu *et al.*, 2017).

Parámetros Morfológicos y de vigorosidad de plántulas

En la Tabla 1, se presentan los parámetros fisiológicos e índices de vigorosidad de plántulas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) bajo diferentes dosis de NP. En la longitud de plúmula hay diferencia significativa, destacándose T3 con un valor de 36.1 mm, un 25% mayor que T1, que presentó el menor valor de 28.5 mm. Para la variable longitud de raíz, hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Sin embargo, T3 tuvo el mayor valor promedio con 35.9 mm, mientras que T1 tuvo el menor valor promedio con 30.6 mm.

Tabla 1. Parámetros fisiológicos de plántulas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.)

Tratamientos	Longitud de plúmula (mm)	Longitud de raíz (mm)	Diámetro de tallo (mm)	Peso Fresco (mg)	Índice de vigor I (peso)	Índice de vigor II (longitud)
28.9	28.9	33.0	0.26	20.9	18.43	19.64
28.5	28.5	30.6	0.43***	21.2	20.98	20.51
31.4	31.4	35.3	0.55***	20.9	19.46	20.26
36.1*	36.1*	35.9	0.55***	28.9*	28.31***	30.9***
29.5	29.5	35.5	0.63***	33.1*	25.42***	22.11

(*) y (***) indican diferencia significativa con el control (T0) a $p \leq 0.05$ y 0.001 , respectivamente.

El diámetro del tallo mostró diferencias muy significativas ($p \leq 0.001$) entre todos los tratamientos respecto al control, siendo T4 un 112% más grueso. En cuanto al peso fresco de la plántula, hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre T3 y T4 en comparación con el control, con T4 presentando el mayor valor de 33.1 mg y el control el menor de 20.9 mg, una diferencia del 58%. El índice de vigor I y II también revelaron diferencias ($p \leq 0.001$) entre T3 y T4 respecto al control, mostrando T3 un 53% y 57% más de vigor respectivamente. El uso de NP ha demostrado mejorar la vigorosidad de las plántulas, como evidencia el estudio de Li *et al.* (2020) que reporta mejoras significativas en la germinación de varias plantas.

CONCLUSIONES

El nanopriming con ZnMo con la dosis de (124-10 mg L⁻¹) mejoró la germinación e índices de vigor en el chile jalapeño. El NP podría ser una alternativa para la sostenibilidad del suelo, promoviendo una agricultura más eficiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Donglin, L., Yaquin, J., Chengjing, Y., & Yuan, X. (2020). Effects of cold stratification on the endogenous hormone, dormancy and germination of *Cornus walteri* Wanger seeds. *Bangladesh Journal of Botany*, 49(3), 507-514.
- Farooq, S., Onen, H., Tad, S., Ozaslan, C., Mahmoud, S. F., Brestic, M., ... & El-Shehawi, A. M. (2021). The influence of environmental factors on seed germination of *Polygonum perfoliatum* L.: Implications for management. *Agronomy*, 11(6), 1123.
- Finch-Savage, W. E., & Bassel, G. W. (2016). Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. *Journal of experimental botany*, 67(3), 567-591.
- Kildisheva, O. A., Dixon, K. W., Silveira, F. A., Chapman, T., Di Sacco, A., Mondoni, A., ... & Cross, A. T. (2020). Dormancy and germination: making every seed count in restoration. *Restoration Ecology*, 28, S256-S265.
- Lozano-Isla, F., Benites-Alfaro, O. E., & Pompelli, M. F. (2019). GerminaR: An R package for germination analysis with the interactive web application "GerminaQuant for R" (Vol. 34, No. 2, pp. 339-346). Hoboken, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Nonogaki, H., Chen, F., & Bradford, K. J. (2007). Mechanisms and genes involved in germination *sensu stricto*. *Annual Plant Reviews Volume 27: Seed Development, Dormancy and Germination*, 264-304.
- Sánchez, E., Rivero, R. M., Ruiz, J. M., & Romero, L. (2004). Changes in biomass, enzymatic activity and protein concentration in roots and leaves of green bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike) under high NH_4NO_3 application rates. *Scientia horticulturae*, 99(3-4), 237-248.
- Singh, A., Sengar, R. S., Sharma, R., Rajput, P., & Singh, A. K. (2021). Nano-Priming Technology for Sustainable Agriculture. *Biogeosystem Technique*, (8), 79-92.
- Vasileva, K., Todorova, V., & Masheva, S. (2019). Evaluation of collection of pepper (*Capsicum* spp.) resources for resistance to *Verticillium dahliae* Kleb. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 25(5) 1030-1038.
- Xu, H., Su, W., Zhang, D., Sun, L., Wang, H., Xue, F., ... & Wu, R. (2017). Influence of environmental factors on *Cucumis melo* L. var. *agrestis* Naud. seed germination and seedling emergence. *PLoS one*, 12(6), e0178638.
- Yılmaz, T., & Yılmaz, M. (2021). Doğu Akdeniz Bölgesindeki Relikt Kizilağac (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) Popülasyonlarının Tohum Özellikleri. *Turkish Journal of Forest Science*, 5(1), 150-164.

POTENCIAL PRODUCTIVO DE TRES HÍBRIDOS DE MAÍZ PARA FORRAJE OBTENIDO CON ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS EN TEMPORAL DE JALISCO

Hugo Ernesto Flores-López^{1*}; Irma Julieta González-Acuña²; Jorge Humberto Villarreal Rodas¹

¹ Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Instituto Nacional de Investigación Regional Forestal Agrícola y Pecuaria. Av. Biodiversidad 2470, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.

² Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Instituto Nacional de Investigación Regional Forestal Agrícola y Pecuaria. Santiago Ixcuintla, Nayarit, México.

*Autor para correspondencia: flores.hugo@inifap.gob.mx

RESUMEN

El maíz de temporal es el cultivo más importante en México y Jalisco, con producción altamente dependiente de la lluvia y alto grado de riesgo por sequías cada vez más severas, frecuentes e intensas, y alto nivel de incertidumbre. El potencial productivo (PP) agrícola es una herramienta que permite delimitar zonas geográficas donde es factible producir maíz con mayor probabilidad de éxito y reducido deterioro del medio ambiente. El PP se puede obtener con la asociación de índices agroclimáticos (IA) y los requeridos por híbridos de maíz. Los IA revelan la condición de disponibilidad de agua y temperatura en tiempo y espacio de la zona de interés, que permita el PP de cultivos desde una escala de gran visión hasta predio. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el PP para tres híbridos de maíz para forraje con el uso de índices agroclimáticos en temporal de Jalisco. El estudio se realizó en tres etapas: 1) la caracterización de la estación de crecimiento (EC) por disponibilidad de humedad edáfica y temperatura, y los Grados-Día de Desarrollo (GDD) en la EC de Jalisco, 2) obtención del requerimiento de GDD por híbridos de maíz y 3) la definición de zonas con PP para los híbridos de maíz. La etapa 1 utilizó un balance hídrico con el que se determinaron los GDD en la EC. Los requerimientos de GDD de tres híbridos de maíz se obtuvieron de datos publicado. El PP se delimitó con procedimientos de Sistemas de Información Geográfica. Los resultados muestran que los híbridos de maíz son adecuados para las zonas centro, sur y occidente, pero con diferente desempeño en las regiones Altos y Norte. El PP exhibe un comportamiento asociado con la disponibilidad de lluvia y temperatura. También guardó relación con el rendimiento de forraje reportado en los Distritos de desarrollo Rural (DDR).

PALABRAS CLAVE

Grados; Día de desarrollo; Balance hídrico; Zonas agroclimáticas.

INTRODUCCIÓN

Durante 2023 la superficie agrícola de temporal para producción de forraje de maíz fue de 327.2 miles de hectáreas, de las cuales Jalisco participó con 49.7% del área y rendimiento promedio de 22.22 t/ha (SIAP-SADER, 2024). En temporal la producción agrícola es dependiente de la disponibilidad de lluvia en tiempo y espacio, característica que genera alto riesgo de producción e incertidumbre en decisiones de los agricultores como la selección de genotipos a sembrar, la fecha de siembra, la operación del manejo agronómico, entre otras; aun así, buscan el mayor rendimiento posible, beneficio económico y calidad del producto (Smit et al., 1997). La disponibilidad de humedad y ocurrencia de eventos meteorológicos extremos en la estación de crecimiento (EC) del maíz, pueden expresarse en términos de deficiencia, excesos o condiciones óptimas de agua y calor para los cultivos, razón por la cual se han desarrollado genotipos de maíz con diferente requerimiento de agua y calor, expresado como GDD y altas temperaturas. Se recomienda a los agricultores que seleccionen híbridos con madurez que coincidan con la disponibilidad promedio de GDD en su localidad, que regularmente conoce por su experiencia. Esta característica del maíz representa un ajuste tecnológico buscado por mejoramiento genético para mejorar su desempeño según las variaciones espaciales de las condiciones climáticas, pues híbridos con menor requerimiento de GDD tienen menor rendimiento e híbridos con mayor necesidad de calor logran mayor rendimiento, siempre y cuando la EC lo permita (Smit et al., 1997). En este contexto, los estudios de PP agrícola permiten la delimitación geográfica de las zonas donde es factible realizar con mayor probabilidad de éxito, la producción de diferentes híbridos de maíz, con poco o ningún deterioro del medio ambiente. Para determinar el PP de una zona para maíz, es necesario evaluar el efecto de la disponibilidad agua y temperatura en el desarrollo y crecimiento de cultivos durante la EC.

Para evaluar cuantitativamente los efectos de la temperatura sobre el proceso fisiológico de desarrollo de las plantas, se utilizan índices como Grados Día, Grados Día de Desarrollo, Grados Hora de Desarrollo, Unidades Calor, Unidades de desarrollo, entre otros y la eficiencia térmica sobre el maíz (Flores et al., 2023). Estos índices térmicos se derivan de las temperaturas máxima y mínima, y la temperatura base del cultivo.

En temporal otro factor que regula el desarrollo de los cultivos es la disponibilidad de humedad en el suelo y el grado con que se satisface la necesidad hídrica de las plantas. Puede evaluarse mediante un balance hídrico del suelo (Thorntwaite y Mather, 1957). Estos autores mencionan que uno de los modelos más simples, robustos y factibles de aplicarse con datos mensuales o diarios, involucra las siguientes variables: $P - ET \pm CH = 0$. Solo requiere información climática y edáfica para calcular la evapotranspiración potencial (ETP) y las entradas y salidas de agua. Utilizar la ETP estimada con la evaporación medida en el tanque evaporímetro tipo "A" mejora el balance hídrico (Allen et al., 2006). La expresión espacial de los datos puntuales del balance hídrico utiliza métodos de interpolación en Sistemas de Información Geográfica (SIG); uno de los más utilizados es la Ponderación de Distancia Inversa (IDW, por sus siglas en inglés) (Li y Heat, 2011).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

El objetivo del presente trabajo fue identificar el potencial productivo de tres híbridos de maíz con el uso de índices agroclimáticos para temporal de Jalisco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron los datos normales mensuales de temperatura máxima (T_{mx}), temperatura mínima (T_{mn}), evaporación, precipitación (P) y la fecha de primera helada de 130 estaciones climatológicas, además de las características físicas del suelo del estado de Jalisco publicados por Flores et al. (2022).

El estudio se realizó en tres etapas: 1) la caracterización de la disponibilidad de humedad edáfica, GDD y eficiencia térmica en la EC de Jalisco, 2) obtención de los Grados-Día de Desarrollo (GDD) para híbridos de maíz y 3) definición de las zonas con potencial productivo para tres híbridos de maíz.

Etapa 1. Caracterización de la disponibilidad de humedad edáfica y GDD en la EC. La caracterización de la EC por disponibilidad de humedad y temperatura se basó en el modelo de balance hídrico de Thornthwaite y Mather (1957), con la expresión: $P - ETP \pm \Delta RH + DEF - EXC = 0$.

La disponibilidad de GDD en la EC para cada estación climatológica se calculó con la expresión: $GDD = \left(\frac{T_{mx} + T_{mn}}{2} - T_b \right) ND$. La temperatura base (T_b) para maíz fue de 10°C y ND el número de días en los meses durante la EC. El inicio, terminación y duración de la EC se definió según FAO. La disponibilidad de GDD en la EC se ajustó por la eficiencia térmica por temperatura máxima de Jalisco obtenida por Flores et al. (2023).

Etapa 2. GDD para los híbridos de maíz. Se utilizaron los requerimientos de GDD de los híbridos de maíz para forraje mostrados en el Cuadro 1. Los GDD a la etapa R5 se asociaron con la mitad de la línea de lecha para la cosecha de maíz para lograr alto PP. De manera empírica la etapa de R4 se asoció con PP medio y la etapa R3 con PP bajo.

Cuadro 1. Requerimiento de GDD de tres híbridos de maíz en tres etapas fenológicas y su potencial productivo (Flores et al., 2022).

Híbrido de maíz	Etapa fenológica		
	R3 (PP Bajo)	R4 (PP Medio)	R5 (PP Alto)
NB21	961	1,207	1,295
OCELOTE	932	1,038	1183
P3164W	1,000	1,100	1,221

Etapa 3. Definición de las zonas con potencial productivo para los híbridos de maíz. Los GDD en la EC fueron mapeados utilizando procedimiento de interpolación en el SIG Idrisi Selva. Para definir las zonas con PPA para los híbridos de maíz, se confrontó la información de las etapas 1 y 2 con SIG, mediante procedimiento de álgebra de mapas.

Para evaluar el PP de los híbridos de maíz para forraje a escala DDR, se cotejó en rendimiento promedio de forraje de maíz reportado para los DDR en SIAP-SADER (2024).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestran la disponibilidad de GDD en la EC por disponibilidad de humedad y temperatura para Jalisco. Estos van desde menos de 1,000 GDD en el norte del estado a más de 2500 GDD en el occidente de Jalisco.

Esta característica de los GDD en la EC es un elemento tecnológico importante para recomendar los genotipos de maíz más adecuados a la agricultura de Jalisco (Smit et al., 1997). En las Figuras 2 a, b, c se muestran las zonas con PP para los híbridos de maíz NB21, Ocelote y P3164W, respectivamente, para la EC de Jalisco. En estas figuras se observa que las zonas occidente y centro de Jalisco tienen alto PP para los tres híbridos. En cambio, las zonas de los Altos y Norte de Jalisco presentan un gradiente de PP alto en el sur hasta al norte con PP no apto para maíz. Este comportamiento está regido por la disponibilidad duración de la EC.

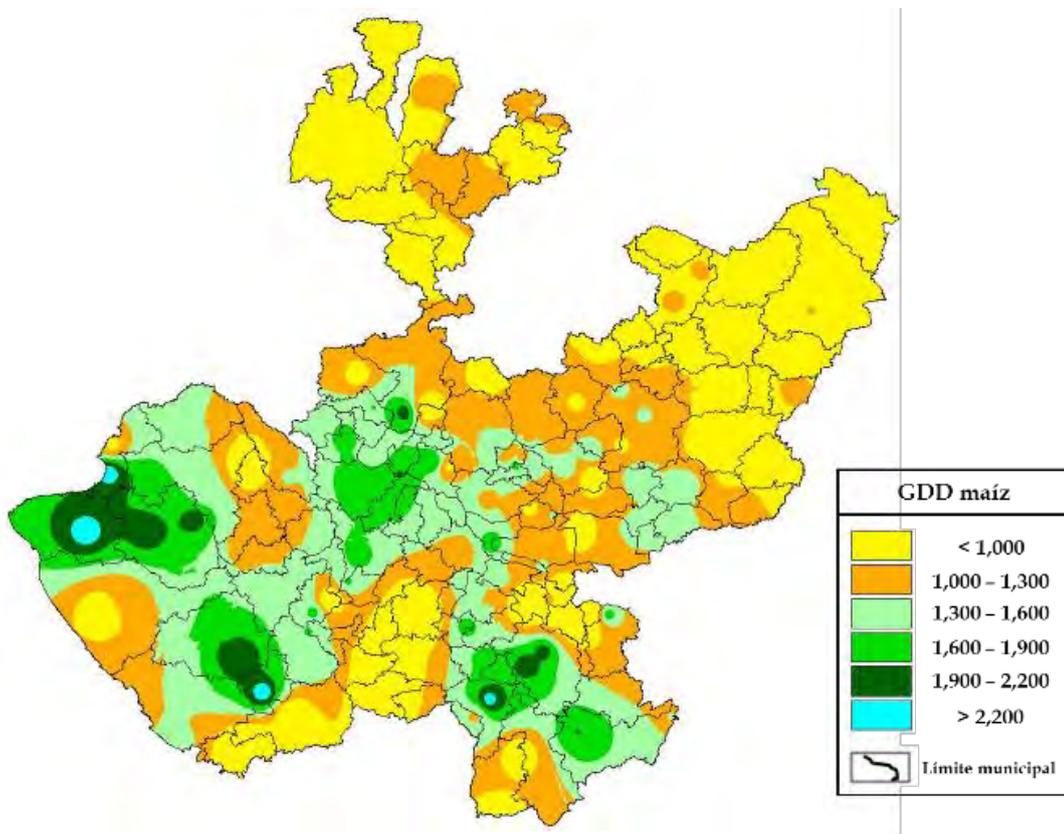


Figura 1. Disponibilidad de GDD en la estación de crecimiento para maíz en Jalisco.

La validación de estos resultados se realizó comparando el rendimiento de forraje promedio de 2007 al 2023 reportado en los DDR (SIAP-SADER, 2024) y mostrados en el Cuadro 2. Este cuadro muestra el porcentaje de superficie por zonas con PP para cada híbrido de las Figuras 2 a, b, c. Los DDR de La Barca, Zapopan, Tomatlán, Ameca y Zapopan tienen mayor superficie con Alto PP y también mayor rendimiento de forraje de maíz. En cambio, los DDR de Lagos de Moreno y el Grullo presentan menor PP Alto y mayor PP medio y bajo, con rendimiento de forraje menor bajo.

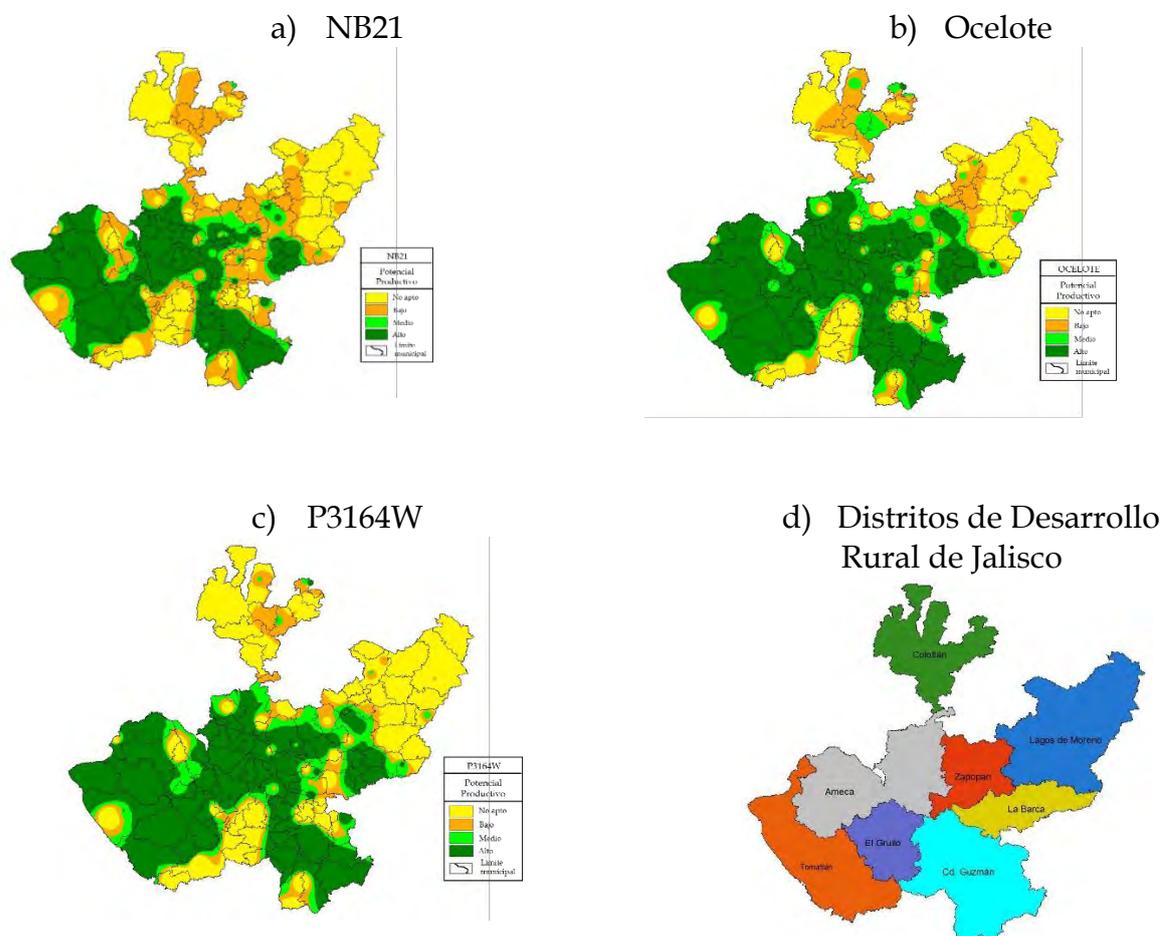


Figura 2. Zonas agroclimáticas potenciales para híbridos de maíz forraje en temporal para: a) NB21, b) Ocelote, c) P3164W y d) la zonas geográficas de los DDR de Jalisco.

Cuadro 2. Rendimiento promedio maíz forrajero y el porcentaje del área ocupada según el potencial productivo de tres híbrido de maíz en los distritos de desarrollo rural de Jalisco (SIAP-SADER, 2024).

Distrito de Desarrollo Rural	Rendimiento Forraje (ton/ha)	NB21			OCELOTE			P3164W		
		PP BAJO	PP MEDIO	PP ALTO	PP BAJO	PP MEDIO	PP ALTO	PP BAJO	PP MEDIO	PP ALTO
Zapopan	29.79	34.07	22.53	36.54	7.02	24.34	63.05	13.30	20.59	56.68
Lagos de Moreno	19.34	22.45	4.57	1.71	18.50	8.89	7.82	7.22	7.29	5.53
Ameca	33.8	19.20	10.26	65.60	3.61	12.49	79.64	5.32	14.86	73.81
Tomatlán	27.98	16.35	9.69	60.00	6.53	9.08	71.92	5.89	8.80	68.49
El Grullo	33.66	13.38	9.59	64.23	4.10	8.61	75.45	5.48	7.48	72.78
La Barca	37.98	43.73	13.29	33.89	13.81	27.54	51.63	18.01	23.99	44.74
Ciudad Guzmán	27.59	20.72	10.80	46.31	7.31	12.68	59.67	7.75	12.14	55.45
Colotlán	19.27	37.50	0.35	0.04	38.37	12.31	0.48	21.68	1.57	0.31

CONCLUSIONES

Se identificaron las zonas agroclimáticas donde se espera un desarrollo óptimo de tres híbridos de maíz en Jalisco. Las zonas occidente y centro de Jalisco muestran alto PP para los tres híbridos, pero las zonas de los Altos y Norte presentan un gradiente de PP alto en el sur hasta PP no apto en el norte. El PP exhibe un comportamiento asociado con la duración de la estación de crecimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO, Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Roma, Italia. 298 pág.
- Flores L., H.E, Chávez D., A.A., Pérez D., J.F. e Ireta M., J. 2022. Estadísticas climatológicas normales, propiedades de suelo y requerimientos agroclimáticos de genotipos de maíz para Jalisco. Libro Técnico Núm. 1. SADER, INIFAP, CIRPAC, Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 94 pág.
- Flores-López, H.E, I.J. González-Acuña, G. Vidrio-Llamas y H. Ramírez-Vega. 2023. Eficiencia térmica del maíz de temporal en Jalisco. Memoria de la XIII Reunión Nacional de Investigación Agrícola. 8 - 11 de noviembre de 2023. Chihuahua, Chih. México.
- Li, J., and A.D. Heap. 2011. A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: Performance and impact factors. *Ecological Informatics* 6:228-241.
- SIAP-SADER. 2024. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Tomado de: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> Fecha de acceso: 19 de julio de 2024.
- Smit, B., R. Blain, and P. Keddie. 1997. Corn hybrid selection and climatic variability: gambling with nature? *The Canadian Geographer*, 41(4):429-438.
- Thornthwaite, C.W., and J. R. Mather. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Drexel Institute of Technology Laboratory of Climatology. Publications in Climatology, VOLUME. X NUMBER 3:185-311. Centerton, New Jersey. USA.

PRÁCTICAS AGRONÓMICAS PARA SECUESTRO DE CARBONO EN EL SUELO CON MAÍZ FORRAJE DE TEMPORAL

Hugo Ernesto Flores-López¹; Irma Julieta González-Acuña²; Jorge Humberto Villarreal Rodas¹; Juan Francisco Pérez Dominguez¹

¹ Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Instituto Nacional de Investigación Regional Forestal Agrícola y Pecuaria. Av. Biodiversidad 2470, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.

² Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Instituto Nacional de Investigación Regional Forestal Agrícola y Pecuaria. Santiago Ixcuintla, Nayarit, México.

*Autor para correspondencia: flores.hugo@inifap.gob.mx

RESUMEN

El calentamiento global terrestre y el cambio climático están entre los principales problemas que enfrenta actualmente la humanidad y tiene el origen en la emisión de gases con efecto de invernadero, entre ellos el CO₂. Una manera de mitigación del cambio climático es la captura de carbono orgánico en el suelo (COS) en sistemas cultivo como maíz con el uso de prácticas de manejo agronómico que favorezcan su secuestro en el suelo. Este proceso debe evaluarse para cuantificar el potencial de secuestro de COS por las prácticas de manejo. El objetivo del presente estudio fue evaluar prácticas de manejo agronómico que permitan secuestrar COS en maíz para forraje de temporal en Tepatitlán de Morelos, Jalisco. El estudio se realizó en el ciclo PV2023, en el experimento de largo plazo del CECEAJAL sembrada con maíz de temporal. Este experimento integra prácticas de manejo de labranza, cobertura de suelo con residuos de maíz, tipos de surco y dos tipos de fertilización en 16 tratamientos. El porcentaje de COS se midió con el método de Dumas, la densidad aparente del suelo con el método de la probeta y profundidad de 20 cm. Se aplicó estadística descriptiva con el programa EXCEL para el análisis de datos. Los resultados del análisis individual de factores, mostraron pérdida de COS en labranza de conservación con 50 y 100% de residuos y con fertilización mineral. En la interacción de factores mostró una tasa de cambio con ganancia de COS en labranza convencional y labranza de conservación con 30% de residuos, fertilización orgánica y mineral. Con labranza de conservación + subsoleo, con 50% y 100% de residuos y fertilización orgánica también tuvieron ganancia de COS. Casi en todos los tratamientos de labranza de conservación presentaron pérdida de COS. Es necesario rediseñar el manejo del cultivo de maíz para forraje.

PALABRAS CLAVE

Carbono Orgánico; Temporal; Jalisco.

INTRODUCCIÓN

El calentamiento global terrestre, el cambio climático y el deterioro de los recursos naturales son parte de los problemas actuales que enfrenta la humanidad. Los primeros dos tienen su origen en la emisión de los gases de efecto de invernadero

(GEI). En México, el CO₂ es el principal GEI y para el 2021, México contribuyó con más de 456.26 Mt de CO_{2e}; el sector agropecuario aportó 12.3% de las emisiones de CO_{2e}, como N₂O y CH₄, por emisiones de actividades agrícolas por aplicación de fertilizantes nitrogenados, cultivos de arroz, quema de residuos agrícolas y actividades pecuarias por fermentación entérica y manejo del estiércol (INECC, 2022). Sin embargo, la agricultura también es una opción de solución para reducir el CO₂ atmosférico, por medio de la captura de carbono por las plantas a través de la fotosíntesis y una parte liberado a la atmósfera por respiración, retornando oxígeno y CO₂ a la atmósfera, con posibilidad de mantenerlo en el suelo en forma de carbono orgánico (Fynn et al., 2009).

En suelos agrícolas existen dos factores importantes que influyen el secuestro de C: 1) la entrada de C al suelo, que depende del rendimiento de los cultivos, la fertilización y la aplicación de sustancias orgánicas como abonos y otros biosólidos, y 2) el mantener el Carbono Orgánico en el Suelo (COS) con la adopción de prácticas de manejo agronómico, como labranza de conservación, cultivos de cobertura, rotación de cultivos, manejo integrado de nutrientes, el uso eficiente del agua de riego o lluvia o con prácticas agroforestales (Lal et al., 2015).

En México el maíz para forraje se sembró en 327.2 miles de hectáreas y Jalisco participó con 49.7% de la superficie con rendimiento promedio de 22.22 t/ha (SIAP-SADER, 2024). Este rendimiento fue sujeto a la intensificación agrícola realizada con prácticas de manejo no sustentables, que inducen erosión hídrica, deforestación, técnicas de cultivo convencionales, cambio de uso de la tierra, entre otras (Cassman, 1999), que provocan pérdida del COS y degradación edáfica. La intensificación agrícola además de buscar aumento en rendimiento y beneficios económicos, el aumento de COS, pues este influye en la mayoría de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, se vincula con la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo al aportar Nitrógeno normalmente deficitario y asociado con la materia orgánica del suelo, y los cambios en la estructura y distribución del espacio poroso del suelo (Martínez et al., 2008). En México es necesario cuantificar el efecto de las prácticas de manejo en el secuestro de COS. El objetivo del presente estudio fue evaluar prácticas de manejo agronómico sobre el contenido de COS en maíz para forraje de temporal en Jalisco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el CE Centro Altos de Jalisco de INIFAP, localizado en Tepatitlán de Morelos, Jalisco. La precipitación promedio anual es de 869 mm, con temperaturas máxima, mínima y media promedio anual de 25.7, 7.7 y 16.7 °C, respectivamente. La unidad edáfica es una mezcla fina isotérmica, Udic Rhodustalf. La pendiente del terreno es 2.1 %.

Se utilizó la repetición uno del experimento de largo plazo del CECEAJAL establecido en 2012. Tiene un diseño factorial incompleto con bloques completamente al azar, con maíz en temporal. Los tratamientos de esta plataforma son 16, con la combinación de los factores: 1) tratamientos con labranza: Barbecho más dos pasos de rastra, tres pasos de rastra, Labranza cero y Labranza cero más subsoleo, 2) coberturas edáficas con residuos de maíz; 30, 50 y 100%, 3) fertilización mineral y orgánico (gallinaza).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

El contenido de COS se midió antes del inicio y al final de las lluvias en 2023, para cada uno de los tratamientos en estudio a la profundidad de 20 cm en cada uno de los tratamientos. El análisis se realizó en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal del INIFAP en el Campo Experimental Santiago Ixcuintla, en Nayarit. Se utilizó el método de Dumas, con un equipo Analizador Elemental Flash LECO 2000. La densidad aparente del suelo se determinó con el método de probeta. La cantidad de COS se calculó con la fórmula siguiente: $COS = \%COS \times Da \times Prof$, donde COS es la cantidad de COS (tC/ha), $\%COS$ es la concentración de COS (%), Da es la densidad aparente (g/cm^3) y $Prof$ es la profundidad del suelo del muestreo (cm). La proporción de cambio del COS (ΔCOS) se evaluó con la expresión: $\Delta COS = COS_{fin2023} - COS_{ini2023}$. Se utilizó estadística descriptiva con el programa EXCEL para el análisis de información.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 1 presenta el contenido de COS de cada factor evaluado al inicio y al final del ciclo PV2023, así como la tasa de cambio de COS ocurrida (ΔCOS).

Cuadro 1. Cantidad de carbono orgánico en el suelo según con los componentes de cada tratamiento, en la repetición número 1 del experimento de largo plazo del Campo Experimental Centro Altos de Jalisco al inicio ya la final del ciclo PV 2023.

Tratamiento	Carbono Orgánico en el suelo (tCOS ha ⁻¹)		
	Inicio 2023	Final 2023	ΔCOS
Labranza			
Barbecho + dos Pasos de Rastra	29.24	31.91	2.67
Tres Pasos Rastra	29.87	30.08	0.21
Labranza Conservación	33.39	32.04	-1.35
Labranza Conservación + Subsuelo	31.93	34.81	2.87
Residuos (%)			
30	30.22	32.15	1.93
50	32.39	29.97	-2.43
100	32.65	32.28	-0.37
Fertilización			
Orgánica	33.60	34.19	0.59
Mineral	29.14	29.08	-0.06

Al inicio del 2023, la labranza de conservación tenía mayor cantidad de COS (33.39 tCOS ha⁻¹) y menor en barbecho + dos pasos de rastra (29.24 tCOS ha⁻¹). Para el final del 2023, la Labranza de conservación perdió COS (-1.35 tCOS/ha) y el tratamiento de Labranza de conservación + subsuelo acumuló mayor cantidad de COS (34.81 tCOS ha⁻¹).

Con el porcentaje de residuos de la cosecha anterior al inicio del 2023, el tratamiento 100% de residuos tenía mayor COS (32.65 tCOS ha⁻¹) y menor con 33% de residuos (30.22 tCOS ha⁻¹). Para el final de 2023, el mayor COS resultó con 100% de residuos (32.28 tCOS ha⁻¹) y menor con 50% de residuos (29.97 tCOS ha⁻¹). La tasa de cambio en el COS (ΔCOS) fue positiva con 30% de residuos (1.93 tCOS/ha), pero negativa en 50 y 100% de residuos con -2.43 y -0.37 tCOS ha⁻¹, respectivamente.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

El tratamiento de fertilización al inicio del 2023 presentó mayor COS con fertilización orgánica (33.60 tCOS ha⁻¹) y menor con fertilización mineral (29.14 tCOS ha⁻¹). Al terminar el 2023, se tuvo mayor COS con fertilización orgánica (34.19 tCOS ha⁻¹) y menor en la fertilización mineral (29.08 tCOS ha⁻¹). La Δ COS con fertilización orgánica mostró ganancia con 0.59 tCOS ha⁻¹, pero en la fertilización mineral tuvo pérdida con -0.06 tCOS ha⁻¹.

La Δ COS para la interacción de los tratamientos estudiados se muestra en la Figura 1. El color verde de las barras indica que Δ COS mostró ganancia de COS y color rojo pérdida de COS. Los tratamientos donde se movió el suelo con la labranza convencional y labranza de conservación con 30% de residuos, fertilización orgánica y mineral, y labranza de conservación + subsoleo, con 50% y 100% de residuos y fertilización orgánica mostraron ganancia de COS. Casi en todos los tratamientos de labranza de conservación presentaron pérdidas de COS, excepto los indicados con ganancia de COS de color verde.

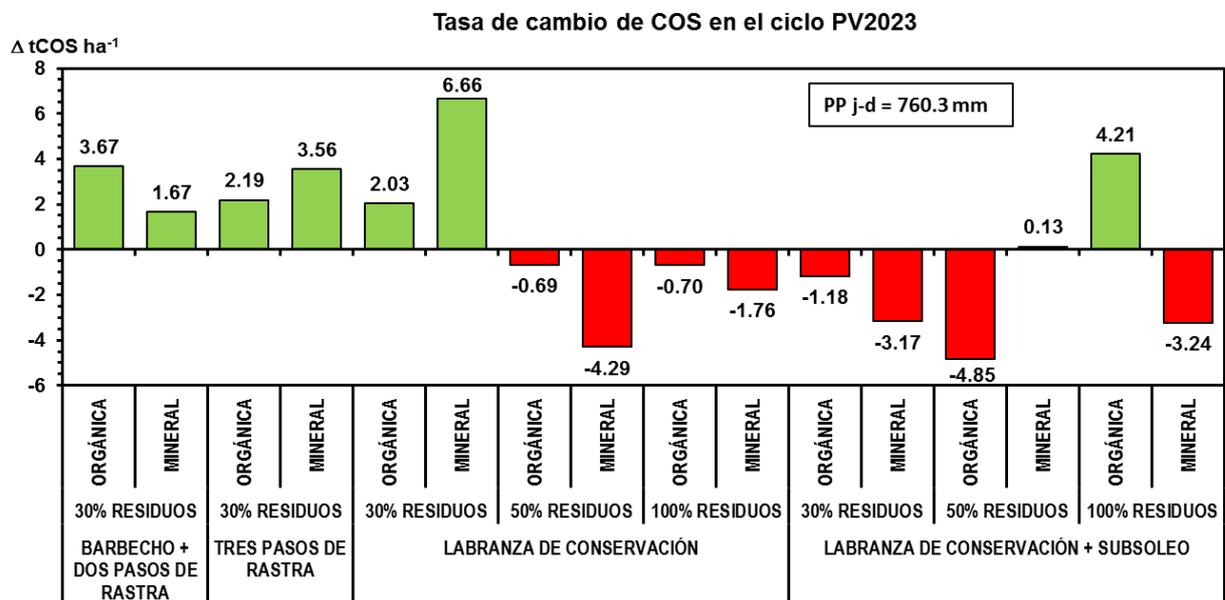


Figura 1. Cambio en la cantidad de Carbono Orgánico del Suelo (Δ COS) por efecto de los tratamientos en estudio: fertilización, porcentaje de residuos de maíz de la cosecha anterior y tipo de labranza en el inicio y final del ciclo PV2023, en temporal de Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.

Cuando los sistemas de producción se desarrollan en temporal, las interacciones ocurridas son tan complejas, que reflejan los procesos del secuestro de COS como en el presente estudio (Koga y Tsuji, 2009). La captura de COS se atribuye con importante influencia por la disponibilidad de nutrientes en la zona radical y controlada por los efectos integrados de las propiedades del suelo, las características de las plantas y las interacciones entre las raíces de las plantas y los microorganismos (Shen et al., 2013). Estos resultados también indican la necesidad de rediseñar el manejo de maíz, considerando el rendimiento meta de forraje y la extracción de nutrientes durante el temporal, utilizar manejo integrado de nutrientes (Tetarwal et al., 2011), productos orgánicos como el estiércol de bovino (Jiang et al., 2018), prácticas que permitan la

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

conservación del agua de lluvia (Kukul y Irmak, 2017), rotación de cultivos (Post y Kwo, 2000), y otros.

CONCLUSIONES

El análisis individual de factores estudiados mostró pérdida de COS en labranza de conservación con 50 y 100% de residuos y fertilización mineral. En la interacción de factores la tasa de cambio de COS tuvo ganancia para labranza convencional y labranza de conservación con 30% de residuos, fertilización orgánica y mineral, y labranza de conservación + subsoleo, con 50% y 100% de residuos y fertilización orgánica mostraron ganancia de COS. Casi en todos los tratamientos de labranza de conservación presentaron pérdidas de COS. Es necesario rediseñar el manejo del maíz para forraje considerando el rendimiento meta, la extracción de nutrientes, el manejo integrado de nutrientes, el uso de composta o estiércol de bovino, prácticas que permitan la conservación del agua o la rotación de cultivos.

BIBLIOGRAFÍA

- Cassman, K.G. 1999. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 96: 5952-5959.
- Fynn, A.J., Alvarez, P., Brown, J.R., George, M.R., Kustin, C., Laca, E.A., Oldfield, J.T., Schohr, T., Neely, C.L., Wong, C.P., 2009. Soil Carbon Sequestration in U.S. Rangelands: Issues Paper or Protocol Development. Environmental Defense Fund, New York, USA.
- Gobierno de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2022. México: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, 1990-2019. Tomado de: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/InventarioGEI_Mexico_1990_2019.pdf Accedido 21-06-2024.
- Jiang, G., W. Zhang, M. Xu, Y. Kuzyakov, X. Zhang, J. Wang, J. Di1, and D.V. Murphy. 2018. Manure and Mineral Fertilizer Effects on Crop Yield and Soil Carbon Sequestration: A Meta-Analysis and Modeling Across China. *Global Biogeochemical Cycles*, 32:1659-1672
- Koga, N, and H. Tsuji. 2009. Effects of reduced tillage, crop residue management and manure application practices on crop yields and soil carbon sequestration on an Andisol in northern Japan, *Soil Science and Plant Nutrition*, 55 (4):546-557.
- Kukul, M. and S. Irmak. 2017. Spatial and temporal changes in maize and soybean grain yield, precipitation use efficiency, and crop water productivity in the U.S. Great Plains. *Transactions of the ASABE*, 60(4):1189-1208
- Lal, R., W. Negassa, and K. Lorenz. 2015. Soil Carbon Sequestration in soil. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2015, 15:79-86.
- Martínez H., E., J.P. Fuentes E. y E. Acevedo H. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *R.C. Suelo Nutr. Veg.*, 8:68-96.
- Post, W.M., and K.C. Kwo. 2000. Soil Carbon Sequestration and Land-Use Change: Processes and Potential. *Global Change Biology*, 6:317-328.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Shen, J., C. Li, G. Mi, L. Li, L. Yuan, R. Jiang, and F. Zhang. 2013. Maximizing root/rhizosphere efficiency to improve crop productivity and nutrient use efficiency in intensive agriculture of China. *Journal of Experimental Botany*, 64(5):1181-1192.

SIAP-SADER. 2024. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Tomado de: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> Fecha de acceso: 19 de julio de 2024.

Tetarwal, J.P., Baldev Ram, and D.S. Meena. 2011. Effect of integrated nutrient management on productivity, profitability, nutrient uptake and soil fertility in rainfed maize (*Zea mays*). *Indian Journal of Agronomy*, 56(4):373-376.



REMEDIACIÓN DE UN SUELO AGRÍCOLA CONTAMINADO CON HIDROCARBUROS EMPLEANDO TECNOLOGÍAS BIOLÓGICAS

Gisel Guadalupe Alba-Mijares¹; Omar Sánchez-Mata; Verónica Ávila-Vázquez¹;
Miguel Mauricio Aguilera-Flores^{1*}

¹Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Zacatecas. Ingeniería Ambiental. Blvd. del Bote 202 Cerro del Gato Ejido La Escondida, Col. Ciudad Administrativa 98160 Zacatecas, México. *maguileraf@ipn.mx

RESUMEN

La contaminación del suelo por hidrocarburos es una preocupación significativa debido a sus impactos negativos en la salud humana y el ambiente. Se han desarrollado diversas tecnologías de remediación de suelos para abordar esta problemática. Sin embargo, algunas de ellas son costosas y pueden generar efectos ambientales adversos. Es por ello por lo que se opta por tecnologías basadas en tratamientos biológicos. Por consiguiente, este estudio evaluó la remediación de un suelo agrícola contaminado con hidrocarburos empleando tecnologías biológicas como bioaumentación con hongo hidrocarbonoclástico y bioestimulación con lombricomposta. Se analizó la bioaumentación con concentraciones de inóculo de 10^4 , 10^5 , y 10^6 conidios/g. La cantidad de lombricomposta adicionada fue de 30, 60, y 90 g/kg. El tiempo del tratamiento fue de 49 días. La cantidad de hidrocarburos en el suelo se estimó al inicio y al final de los tratamientos mediante el método de extracción Soxhlet. El suelo agrícola muestreado presentó una concentración inicial de hidrocarburos de $30,000 \pm 236$ mg/kg de hidrocarburos de fracción pesada. La eficiencia de remediación más alta alcanzada fue de 46.10% empleando 10^6 conidios/g de suelo y 60 g/kg de suelo. Por lo tanto, este estudio provee las condiciones más adecuadas en las que se puede lograr la remediación de un suelo agrícola contaminado con hidrocarburos empleando tecnologías biológicas.

PALABRAS CLAVE

Bioaumentación; Bioestimulación; Eficiencia de remediación; Hongo hidrocarbonoclástico; Lombricomposta.

INTRODUCCIÓN

La contaminación por hidrocarburos de petróleo es uno de los casos más críticos de contaminación a nivel mundial, ocasionada por la falta de compromiso desde el ciudadano hasta las grandes industrias generadoras de este residuo peligroso (Salimnezhad *et al.*, 2021). La disposición final inadecuada de este residuo presenta efectos adversos al ambiente y a la salud humana, alterando las propiedades de cuerpos de agua, provocando desequilibrios en la flora y fauna, y afectando negativamente la calidad del suelo (De Mesa *et al.*, 2016).

La contaminación por hidrocarburos en el suelo ocurre debido a fugas y derrames durante su manipulación, prácticas de mantenimiento y disposición incorrecta (Téllez, 2017). La contaminación por hidrocarburos afecta la estructura del suelo, impide el intercambio gaseoso con la atmósfera e inhibe la actividad microbiana nativa, reduciendo la fertilidad y cobertura vegetal (De Mesa *et al.*, 2016).

Se han desarrollado diversas tecnologías de remediación para mitigar los efectos nocivos de este contaminante, incluyendo tratamientos físicos, químicos, térmicos y biológicos, siendo los procesos de biorremediación los más destacados por su bajo costo, tiempo de tratamiento y eficiencias de remoción (Garzón *et al.*, 2017).

La biorremediación utiliza las habilidades catalíticas de los organismos vivos para degradar y transformar contaminantes en ecosistemas terrestres y acuáticos, ofreciendo ventajas respecto a las tecnologías fisicoquímicas y térmicas al no requerir productos químicos, evitando así la generación de subproductos. Dependiendo del sitio, se pueden aplicar tecnologías *in situ* o *ex situ*, como la bioestimulación y la bioaumentación (Garzón *et al.*, 2017).

La bioaumentación es referida a la introducción de microorganismos degradadores del contaminante, mientras la bioestimulación requiere de la adición de enmiendas, como la lombricomposta, para proveer nutrientes a los microorganismos degradadores, y a su vez, mejorar la calidad del suelo y el crecimiento de las plantas (Bhat *et al.*, 2018; Daccó *et al.*, 2020).

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la remediación de un suelo agrícola contaminado con hidrocarburos empleando la bioaumentación con hongo hidrocarbonoclástico y la bioestimulación con lombricomposta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo del suelo

El muestreo se realizó con base en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). El muestreo fue realizado en forma aleatoria mediante el método de zig-zag, del cual se recolectaron 12 submuestras simples, de un predio agrícola con una superficie de 1.86 hectáreas localizado en el municipio de Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, México; con coordenadas geográficas centrales 22°55'28" N y 102°41'38" O. Posteriormente, se preparó la muestra utilizando el método AS-01 establecido en la norma mencionada.

Obtención de cultivos para preparar inóculos

Se realizaron resiembras de una cepa de hongo hidrocarbonoclasta asociada al género *Aspergillus*. Esta cepa fue previamente aislada e identificada del sitio de estudio. Por lo tanto, se contaba con ellas en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la UPIIZ-IPN. Para ello, se utilizó medio de cultivo PDA para la esporulación masiva de los hongos y preparar los inóculos utilizados para bioaumentar su presencia en las muestras de suelo. Esta preparación se realizó con base en Vélez *et al.* (1997), donde se prepararon volúmenes de agua destilada de entre 100 y 200 mL con Tween 80 al 0.01%. La concentración de conidios (esporas) por mililitro de inóculo fue cuantificada empleando una cámara de Neubauer.

Caracterización fisicoquímica de la lombricomposta

En el análisis de la lombricomposta comercial se utilizó 1 kg de muestra. La determinación de los parámetros fisicoquímicos de nitrógeno inorgánico y materia orgánica se realizó con el fin de determinar la cantidad de nitrógeno inorgánico y materia orgánica añadido a cada ensayo de remediación, estableciendo que las cantidades apropiadas están entre 30 y 90 g de lombricomposta por 1 kg de suelo.

Ensayos de biorremediación

Se montaron 9 ensayos por triplicado con 100 g de suelo cada uno. Se analizaron concentraciones de inóculo de 10^4 , 10^5 , y 10^6 conidios/g, y sus combinaciones con la adición de lombricomposta en cantidades de 30, 60 y 90 g/kg de suelo.

Cuantificación de la cantidad de hidrocarburos remanente

Al finalizar el tiempo empleado para cada uno de los ensayos (49 días), se cuantificó la concentración remanente de hidrocarburos mediante extracción Soxhlet, con el objetivo de determinar la eficiencia de remediación (porcentaje de remoción del contaminante) en cada ensayo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La muestra compuesta de suelo contaminada con hidrocarburos mostró tener una concentración inicial de hidrocarburos de $30,000 \pm 236$ mg/kg. Este valor fue 10 veces más alto que el límite establecido por la Norma Oficial Mexicana (3,000 mg/kg) para uso de suelo agrícola, forestal, pecuario y de conservación [SEMARNAT y SSA]. Por lo tanto, el sitio debe ser remediado a corto plazo.

El Cuadro 1 muestra los resultados referentes a los porcentajes de remoción de hidrocarburos en los ensayos de remediación.

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos de remediación, se puede observar que fueron favorables, logrando porcentajes de remoción de hidrocarburos entre 28.9% y 46.7% a los 49 días de tratamiento. Sin embargo, cuando se utiliza una concentración de inóculo de 10^6 conidios/g y 60 g/kg de lombricomposta, se logra una eficiencia de remediación del 46.1%. Por lo tanto, estos valores corresponden a las condiciones más apropiadas para llevar a cabo la remediación del suelo agrícola contaminado con hidrocarburos por bioestimulación y bioaumentación.

Kebede et al. (2021) reportaron que, en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, la eficiencia de remediación depende de varios factores bióticos y abióticos, pero los principales son las características del microorganismo utilizado, la disponibilidad de nutrientes, y la facilidad de utilizar como fuente de carbono el contaminante en cuestión. Por lo tanto, la eficiencia de las tecnologías biológicas probadas en este estudio se vio limitada por el potencial degradativo del hongo hidrocarbonoclasta (asociado al género *Aspergillus*) y la lombricomposta utilizados. Si bien, la lombricomposta es un fertilizante orgánico rico en nutrientes (nitrógeno, potasio, y fósforo) que estimula la actividad microbiana, el porcentaje de remoción del contaminante alcanzado fue 46.1%. Este nivel de eficiencia logrado está asociado principalmente con la capacidad del hongo para asimilar sustratos complejos (como los hidrocarburos) y biodegradarlos a partir de su metabolización. Sin embargo, este valor fue 1.2 veces más alto que el reportado por Medaura et al. 2021.

Cuadro 1. Resultados de los porcentajes de remoción de hidrocarburos en los ensayos de remediación.

Número de ensayo	Concentración de inóculo (conidios/g)	Lombricomposta (g/kg de suelo)	Porcentaje de remoción (%)	Promedio	Desviación estándar
1		30	28.9		
2	10 ⁴	60	33.2	30.7	1.8
3		90	30.1		
4		30	45.7		
5	10 ⁵	60	46.7	46.1	0.4
6		90	45.9		
7	10 ⁶	30	43.2		
8		60	41.7	41.9	0.9
9		90	40.9		

CONCLUSIONES

Una muestra de suelo agrícola mostró contaminación por hidrocarburos a una concentración diez veces más que el límite establecido por la normatividad mexicana, por lo que el sitio debe ser remediado en corto plazo. Asimismo, se probaron como tecnologías de remediación la bioaugmentación con un hongo hidrocarbonoclasta y la bioestimulación con lombricomposta, encontrando que la mayor eficiencia de remediación (46.1%) se logra cuando se utiliza una concentración de inóculo de 10⁶ conidios/g y una adición de lombricomposta de 60 g/kg en un tiempo de 49 días de tratamiento. Entonces, estos valores corresponden a las condiciones más apropiadas para llevar a cabo la remediación del suelo agrícola contaminado con hidrocarburos por técnicas de bioestimulación y bioaugmentación.

BIBLIOGRAFÍA

- Bhat, S. A., Singh, S., Singh, J., Kumar, S., y Vig, A. P. (2018). Bioremediation and detoxification of industrial wastes by earthworms: vermicompost as powerful crop nutrient in sustainable agriculture. *Bioresource Technology*, 252, 172-179. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.003>
- Daccò, C., Girometta, C., Asemoloye, M. D., Carpani, G., Picco, A. M., y Tosi, S. (2020). Key fungal degradation patterns, enzymes and their applications for the removal of aliphatic hydrocarbons in polluted soils: A review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 147, 104866. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.104866>
- De Mesa, J. B., Quintero, G., Vizcaíno, A. L., Cáceres, D. C., Riaño, S. M., y García, J. M. (2006). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. *Nova*, 4(5), 82-90.
- Garzón, J. M., Rodríguez, J. P., y Hernández, C. H. (2017). Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. *Revista Universidad y Salud*, 19(2), 309-318. <https://doi.org/10.22267/rus.171902.93>

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Kebede, G., Tafese, T., Abda, E. M., Kamaraj, M., Assefa, F. (2021). Factors influencing the bacterial bioremediation of hydrocarbon contaminants in the soil: mechanisms and impacts. *Journal of Chemistry*, 2021, 1-17. <https://doi.org/10.1155/2021/9823362>
- Medaura, M. C., Guivernau, M., Moreno-Ventas, X., Prenafeta-Boldú, F. X., Viñas, M. (2021). Bioaugmentation of Native Fungi, an Efficient Strategy for the Bioremediation of an Aged Industrially Polluted Soil With Heavy Hydrocarbons. *Frontiers in Microbiology*, 31(12), 626436. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.626436>
- Salimnezhad, A., Soltani, J. H., y Soorki, A. A. (2021). Effects of oil contamination and bioremediation on geotechnical properties of highly plastic clayey soil. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 13(3), 653-670. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2020.11.011>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 mod. 2002. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002#gsc.tab=0
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] y Secretaría de Salud [SSA]. (2013). NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación. *Diario Oficial de la Federación*. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5313544&fecha=10/09/2013
- Téllez, J. M. (2007). Absorción de petróleo crudo, diésel y aceite automotriz gastado por residuos lignocelulósicos y su aplicación como sistema de disposición de hidrocarburos. [Tesis de posgrado, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey]. <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/628475>
- Vélez, P., Posada, F., Marín, P., González, M., Osorio, E., Bustillo, A. (1997). Técnicas para el control de calidad de formulaciones de hongos entomopatógenos. *Cenicafé* (Ed.), Héctor Fabio Ospina Ospina (pp. 7-11).

RESPUESTA DE FERTILIZACIÓN EN CAÑA DE AZÚCAR, CON ÉNFASIS EN DOSIS DE NUTRIENTES Y FUENTES DE FÓSFORO

César Venegas^{1,*}; Oscar Pérez²; Ross Bender³

¹ Consultor MOSAIC Co. Para México y Centro América.

² The Mosaic Company | 8515 W. Third Ave. | Kennewick, WA. 99336.

³ The Mosaic Company (Virtual - U.S.). Atria Corporate Center Suite #W400. 3033 Campus Drive, Plymouth, MN 55441.

*Autor de correspondencia: cesarvenegas@agrys.com.mx

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar la respuesta de la caña de azúcar a diferentes programas de fertilización comparando la dosis y productos usados en la mezcla de fertilizantes actualmente en uso por el ingenio, y combinaciones de dosis de nutrientes y fuentes de P. Se eligió un lote representativo de los suelos locales, y a la fecha se presentarán resultados de 3 cosechas realizadas en los años 2022, 2023 y 2024. Se encontró respuesta significativa a dosis de nutrientes y a las nuevas fuentes de fósforo utilizados, debido a que son parámetros que representan una limitación al rendimiento actual. Los resultados podrán ser utilizados para planear la fertilización con adición de fósforo en el cultivo de la caña de azúcar para incrementar su productividad.

PALABRAS CLAVE

Saccharum officinarum; Nutrición Vegetal; Fertilizantes; MicroEssentials SZ.

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es una planta perenne, originaria de Nueva Guinea, perteneciente a la familia de las gramíneas que fue introducida en México en 1519. Desde entonces, su producción se ha expandido en la República Mexicana, cultivándose en una gran diversidad de ambientes climáticos y edáficos (Bautista et al., 2023). Por tratarse de una planta con metabolismo C₄, la caña es una planta muy eficiente en la transformación de CO₂ y energía solar en producción de materia seca con rendimientos superiores a las 180 ton/ha⁻¹. Por tratarse de un cultivo de elevada producción, su extracción de nutrientes minerales del suelo es alta, por lo tanto, una fertilización mineral fuerte para satisfacer estas necesidades. Además, la alta extracción anual de nutrientes del suelo, estos suelos cañeros muestran niveles de fertilidad medios a bajos, especialmente en N, P y K. Las variedades mejoradas de caña de azúcar tienen un alto potencial de rendimiento, pero para que puedan expresar ese potencial, tienen también una alta demanda de nutrientes que la planta necesita obtener desde el suelo. La fertilización tradicional es en base a mezclas físicas de fertilizantes granulados, destacando fuentes fosfatadas como MAP y DAP, principalmente y algunos fertilizantes complejos o mezclas químicas. Por lo cual el objetivo fue evaluar la respuesta de la caña de azúcar a diferentes programas de fertilización comparando la dosis y productos usados en la mezcla de fertilizantes actualmente en uso por el ingenio, y combinaciones de dosis de nutrientes y fuentes de fósforo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental: Esta investigación se realizó en un lote de la zona “El Zapotal”, Municipio El Mante, Tamaulipas, México, de propiedad de la Sra. Ma. Guadalupe Cobos Zamarripa. La siembra se estableció el 03 de septiembre del año 2020 con la variedad CP-72-2086, a razón de 14 yemas ml⁻¹. El tamaño de la parcela fue de 4 hileras separadas a 1,45 m, por 10 ml de largo (superficie de cada tratamiento = 58 m²). Diseño de Bloques al Azar, con 4 repeticiones. Se cosechó la parcela completa en cada tratamiento. Se tomó una muestra de suelo que fue analizada en el Laboratorio de Suelos y Plantas de FERTILAB, en Celaya, GTO (Fig. 1).

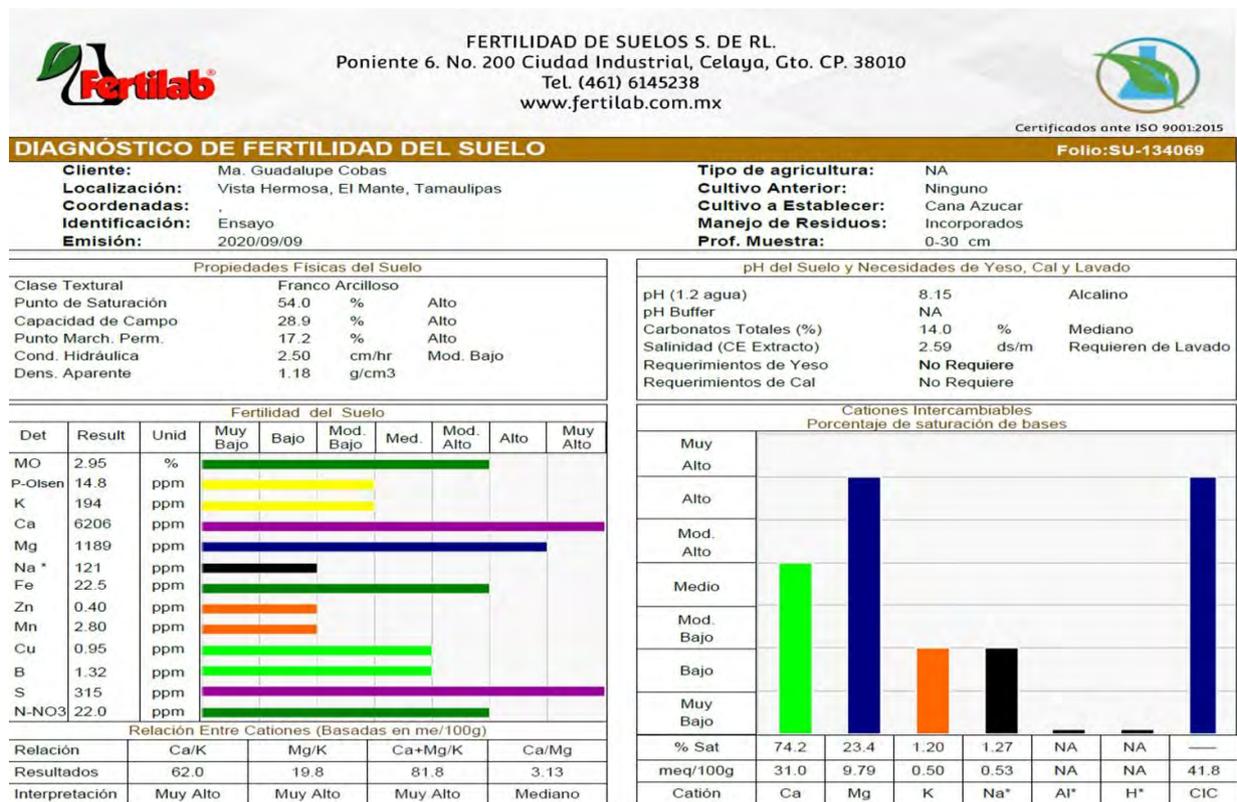


Figura 1. Resultados de Análisis de Suelos del lote del ensayo de caña de azúcar. Rangos encontrados en el Análisis: ALTO: pH, C.E., Ca, Mg, S y % de Mg en la Suma de Bases. ADECUADO: M.O., N, Fe, Cu, B, y % de Saturación de Ca. BAJO: P, K, Na, Zn, Mn, y % de K y Na.

A la fecha, se han realizado 3 cosechas, marzo del año 2022, 2023, y 2024. Los datos se analizaron utilizando un Modelo Lineal de Efectos Mixtos (MLEM) para modelar la variabilidad a través de diferentes sitios y repeticiones. El modelo se especificó con Rendimiento como variable dependiente, Tratamiento como Efecto Fijo, y Sitio y Repetición como Efectos Aleatorios. La fórmula del modelo es: Rendimiento ~ Tratamiento + (1 | Sitio) + (1 | Sitio: Repetición). El análisis estadístico de los modelos se realizó en R utilizando el paquete lme4. Para determinar los valores atípicos (outliers), cada sitio se ajusta por separado con un MLEM, y los valores atípicos se detectan a 2.5 desviaciones estándar del valor predicho. Después de eliminar los valores atípicos, los datos de todos los sitios se combinan y se ajustan con el MLEM.

La separación de medias se lleva a cabo con prueba tukey utilizando el paquete Emmeans en R.

Se establecieron 5 tratamientos, como se describen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos del Ensayo de Dosis de Nutrientes, con Fuentes de P.

Tratamiento		Total de nutrientes (kg ha ⁻¹)							
	Descripción	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO	Zn	B	kg ha ⁻¹
MAP	NPK+S Fertilización del Ingenio Cañero (0).	185	55	55	72				367
	NPK+S Fertilización Análisis de Suelo. Mayor Dosis (1).	250	100	100	36				486
MicroEssentials SZ	NPK+S+Zn A. Suelo, MicroEssentials SZ. > Dosis (2).	250	100	100	36		0.3		486
	NPK+S+Zn+Mg A, Suelo, MicroEssentials SZ y K-Mag (3)	250	100	100	60	20	0.3		530
	NPK+S+Zn+Mg A, Suelo, MicroEssentials SZ, K-Mag Premium y Granubor (4)	250	100	100	60	20	0.3	1.0	

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontró respuesta a los tratamientos evaluados, para el promedio de los 3 años de resultados. El tratamiento testigo (T1), fertilización normal, con fuentes de fertilizantes tradicionales, obtuvo un buen resultado (101.8 t ha⁻¹), pero menor a todo el resto de los tratamientos evaluados. Los resultados del análisis de suelo fueron determinantes para definir una dosis óptima, se detectó respuesta de T2, con la fuente de los fertilizantes tradicionales. Al cambiar la fuente de fósforo y mantener la dosis recomendada en base al análisis de suelos en el T3, se observó sinergia entre dosis de nutrientes y fuentes de fósforo, logrando un rendimiento promedio mayor a los anteriores tratamientos. Por otro lado, T4 y T5, con adición de Magnesio y Boro, respectivamente, no presentaron aumentos de rendimiento en las plantas evaluadas. Se estima que los altos aportes del suelo de Magnesio, y adecuados niveles de Boro, aportaron la cantidad suficiente para satisfacer la demanda requerida.

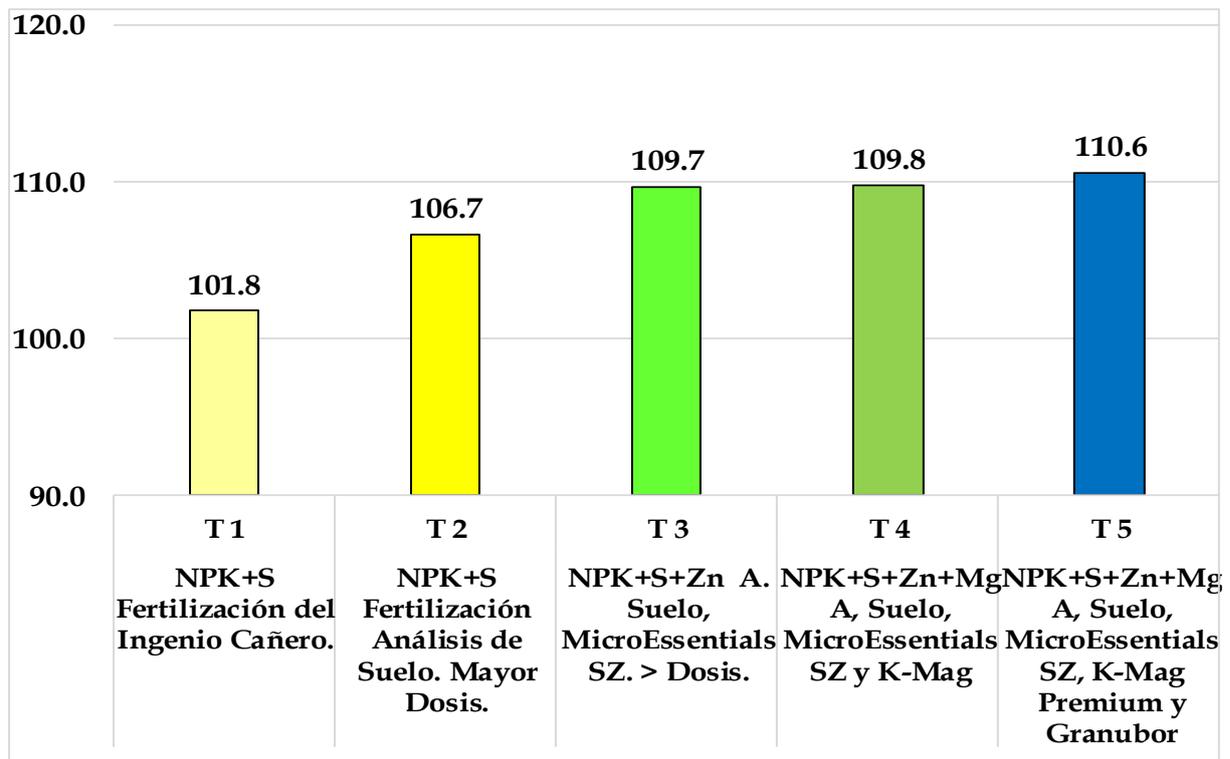


Figura 2. Rendimiento promedio de Caña (t ha⁻¹) bajo diferentes tratamientos.

Si bien todos los tratamientos superaron numéricamente el rendimiento del testigo T1, se encontró diferencia positiva estadísticamente significativa de MicroEssentials SZ (T3) sobre la fertilización del ingenio azucarero NPK (T1) y la mezcla de productos tradicionales con alta dosis NPK (T2). MicroEssentials SZ tuvo un aumento estimado de +7.93 t ha⁻¹ (7,8%) en el rendimiento de caña sobre la fertilización del ingenio azucarero NPK (T1), y en el rendimiento sobre los productos tradicionales con mayor dosis NPK (T2), produjo un aumento de +4.9 t ha⁻¹ (4,8%) de mayor producción.

CONCLUSIONES

Se incrementó la producción de caña de azúcar al incluir en los tratamientos dos parámetros importantes: dosis y fuentes de nutrientes. El uso del diagnóstico nutricional del suelo determinó aportes medios a bajos en los principales nutrientes, los cuales, al ser corregidos en cantidad y balance, permitieron un importante incremento en el rendimiento, versus la fertilización tradicional. Un segundo aporte al incremento del rendimiento fue el cambio de la fuente de P tradicional MAP (11-52-0) por MicroEssentials SZ (12-40-0 +10 S+1 Zn), nueva fuente granulada de fósforo que incluye dos fuentes de azufre y zinc de alta solubilidad. Por lo tanto, buena sinergia entre mejorar la dosis y cambiar la fuente de fósforo, en un suelo con bajo aporte de este nutriente.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cuadro 2. Rendimiento y comparación de respuesta en los Tratamientos del Ensayo de Dosis de Nutrientes, con Fuentes de P.

	Descripción	Tratamiento	Promedio t ha ⁻¹	Diferencia (kg ha ⁻¹)				
				vs T0	%	vs T2	vs T3	vs T4
MAP	NPK+S Fertilización del Ingenio Cañero.	T1	101.8					
	NPK+S Fertilización Análisis de Suelo. Mayor Dosis.	T2	106.7	4.90	4.8%			
MicroEssentials SZ	NPK+S+Zn A. Suelo, MicroEssentials SZ. > Dosis.	T3	109.7	7.93	7.8%	3.03		
	NPK+S+Zn+Mg A, Suelo, MicroEssentials SZ y K-Mag	T4	109.8	7.98	7.8%	3.08	0.06	
	NPK+S+Zn+Mg A, Suelo, MicroEssentials SZ, K-Mag Premium y Granubor	T5	110.6	8.82	8.7%	3.92	0.83	0.83

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el patrocinio de Mosaic Co., ISAOSA, Agroquímicos CHENO, Fertilab, y en especial al Ingenio Cañero El Mante por el aporte de sus profesionales y trabajadores durante toda la ejecución de este trabajo de investigación aplicada.

BIBLIOGRAFÍA

- Bautista Diaz, S. F. (2023). Biomasa forrajera de alfalfa (*Medicago sativa*), variedad 1001 con diferentes dosis de fosforo (P) en Chota.
- Hernández-Mendoza, T. M., & Galvis-Spinola, A. (2017). Productividad de la caña de azúcar por régimen hídrico y uso de fertilizantes en suelos someros. *Interciencia*, 42(4), 218-223.
- Manual Azucarero Mexicano. Publicación anual – varios años. Cía. Editora del Manual Azucarero, S.A, de C.V., Río Niágara # 11, Col Cuauhtémoc. CP 06500, Ciudad de México. ISBN 968-5266-07-7.
- Sieiro Miranda, G. L., González Marrero, A. N., Rodríguez Lema, E. L., & Rodríguez Regal, M. (2020). Efecto de los macroelementos primarios en la susceptibilidad a enfermedades. *Centro Agrícola*, 47(3), 66-74.

SALUD AGROECOLÓGICA DE PARCELAS DE NOPAL EN SAN MARTÍN DE LAS PIRÁMIDES, ESTADO DE MÉXICO

Esmeralda Concepción, Mendoza-Solis^{1,2}; Judith Castellanos-Moguel¹; Gilberto Vela-Correa²

¹Laboratorio de Micología, Departamento El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana, 04960, Ciudad de México, México. ²Laboratorio de Edafología y Absorción Atómica, Departamento El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana, 04960, Ciudad de México, México. emendozas@correo.xoc.uam.mx

RESUMEN

Uno de los cultivos más importantes en la economía rural de las zonas áridas y semiáridas es el nopal (*Opuntia* spp.) Sin embargo, el manejo convencional de los suelos agrícolas como el laboreo, el uso de maquinaria y el uso de agroquímicos han aumentado la degradación de suelos y se ha disminuido la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el estado de salud de parcelas cultivadas con nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*), nopal tunero (*Opuntia amyclaea*) y nopal de xoconostle (*Opuntia joconostle*). Para ello se realizó el aislamiento de hongos, así como la determinación de las propiedades fisicoquímicas y la evaluación del estado de salud de las parcelas. Todas las parcelas presentaron promedios menores a 7, es decir bajos. En cuanto a salud del suelo y salud microbiológica, la parcela de nopal tunero obtuvo el promedio más alto (6.9 y 5.1, respectivamente) debido a la cobertura vegetal y la cantidad de materia orgánica. La parcela de xoconostle presentó el valor más alto en salud del cultivo, pero el menor promedio de salud del suelo y salud microbiológica (5.6, 4.9 y 3.3, respectivamente). Los resultados evidencian la necesidad de implementar medidas de manejo diferentes. Además, este método permite estimar la sustentabilidad a lo largo del tiempo y evaluar diferentes tipos de manejo.

PALABRAS CLAVE

Opuntia; Sustentabilidad; Zonas áridas; Estado de salud.

INTRODUCCIÓN

Uno de los cultivos más importantes en la economía rural de las zonas áridas y semiáridas es el nopal (*Opuntia* spp.) y en México presenta aproximadamente 53 876 hectáreas cultivadas (Ochoa y Barbera, 2018). Es una planta perenne que puede vivir hasta 80 años y es considerada como una alternativa para contrarrestar los efectos del cambio climático, para la conservación del suelo, del agua y de la fauna (Amaya, 2009), aunado a esto, su aprovechamiento económico es alto.

El manejo convencional de los suelos agrícolas como el laboreo, el uso de maquinaria, pesticidas y fertilizantes inorgánicos, han incrementado la degradación de suelos y con ello, la abundancia y diversidad de microorganismos han disminuido (García *et al.*, 2006; Báez-Pérez, 2008; García de Salamone, 2011; Correa, 2013; Hernández *et al.*, 2014; FAO, 2019). Esto conlleva cambios negativos en sus

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

propiedades y procesos, lo que produce una baja en sus funciones y servicios ecosistémicos, así como una disminución en la producción.

Lo anterior hace necesario realizar una evaluación constante del estado de salud de las parcelas de nopal, abordándolas como agroecosistemas, es decir, tomando en cuenta el ambiente, cultivo y la sociedad. Además, puede ayudar a analizar el efecto de distintos manejos aplicados a lo largo del tiempo.

El término salud también se ha relacionado con el concepto de sostenibilidad, en este sentido, Altieri y Nicholls (2002), mencionan que un agroecosistema sustentable o saludable es aquel sistema diversificado, con un suelo rico en materia orgánica y biológicamente activo, ya que contribuye a la fertilidad edáfica, la fitoprotección y la productividad.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el estado de salud de parcelas de nopal (*Opuntia* spp.) en San Martín de las Pirámides, Estado de México, municipio que ocupa el primer lugar en producción de tuna a nivel estado y donde más de la mitad del área agrícola se dedica al cultivo del nopal (De Jesús-Vicente, 2014; SMP, 2019).

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en San Martín de las Pirámides, municipio ubicado en la porción nororiente del Estado de México (Fig. 1), entre las coordenadas 19°37'05" y 19°46'20" latitud Norte y 98°42'03" y 98°53'27" longitud Oeste, a una altitud de 2302 msnm (SMP, 2019).

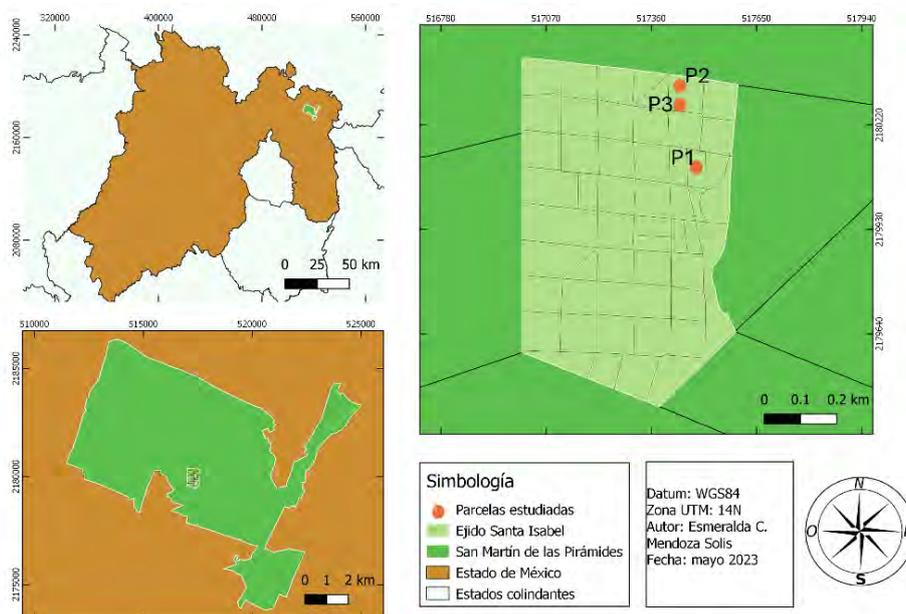


Figura 1. Mapa área de estudio, elaboración propia mediante Qgis 3.6

Se ubicaron 3 zonas de muestreo en parcelas con diferentes especies de nopal del ejido Santa Isabel: 1) nopal tunero (*Opuntia amyclaea*), 2) nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*), 3) nopal de xoconostle (*Opuntia joconostle*).

En cada parcela se seleccionó una planta ubicada en el centro y, a una distancia de 30 cm, se tomó una muestra de suelo de 1 kg para determinar sus propiedades físicas y químicas. Adicionalmente se tomó otra muestra de 200 g para el análisis

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

microbiológico la cual se colocó en una bolsa dentro de una hielera a temperatura de 4°C hasta su análisis.

En el laboratorio se realizó el aislamiento de hongos utilizando el método de placas de Warcup modificado (Mier *et al.*, 2013). Posteriormente se identificaron nivel de género mediante la observación microscópica de sus estructuras de reproducción y con el apoyo de claves dicotómicas de Watanabe (2002), Barnett *et al.* (1987) y Samson *et al.* (1984). Así mismo, se aislaron bacterias mediante el método de siembra en placa por extensión, seguido de tinción de Gram y el registro de su morfología. Finalmente, los parámetros físicos y químicos del suelo se determinaron de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000.

Para la evaluación del estado de salud se aplicó un índice realizado con base en el “método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales” propuesto por Altieri y Nicholls (2002). Éste índice se compone de dos apartados, los cuales se mantuvieron, sin embargo, estos fueron adaptados para ser específicos al cultivo del nopal y a una región semiárida; además se añadió un tercer apartado que incluye el análisis microbiológico del suelo.

Los apartados propuestos en esta investigación son: 1) Salud del suelo, donde se incluyeron los parámetros fisicoquímicos del suelo, al igual que observaciones directas en campo; 2) Salud microbiológica del suelo, que incluyó la densidad y diversidad de bacterias y hongos, así como la presencia de microorganismos patógenos; 3) Calidad del cultivo, donde se incluyeron aspectos como la apariencia de las plantas y el manejo que se le da a las parcelas.

Cada uno de los apartados contienen indicadores a los que se les otorgan valores que van del 1 al 10, posteriormente se promedian y el valor obtenido indica el estado de salud de cada una de las parcelas. Para representar las calificaciones obtenidas, se realizaron gráficos radiales que, de acuerdo con Altieri y Nicholls (2002), cuando las líneas se acercan más al exterior de la gráfica (promedio cercano a 10) indica que se encuentran en mejores condiciones o que es más sostenible el sistema; por el contrario, aquellas que presentan un promedio menor a 5 se encuentran por debajo del umbral de sostenibilidad, lo que también permite hacer notar aquellos indicadores en los que se deben enfocar los cambios en el manejo agrícola.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todas las parcelas presentaron promedios bajos (menores a 7) en los tres apartados, lo que indica que necesitan un manejo diferente. El comportamiento de los diferentes indicadores se puede observar en los gráficos radiales (Fig. 2).

En cuanto a la salud del suelo, la parcela con cultivo de nopal tunero (P1) presentó un promedio mayor (6.9) con respecto al resto de las parcelas (5.5 en parcela de nopal verdura y 5.5 en nopal de xoconostle), esto indica que es más saludable y, por lo tanto, más sostenible. Lo anterior está relacionado a que tienen el suelo cubierto con vegetación herbácea lo que genera un mayor aporte de materia orgánica (Muñoz-Iniesta *et al.*, 2009); se ha demostrado que los valores altos de materia orgánica favorecen la porosidad del suelo y disminuyen la compactación (Larios-González, 2014). En la parcela de nopal verdura (P2) y nopal de xoconostle (P3) es necesario tomar medidas en estos indicadores, como la aplicación de compostas o estiércol.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

En el apartado de la salud microbiológica del suelo se presentan diferencias más notorias entre una parcela y otra, ya que los microorganismos son muy sensibles a los cambios en el medio. Además, sus ciclos de vida son más cortos y por lo tanto pueden mostrar impactos en un periodo de tiempo más corto (González-Chávez *et al.*, 2004; Moreno *et al.*, 2015). La parcela de nopal tunero, presentó un promedio más alto (5.1) debido a la alta abundancia de hongos y bacterias, relacionado a la alta cantidad de materia orgánica, poco manejo agrícola y la aplicación ocasional de agroquímicos, lo que permite un mejor desarrollo de los microorganismos (Moreno *et al.*, 2015; Pacasa-Quisbert *et al.*, 2017).

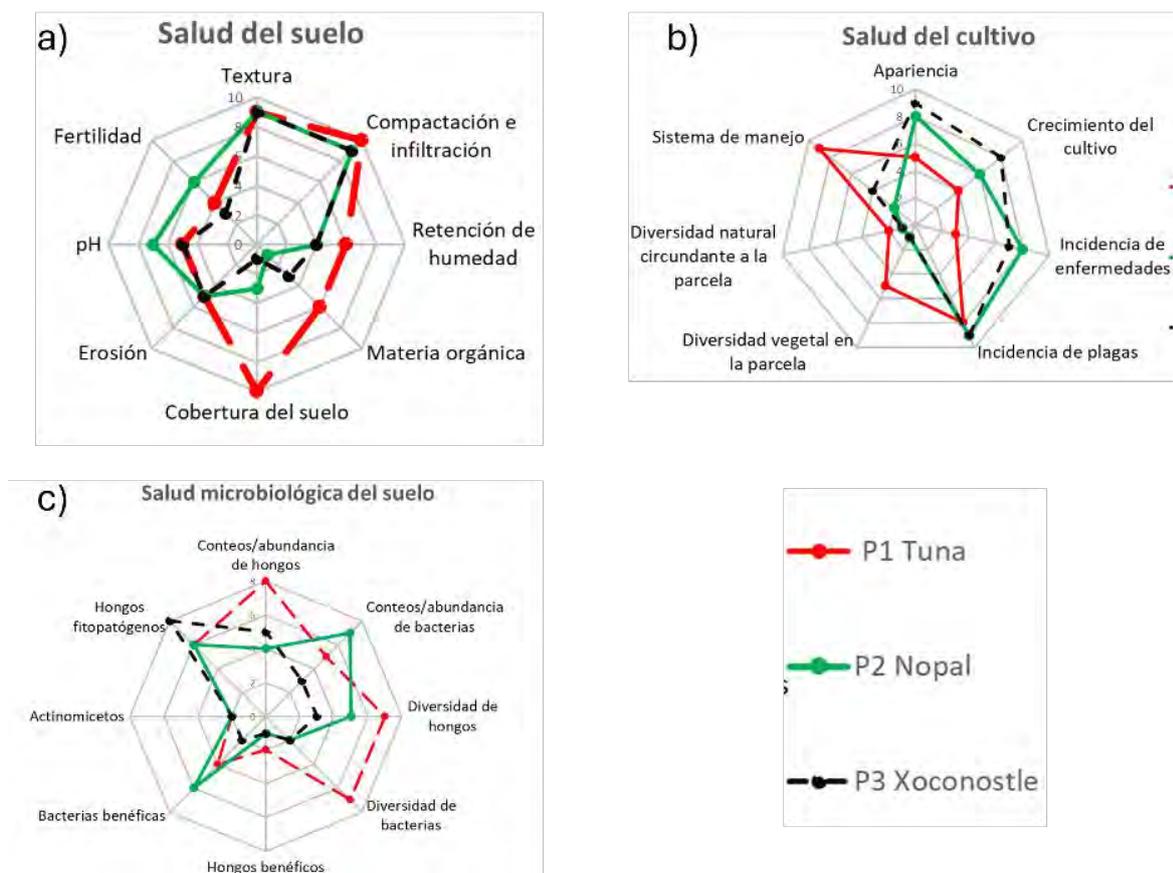


Figura 2. Gráficos radiales que muestran el estado de salud de las parcelas de nopal.

Los resultados del apartado de salud del cultivo revelan que la parcela de nopal de xoconostle obtuvo el valor más alto (5.6) debido a una buena apariencia, crecimiento vigoroso y baja incidencia de enfermedades, atribuible posiblemente al intensivo uso de agroquímicos que temporalmente mejoran el aspecto y la productividad. Este apartado se centra, principalmente, en la apariencia de las plantas, lo que podría ofrecer una percepción errónea de salud general. Sin embargo, el análisis de la salud del suelo y la salud microbiológica indican una degradación significativa del suelo en esta parcela.

CONCLUSIONES

Todas las parcelas presentaron un bajo estado de salud, por lo tanto, es crucial implementar medidas de manejo diferenciadas para mantener cultivos con alto rendimiento y conservar la salud fisicoquímica y microbiológica. Se recomienda aumentar la abundancia y diversidad de hongos y bacterias mediante la introducción de cultivos de cobertura, lo cual aumentará la de materia orgánica, la retención de humedad y mejorará las condiciones fisicoquímicas del suelo.

Es necesario realizar análisis tanto fisicoquímicos como microbiológicos del suelo en parcelas de nopal, ya que la apariencia de las plantas puede estar influenciada por factores externos como el manejo agrícola intensivo y el uso de agroquímicos, que pueden enmascarar problemas de degradación de los suelos. Además, el uso excesivo de agroquímicos puede llevar a una dependencia prolongada, aumentando los costos de producción.

BIBLIOGRAFÍA

- Altieri, MA. & Nicholls, CI. (2002). Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales. *Manejo integrado de Plagas y Agroecología*, 64, 17-24.
- Amaya, JE. (2009). *El cultivo de tuna Opuntia ficus indica*. Gerencia Regional Agraria La Libertad. Perú.
- Correa, O. (2013). Los microorganismos del suelo y su rol indiscutido en la nutrición vegetal. En: Díaz-Zorita, M., Correa, O., Fernández-Canigia, MV. y Lavado, RS. (Ed.) *Tercera jornada del instituto de investigaciones en biociencias agrícolas y ambientales, aportes de la microbiología a la producción de cultivos*. Buenos Aires.
- García de Salamone, IE. (2011). Microorganismos del suelo y sustentabilidad de los agroecosistemas. *Revista Argentina de Microbiología*, 43(1), 1-3.
- Larios-González, RC., Salmerón-Miranda, F. & García-Centeno, L. (2014). Fertilidad del suelo con prácticas agroecológicas y manejo convencional en el cultivo de café. *Revista Científica*, 14(23), 67-75.
- Mier, T., Rivera-Becerril, F., Ayala-Zermeño, MA., Toriello, C., Aguilar-Ogarrio, S. & Ulloa, M. (2013). *Métodos experimentales para el estudio de hongos microscópicos*. Instituto de Biología de la Universidad Autónoma de México y Universidad Autónoma Metropolitana.
- Muñoz-Iniesta, DJ., López, GF., Hernández, MM., Soler, AA. & López, GJ. (2009). Impacto de la pérdida de la vegetación sobre las propiedades de un suelo aluvial. *Terra Latinoamericana*, 27(3), 237-245.
- Ochoa, MJ. y Barbera, G. (2018). Historia e importancia agroecológica y económica del nopal. En: Inglese, P., Mondragón, C., Nefzaoui, A. y Saénz, C. (Ed.). *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal*. FAO.
- Pacasa-Quisbert, F., Loza-Murgia, MG., Bonifacio-Flores, A.,Vino-Nina, L. & Serrano-Canaviri, T. (2017). Comunidad de hongos filamentosos en suelos del Agroecosistema de K'iphak'iphani, comunidad Choquenaira-Viacha. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 8(1), 2-25.

SEGUIMIENTO DE LA TRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS MEDIANTE LA CROMATOGRAFÍA CIRCULAR DE PFEIFFER

Lucia Socorro Gutiérrez-González¹; Ofelia Adriana Hernández-Rodríguez^{1*}; Jorge Alfonso Jiménez-Castro¹; Dámaris Leopoldina Ojeda-Barrios¹; Rocío Sánchez-Rosales¹

¹Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua. Avenida Universidad y Avenida Pascual Orozco s/n, 31110, Chihuahua, Chih., México. *aernande@uach.mx

RESUMEN

La incorporación de abonos orgánicos representa una alternativa para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, sin embargo, para ser usados de forma segura es esencial evaluar su calidad. Usualmente los métodos de análisis convencionales no siempre están al alcance del productor, para ello, la cromatografía circular de Pfeiffer representa una alternativa económica, de aplicación sencilla y respetuosa con el medio ambiente, que puede dar a conocer la calidad de los abonos orgánicos. Se evaluó la eficiencia de la cromatografía de Pfeiffer para detectar cambios durante el proceso de transformación de residuos orgánicos en la obtención de abonos orgánicos mediante semicompostaje y vermicompostaje. Los resultados muestran que la cromatografía de Pfeiffer representa una buena alternativa para monitorear los cambios que se presentan conforme la evolución de los procesos de transformación.

PALABRAS CLAVE

Análisis; Calidad; Semicomposta; Vermicomposta.

INTRODUCCIÓN

El suelo agrícola enfrenta serios problemas de contaminación derivado de prácticas agronómicas inadecuadas, ocasionando diversas afectaciones como compactación, salinización, pérdida de materia orgánica y disminución del contenido nutrimental (Escobar y Carlosama, 2021; Iderawumi *et al.*, 2022). La incorporación de abonos orgánicos (AO) como la semicomposta y vermicomposta, representa una práctica de manejo importante para rehabilitar los suelos por su capacidad de mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Hernández *et al.*, 2021).

Entre los AO, el semicompostaje se caracteriza por ser un proceso de transformación de residuos orgánicos (RO) que no alcanza la fase termofílica (Herrera-Ortiz *et al.*, 2015), y el vermicompostaje por utilizar diferentes especies de lombrices de tierra para mejorar el proceso de transformación de los residuos (Islam *et al.*, 2016).

Para garantizar la seguridad del uso de AO y disminuir el impacto ambiental es fundamental evaluar su calidad (Delgado *et al.*, 2019). Sin embargo, los análisis químicos convencionales son procedimientos costosos que requieren de tiempo y que no siempre están al alcance del productor (Ford *et al.*, 2019). Para ello, la evaluación cromatográfica de Pfeiffer (CCP) representa una valiosa alternativa (Chilon, 2018). La CCP es una técnica de análisis cualitativo, la cual, a través de sus zonas, colores formas

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

e interrelaciones, ofrece un diagnóstico del estado de descomposición de la materia orgánica, permitiendo el seguimiento de la evolución de los AO, además de ser una técnica integral, económica y de fácil acceso (Domingues, 2018; Chilon, 2018; Burle y Figueiredo, 2019).

Se han publicado varios trabajos aplicando esta técnica que aportan valiosa información para su comprensión (Medina *et al.*, 2018; Balmaseda *et al.*, 2021; Barros y Siqueira, 2022). Sin embargo, es importante continuar probando su uso y contribuir en su validación (Burle y Figueiredo, 2019). Por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia de la cromatografía de Pfeiffer para detectar cambios durante el proceso de transformación de residuos orgánicos en la obtención de abonos orgánicos mediante semicompostaje y vermicompostaje.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, México. El periodo del experimento fue de 183 días. Se elaboró una mezcla inicial con una relación C/N igual a 25/1 (Rahman *et al.*, 2020), a partir de estiércol bovino y aserrín de pino como fuente de nitrógeno y carbono, respectivamente, la cual se sometió a los procesos de semicompostaje y vermicompostaje. El contenido de humedad en semicomposta (SC) se mantuvo entre el 50-60% (Muñoz *et al.*, 2015) y para vermicomposta (VC) entre 70 y 85% (Llivicura *et al.*, 2021). En el caso de VC seis días transcurridos después de establecido el experimento (DEE) se inocularon 10 lombrices adultas de la variedad roja californiana (*Eisenia fetida*) por litro de sustrato (Sánchez-Rosales *et al.*, 2019) Se establecieron tres repeticiones por tratamiento.

Se realizaron cinco muestreos a los 4, 35, 68 155 y 183 DEE. Se recolectaron 500 g de muestra de cada reactor, se secaron a temperatura ambiente a la sombra y posteriormente se tamizaron en malla No. 20.

Para el análisis integral mediante CCP, las muestras se analizaron de acuerdo a lo descrito por Restrepo y Pinheiro (2011). Se identificó el color de cada una de las zonas de los cromatogramas: zona central (ZC), zona interna (ZI), zona intermedia (ZINT) y zona externa (ZE) siguiendo el patrón de colores para cromatografía de Pfeiffer. Se identificó la integración entre la ZC, ZI y ZINT, la presencia de radiales en la ZI y ZINT y dientes en la ZE (Restrepo y Pinheiro, 2011) (Figura 1a y 1b).

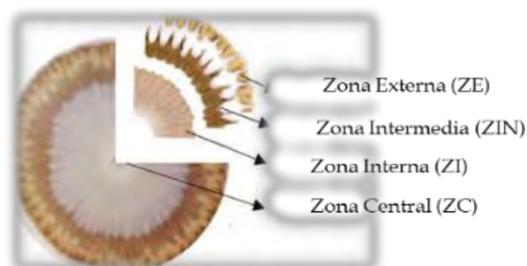


Figura 1a. Zonas del cromatograma en la cromatografía de Pfeiffer (Restrepo Pinheiro, 2011)

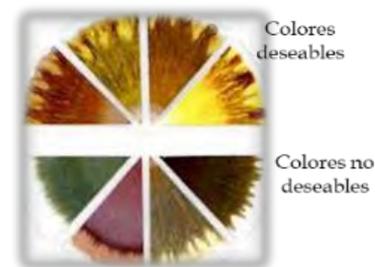


Figura 1b. Patrón de colores en la cromatografía de (Pfeiffer Restrepo y Pinheiro, 2011)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evolución y similitud de los cambios observados en los cromatogramas, permitió agruparlos en tres etapas, en la etapa uno del inicio del proceso (IP) se consideró el muestreo de los 4 DEE, en la etapa dos o mitad del proceso (MP) se incluyeron los muestreos de los 35 y 68 DEE, y la etapa tres o final del proceso (FP) los muestreos de los 155 y 183 DEE.

Los cromatogramas obtenidos tanto de SC como de VC mostraron en la etapa IP, a la ZC en color deseable blanco cremoso, lo que indica presencia de oxígeno (Restrepo y Pinheiro, 2011), mientras que la ZI identificada como zona mineral, se observó color no deseable. La ZINT presentó color deseable, sin embargo, no se integró con la ZI. La falta de integración entre estas zonas indica la presencia de materia orgánica que aún no se descompone (Bracamontes *et al.*, 2018). Los radiales que surgen a partir del límite de la ZC hasta la ZINT se presentaron de color no deseable. En la ZE se observó la presencia de escasos bordes o dientes no uniformes (Figura 2a y 2d).

En la etapa MP el color de la ZC continúa siendo color deseable, en la ZI se observó cambio a color deseable en ambos abonos y los radiales cambiaron a color deseable en tono café, que indica presencia de sustancias orgánicas asociadas a minerales con diferentes grados de solubilidad (Bracamontes *et al.*, 2018), la ZE continuó con dientes poco uniformes (Figura 2b y 2e).

En los cromatogramas de la FP para ambos procesos de transformación, se observó una disminución en el tamaño de la ZC en color deseable, la ZI y ZE se observaron en color deseable e integración entre zonas, lo que revela buena actividad biológica asociada a la materia orgánica (Restrepo y Pinheiro, 2011). Los dientes presentes en la ZE se observaron bien desarrollados y uniformes, que indica buena actividad biológica y enzimática (da Cruz *et al.*, 2023). Follador y Pfeiffer *et al.* (2015) determinaron la buena calidad de la composta a través de evaluación cualitativa (Figura 2c y 2f).

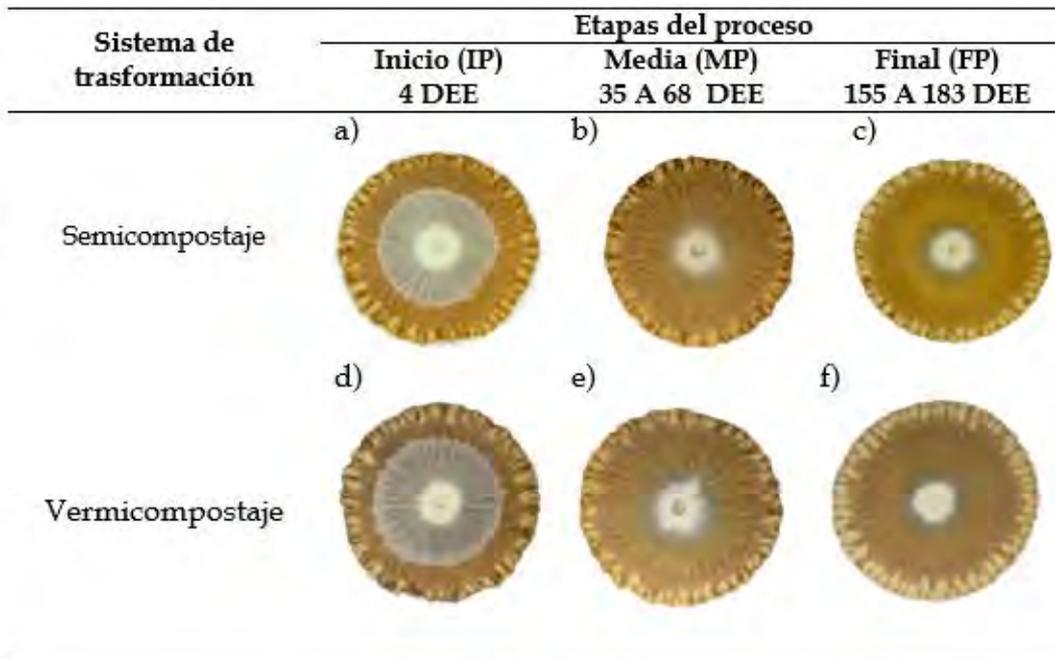


Figura 2. Cromatogramas generados del análisis de semicomposta y vermicomposta de las etapas: inicio (IP), mitad (MP) y final (FP) del proceso de transformación. Días después de establecido el proceso (DEE).

CONCLUSIONES

Los cromatogramas correspondientes al inicio del proceso tanto de semicompostaje como de vermicompostaje mostraron colores y características no deseables. Durante la etapa media de los procesos se observó una evolución en los colores y características, sin embargo, fue en la etapa final donde se observaron colores deseables, integración entre ZI y ZINT y dientes uniformes en la ZE. Por lo que la cromatografía de Pfeiffer representa una buena alternativa para monitorear los cambios que se presentan conforme la evolución del proceso de transformación.

LITERATURA CITADA

- Arteaga-Barrueta, M., Yesca-Jarquín, C., Álvarez-González, A., Otaño-Corona, L., Pino-Roque, J. A., Evangelista, A. C., & Reyes-Rodríguez, R. (2021). Radial chromatography for systemic monitoring of soils with different management. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30(3).
- Balmaseda E., C. E., Quevedo-Pinos, N., & Cercado-Quiñonez, E. (2021) Evaluación cualitativa de suelos de la parroquia colonche mediante cromatografía de Pfeiffer.
- Barros, C. E., & Silveira Franco, F. (2022). Contribuições da cromatografia circular de Pfeiffer para análise da saúde do solo. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 31(2), 395-413
- Bracamontes, L., Fuentes, M., Rodríguez, L., & Macedas, J. (2018). Manual de indicadores biológicos de la salud del suelo.
- Burle, E. C., & Figueiredo, R. T. (2019). Uso da Cromatografia Circular Plana em diferentes concentrações para análise de solo e de compostos orgânicos. *Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE*, 5(2), 19-19.
- Chilon C. E. (2018). Heuristic of Altoandino compost, scientific findings and its contribution to the "Living Soil" paradigm. *APTHAPI*, 4, 1212.
- da Cruz, S. N., Ferreira, Z. N., Silva, C. D. T., dos Santos, J. B., de Oliveira, M. V., de Oliveira Araújo, W., ... & de Oliveira Felix, M. A. (2023). Qualidade do solo estimada por técnicas de baixo custo: cromatografia de Pfeiffer como ferramenta de avaliação agrícola e ambiental de solos na agricultura familiar. *Revista Valore*, 8, 85-102.
- Delgado A., M. D. M., Mendoza López, K. L., González, M. I., Tadeo Lluch, J. L., & Martín Sánchez, J. V. (2019). Evaluación del proceso de compostaje de residuos avícolas empleando diferentes mezclas de sustratos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(4), 965-977.
- Domingues, S., Contini, R., Maia, M., Farina, É., Gabardo, G., & Ribeiro, A. (2018). Conhecimento agroecológico através da experimentação da Cromatografia de Pfeiffer, uma análise qualitativa dos solos. *Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp*, 932-940.
- Escobar, T. C. P., & Carlosama, A. R. (2021). Impacto del biocarbón en el suelo agrícola. *Avances Investigación en Ingeniería*, 18(2).
- Follador, B., & Pfeiffer, E. (2015). Portraying soils and compost: Color, form, and pattern. *Context*, 34, 7-8.
- Ford, B., Cook, B., Tunbridge, D., & Tilbrook, P. (2019). Using paper chromatography for assessing soil health in south western Australia. Centre of Excellence in Natural Resource Management, University of Western Australia. Albany, WA.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Hernández R., O. A., Ávila Q., G. D., & García, S. A. (2021). Situación actual del recurso suelo en México y la incorporación de abonos orgánicos como estrategia para su conservación.
- Herrera-Ortiz, V., Hernández-Rodríguez, O. A., González-Franco, A. C., Núñez-Barrios, A., Robles-Hernández, L., & Pérez-Leal, R. (2015). Identificación de bacterias cultivables patógenas al humano en semicompostas de residuos agrícolas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(6), 1189-1201.
- Iderawumi, A. M., & Kamal, T. O. (2022). Green manure for agricultural sustainability and improvement of soil fertility. *Farming and Management*, 7(1), 1-8.
- Islam, M. S., Hasan, M., Rahman, M. M., Uddin, M. N., & Kabir, M. H. (2016). Comparison between vermicompost and conventional aerobic compost produced from municipal organic solid waste used in *Amaranthus viridis* production. *Journal of Environmental Science and Natural Resources*, 9(2), 43-49.
- Llivicura, M. F. A., Rodriguez, J. H. V., Vasquez, L. M. L., Piña, J. C. G., Rocano, M. S. V., & Díaz, M. D. C. M. (2021). Influencia del vermicompost y sus lixiviados sobre la germinación de hortalizas en un suelo sódico. *Journal of Science and Research*, 6(2).
- Medina Saavedra, T., Arroyo Figueroa, G., & Peña Caballero, V. (2018). Cromatografía de Pfaffier en el análisis de suelos de sistemas productivos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(3), 665-673.
- Muñoz, J., Dorado, J., & Pérez, E. H. (2015). Sistema de compostaje y lombricompostaje aplicado en residuos orgánicos de una galería municipal. *suelos Ecuatoriales*, 45(2), 72-83
- Rahman, M. M., Bhuiyan, M. S. H., Rouf, M. A., Sarker, R. R., & Rashid, M. H. (2020). Quality assessment of municipal solid waste compost. *Acta Chemica Malaysia*, 4(1), 33-39
- Restrepo, R. J. y Pinheiro, S. (2011). *Cromatografía. Imágenes de vida y destrucción del suelo*. Feriva, S. A. Cali, Colombia. ISBN: 978-958-44-8582-3.
- Sánchez-Rosales, R., Hernández-Rodríguez, O. A., Jiménez-Castro, J. A., Ojeda-Barrios, D. L., Guerrero-Prieto, V. M., & Parra-Quezada, R. A. (2019). Modelos de predicción del índice de madurez de abonos orgánicos producidos con tres procesos de transformación. *Información Técnica Económica Agraria*, 115(3).

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO BASE CÁSCARAS DE NARANJA Y GRANADA, PARA ADSORCIÓN DE ARSÉNICO

Graciela Alonso Machado¹; Jorge Arnaldo Orozco Vidal¹; Pablo Yescas Coronado¹; José Alfredo Montemayor Trejo¹; René Israel Rodríguez Beltrán²; Vicente de Paul Álvarez Reyna³

¹Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico de Torreón (ITT), Carretera Torreón-San Pedro km 7.5, Ejido Ana, Torreón, Coahuila, C.P. 27170, México. ²Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Unidad Monterrey (CICESE-UMTY), Alianza Centro 504, Parque de Investigación e Innovación Tecnológica (PIIT), Apodaca, Nuevo León, C.P. 66629, México. ³Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna (UAAAN-UL), Periférico Raúl López Sánchez, Valle Verde, Torreón, Coahuila, C.P. 27054, México.

*Email joorvi66@hotmail.com

RESUMEN

El arsénico es un elemento presente tanto en el agua como en el suelo, que puede causar diversas afecciones a la salud humana, si se encuentra por encima de los límites máximos permisibles, establecidos en las normas nacionales e internacionales. El objetivo de este trabajo consistió en probar diferentes métodos de activación del carbón base cáscaras de naranja y granada, para obtener la mayor área superficial posible. En este estudio se sintetizaron cuatro tipos de carbón activado (dos de cáscaras de naranja y dos de cáscaras de granada), utilizando dióxido de carbono y ácido fosfórico. Dichos carbones activados se caracterizaron por el método BET (Brunauer-Emmett-Teller) para obtener el área superficial específica y por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), para conocer su morfología. Así mismo se realizó la caracterización de las cáscaras de naranja y granada antes de las síntesis. Los resultados muestran que el carbón activado obtenido de la cáscara de naranja sintetizada a 800°C con atmósfera de dióxido de carbono, tiene un área superficial de 812.3 m²g⁻¹, mientras que para la cáscara de granada con ácido fosfórico a 500°C es de 1435.6 m²g⁻¹, siendo este el valor más alto. Con base en estos resultados, nuestro estudio proporcionará información significativa sobre que ruta seguir para la aplicación de los carbones activados en la remediación de agua y suelo contaminados.

PALABRAS CLAVE

Agua; Área superficial; Biocarbón; Suelo.

INTRODUCCIÓN

El arsénico (As) es un metaloide que se ha convertido en un considerable contaminante ambiental debido a su toxicidad y extensa distribución (Yin et al., 2019). El arsénico se encuentra en el agua principalmente en forma de arsenito (III) y arseniato (V) (Benis et al., 2021). La purificación del agua potable es uno de los mayores problemas en todo el mundo, especialmente en las zonas rurales y remotas donde la disponibilidad de agua apta para el consumo humano es limitada (Ratan et al., 2018).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Entre las numerosas consecuencias para la salud asociadas a la exposición crónica al As se encuentran la dermatitis, el cáncer de piel, pulmón y vejiga, la neurotoxicidad, la hipertensión, la diabetes, enfermedades cardiovasculares y respiratorias (Alchouron *et al.*, 2021).

Entre los métodos convencionales para la remoción de arsénico se encuentran las siguientes técnicas: coagulación, precipitación, membranas, intercambio iónico, electrodiálisis, la oxidación, siendo la adsorción la más utilizada debido a su bajo costo y facilidad de operación (Sarkar *et al.*, 2016).

La adsorción de contaminantes usando carbón activado base residuos orgánicos como lo son la cáscara de granada y naranja reducirá los costos de producción ya que al ser un recurso renovable los desechos agrícolas se encuentran en grandes cantidades (Ratan *et al.*, 2018).

Debido a ello, en este trabajo se sintetizaron cuatro tipos de carbón activado, usando dos rutas distintas, con el objetivo de encontrar el material con la mayor área superficial y por consecuencia el mejor para la remoción de contaminantes en el agua. Una vez obtenidos los materiales se caracterizaron por el método BET (Brunauer-Emmett-Teller) y por microscopía electrónica de barrido (MEB).

MATERIALES Y MÉTODOS

Las cáscaras de granada y naranja fueron utilizadas como precursores en la síntesis de carbón activado. Las cáscaras fueron obtenidas de vendedores locales en la ciudad de Francisco I. Madero, Coahuila. Los precursores fueron lavados 2 veces con agua desionizada, para después secarse en una estufa a 65°C por 24 horas. Después fueron triturados y tamizados a un tamaño menor de 250 micras (Abid *et al.*, 2016).

El primer método consistió en exponer el material a una atmósfera de bióxido de carbono (CO_2) a 800°C, para ambas cáscaras. Mientras que, en el segundo método, las cáscaras fueron puestas en contacto con el ácido fosfórico (H_3PO_4) antes de llevarlas al horno a 500°C (Veksha *et al.*, 2016). Ambos procedimientos se muestran en la figura 1. Después de la activación todos los materiales, son lavados nuevamente con agua desionizada, secados a 100°C por 6 horas, se tamizan, etiquetan y guardan en desecador para su posterior caracterización (Thapa *et al.*, 2012).

La caracterización por el método BET fue realizada en un analizador de superficie específica y tamaño de poro NOVA 4200e Quantachrome Instruments, y para el análisis de morfología se utilizó un microscopio electrónico de barrido de la marca Hitachi SU3500.

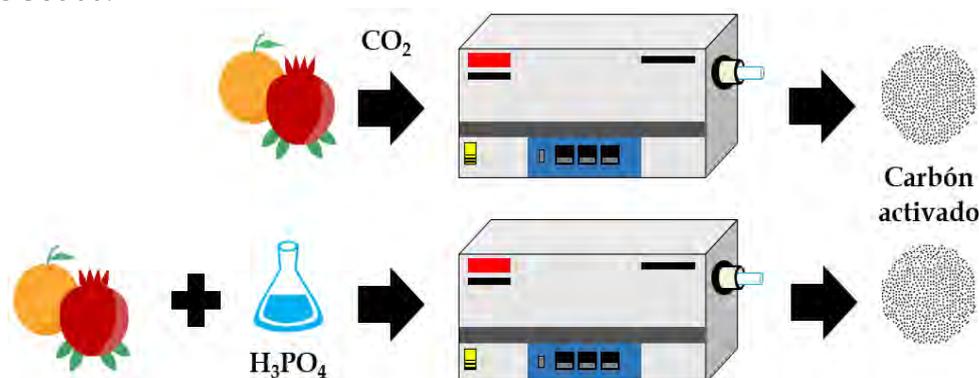


Figura 1. Métodos de activación del carbón.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este trabajo se usaron dos técnicas de activación física (CO_2) y química (H_3PO_4) para producir carbón activado. Se comparó el área superficial de las cáscaras de naranja y granada, antes y después de la activación, al igual que con trabajos anteriores (Cuadro 1). Como podemos observar el carbón activado en una atmósfera de dióxido de carbono a 800°C (C-Naranja CO_2 800°C), presenta la mayor área superficial con cáscara de naranja, mientras que para la cáscara de granada la más alta área superficial se obtuvo a 500°C con ácido fosfórico (C-Granada H_3PO_4 500°C). Es importante el aumento del área superficial específica, debido a que también se mejora la cantidad de sitios activos disponibles que a su vez incrementa la capacidad de adsorción de arsénico (Yin *et al.*, 2019).

Las micrografías electrónicas de barrido muestran un número mayor de poros en el caso de las cáscaras con algún tipo de tratamiento (CO_2 o H_3PO_4) que en el de las cáscaras sin activación, esto a su vez explica y complementa los resultados obtenidos previamente por el método BET. Las superficies son en su mayoría rugosas, como se puede observar en la figura 2, con algunas zonas lisas, lo que indica una importante retención de las estructuras originales de la pared celular a pesar de la pirólisis. En las micrografías también se observan poros grandes y diminutos, esto sugiere la liberación de materia volátil y contenido de humedad (Kumar *et al.*, 2022).

Estudios previos reportan que la presencia de minerales y grupos funcionales en la superficie de carbones activados base desechos de frutas, como lo son las amidas, carbonilos, carboxilos e hidroxilos, indican un alto potencial de adsorción de arsénico (Kumar *et al.*, 2022).

Cuadro 1. Comparación de áreas superficiales.

Tipo de material	Área superficial (m^2g^{-1})	Referencias
C-Naranja Pirólisis 500°C	1.46	(Kumar <i>et al.</i> , 2022).
C-Nuez Pirólisis 500°C	148.05	(Kumar <i>et al.</i> , 2022).
Hoja de perilla 700°C	473.4	(Niazi, <i>et al.</i> , 2018).
Hoja de perilla 300°C	3.2	(Niazi, <i>et al.</i> , 2018).
C-Naranja natural	1.2	
C-Granada natural	1.5	
C-Naranja CO_2 800°C	812.3	Presente estudio
C-Granada CO_2 800°C	1133.7	
C-Naranja H_3PO_4 500°C	778	
C-Granada H_3PO_4 500°C	1435.6	

CONCLUSIONES

Los tratamientos aplicados a los materiales naturales son apropiados para aumentar el área superficial de los mismos y por consiguiente la cantidad de sitios activos en los que se adsorberán los contaminantes presentes en el agua sintética.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C., por su apoyo en la caracterización de muestras, especialmente a Ing. Luis de la Torre Sáenz, M.C. Karla Campos Venegas y Dr. Pedro Pizá Ruiz.

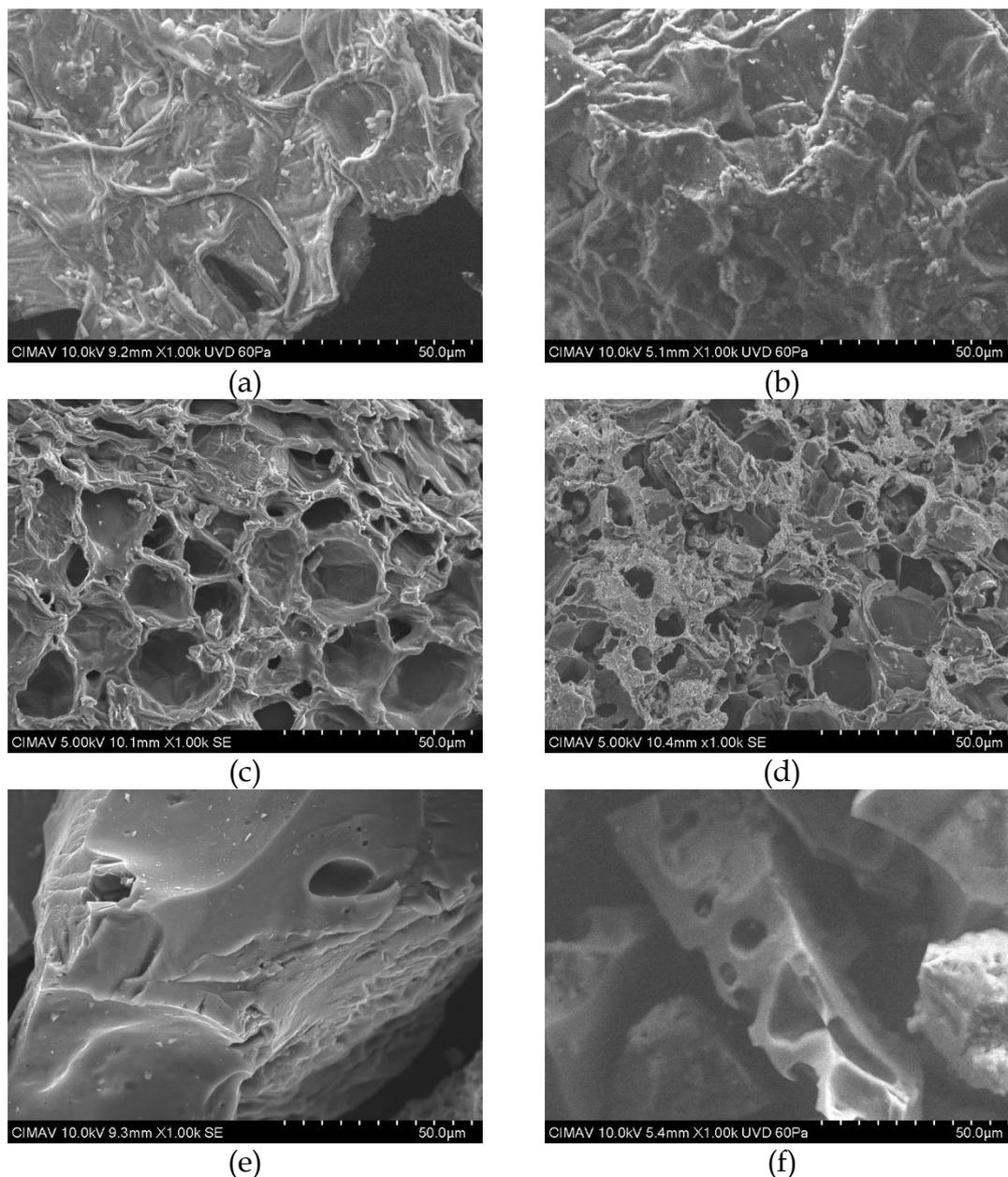


Figura 2. Micrografías electrónicas de los carbones activados: (a) Cáscara de naranja natural, (b) Cáscara de granada natural, (c) C-Naranja CO_2 800°C (d) C-Granada CO_2 800°C, (e) C-Naranja H_3PO_4 500 °C, (f) C-Granada H_3PO_4 500 °C

BIBLIOGRAFÍA

- Abid, M., Niazi, N. K., Bibi, I., Farooqi, A., Ok, Y. S., Kunhikrishnan, A., ... & Arshad, M. (2016). Arsenic (V) biosorption by charred orange peel in aqueous environments. *International journal of phytoremediation*, 18(5), 442-449.
- Alchouron, J., Navarathna, C., Rodrigo, P. M., Snyder, A., Chludil, H. D., Vega, A. S., ... & Mlsna, T. E. (2021). Household arsenic contaminated water treatment employing iron oxide/bamboo biochar composite: An approach to technology transfer. *Journal of colloid and interface science*, 587, 767-779.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Benis, K. Z., Soltan, J., & McPhedran, K. N. (2021). Electrochemically modified adsorbents for treatment of aqueous arsenic: Pore diffusion in modified biomass vs. biochar. *Chemical Engineering Journal*, 423, 130061.
- Kumar, A., Bhattacharya, T., Shaikh, W. A., Chakraborty, S., Owens, G., & Naushad, M. (2022). Valorization of fruit waste-based biochar for arsenic removal in soils. *Environmental Research*, 213, 113710.
- Niazi, N. K., Bibi, I., Shahid, M., Ok, Y. S., Burton, E. D., Wang, H., ... & Lüttge, A. (2018). Arsenic removal by perilla leaf biochar in aqueous solutions and groundwater: an integrated spectroscopic and microscopic examination. *Environmental Pollution*, 232, 31-41.
- Ratan, J. K., Kaur, M., & Adiraju, B. (2018). Synthesis of activated carbon from agricultural waste using a simple method: characterization, parametric and isotherms study. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 3334-3345.
- Sarkar, A., & Paul, B. (2016). The global menace of arsenic and its conventional remediation-A critical review. *Chemosphere*, 158, 37-49.
- Thapa, S., & Pokhrel, M. R. (2012). Removal of as (III) from aqueous solution using Fe (III) loaded pomegranate waste. *J Nepal Chem Soc*, 30, 29-36.
- Veksha, A., Bhuiyan, T. I., & Hill, J. M. (2016). Activation of aspen wood with carbon dioxide and phosphoric acid for removal of total organic carbon from oil sands produced water: increasing the yield with bio-oil recycling. *Materials*, 9(1), 20.
- Yin, Y., Zhou, T., Luo, H., Geng, J., Yu, W., & Jiang, Z. (2019). Adsorption of arsenic by activated charcoal coated zirconium-manganese nanocomposite: performance and mechanism. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 575, 318-328.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA EVALUACIÓN AGRÍCOLA DE TIERRAS DE MICHOACÁN, MÉXICO

Francisco Bautista; Ángeles Gallegos; Uriel Gómez

Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México.

RESUMEN

Michoacán es un estado productor de frutas importantes a nivel nacional. Sin embargo, las actividades agrícolas son responsables de la degradación ambiental. El objetivo del proyecto fue la elaboración de un sistema automatizado para la evaluación de tierras (SAET) para el estado de Michoacán. Se analizó información del relieve, clima y suelos para definir intervalos de referencia para la evaluación del terreno y del perfil de suelo. Las evaluaciones se automatizaron en un módulo web desarrollado a partir de una combinación de tecnologías, por ejemplo, el *frontend* está construido con HTML, CSS y JavaScript, complementado con jQuery para facilitar la manipulación de la interfaz de programación de aplicaciones y mejorar la interactividad. Para el *backend*, se utilizó el *framework Django* de *Python*, que proporciona una estructura segura para el desarrollo de aplicaciones web. Para el manejo de la base de datos relacional se utilizó PostgreSQL. El módulo web es eficiente y permite una evaluación precisa y rápida de la información. Se localiza en el museo virtual de geografía de suelos de México (<https://museosuelos.ciga.unam.mx/>). Hay dos posibilidades de uso de los datos, una con un conjunto de datos simple y otra con uno completo. La evaluación se realiza directamente o mediante una planilla externa que se inserta en la página web. El sistema califica las variables del terreno y del perfil de suelo en una de cinco clases, coloreando los horizontes del perfil y las clases del terreno de verde a rojo. La evaluación se exporta en un archivo Excel.

PALABRAS CLAVE

Perfiles de suelo; Sitio; Sustentabilidad agrícola; Terreno; Web page.

INTRODUCCIÓN

Michoacán es un estado productor de frutas de los más importantes a nivel nacional y produce altos volúmenes de frutas de exportación a Canadá, EE. UU., Japón y China. Las frutas más importantes en volumen de producción son el aguacate, limón, mango, guayaba, zarzamora y arándanos, entre otras. La expansión de la superficie sembrada con aguacate es de 241,140 ha (SIAP, 2020), esta se considera un problema mayor debido a que se asocia con deforestación (Bravo-Espinosa *et al.*, 2014), pérdida de la biodiversidad, erosión (Arima *et al.*, 2022), sobre fertilización, excesivo uso de plaguicidas (Merlo-Reyes *et al.*, 2024) y por la sobreexplotación de los cuerpos de agua y mantos freáticos (Gómez-Tagle *et al.*, 2022).

La gran extensión de montañas, con su alta diversidad de formas del terreno (altitud, inclinación del terreno, exposición), la también alta diversidad de suelos en espacios pequeños, con hasta tres grupos de suelo con alrededor de 20 variantes taxonómicas por montaña o loma grande; y la diversidad climática asociada a la altitud del terreno (Dubrovina y Bautista, 2014) deben considerarse para la adecuada selección de tierras con fines agrícolas. Más de 40 000 ha sembradas con aguacate al

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

año no se cosechan, tanto por la deficiente selección de las tierras, como por el deficiente manejo de estas. El medio físico debe tenerse en cuenta al momento de decidir las tierras de cultivo. Además, las prácticas agronómicas antiguas o deficientes, como el concepto de la “capa arable” para el cultivo de árboles, la elaboración de surcos y camellones en sentido de la pendiente, el cultivo de aguacate en Luvisols, Vertisols, Cambisols, Gleysols y Leptosols son parte del problema (Dubrovina y Bautista, 2014).

El cultivo de aguacate es especialmente valioso por la gran productividad (20 t/ha por corte) y por su alto precio en árbol antes del corte (\$43 kg). Además, el aguacate contiene alto valor energético (160 kcal/100 g) y su bajo contenido en hidratos de carbono hacen de esta fruta un alimento valioso para las personas que padecen diabetes (Antyukhova *et al.*, 2011).

En países en desarrollo con deficiente información del medio físico a escalas de parcela, los mapas nombrados como detallados a escala 1:50,000, incluso a escala 1:25,000 son información no útil para la selección de las tierras de cultivo. De la misma manera, la escasa y muy general información edafológica está lejos de ser la ideal. Se requiere mapas de relieve y suelos a escalas superdetalladas (1:1,000) que permitan conocer en detalle las formas del terreno y las variantes de suelo al interior de las parcelas.

Los sistemas de análisis automatizado para la evaluación de tierras de cultivo deben ser adaptados y mejorados para cada ambiente en general, por ejemplo, los suelos de las zonas volcánicas, kársticas, fluviales, aluviales y lacustres tienen sus particularidades.

El objetivo de este trabajo fue la creación de un sistema automatizado para la evaluación agrícola de los perfiles de suelo del estado de Michoacán, considerando las formas de relieve (Bedolla-Ochoa *et al.*, 2017; Gallegos, 2022), el clima (Montiel *et al.*, 2019) y una gran base de datos de suelos del estado (Bedolla-Ochoa *et al.*, 2017, 2018; Gallegos *et al.*, 2019, 2022; INEGI 2004, 2013).

MATERIALES Y MÉTODOS

Análisis de la información disponible

Se realizó un análisis del relieve, clima y suelos del estado de Michoacán, logrando dos cuadros de evaluación, uno para la información del sitio, que considera aspectos del relieve y clima y otro para la evaluación agrícola del perfil de suelo. Los parámetros considerados en la evaluación del sitio fueron: pendiente (%), rasgos de erosión, rocosidad (%), pedregosidad superficial (%), presencia de heladas, meses áridos, subhúmedos, húmedos e hiperhúmedos.

Para definir las clases de calidad agrícola de los perfiles de suelos se consideraron los grupos taxonómicos de los suelos dominantes en Michoacán, es decir: AN, CM, LV, VR, RG y LP (Bedolla-Ochoa *et al.*, 2019; Gallegos, 2022). Los parámetros utilizados para la evaluación agrícola del perfil del suelo fueron: profundidad (cm), rasgos de óxido-reducción en profundidad (cm), pedregosidad (%), densidad aparente (g cm⁻³), valor del pH, conductividad eléctrica (dSm⁻¹), capacidad de intercambio de cationes (cmol kg⁻¹), porcentaje de saturación de bases (%), alófono (reacción al NaF), materia orgánica (%), textura y estructura. Se definieron cinco clases (muy baja, baja, media, alta y muy alta) para cada parámetro seleccionado.

El desarrollo del módulo web para evaluar la capacidad de uso agrícola de los suelos de Michoacán se realizó utilizando una combinación de tecnologías. El frontend del módulo está construido con HTML, CSS y JavaScript, complementado con jQuery para facilitar la manipulación del *Document Object Model* (DOM) y mejorar la interactividad. Para el *backend*, se utilizó el *framework Django* de *Python*, que proporciona una estructura robusta y segura para el desarrollo de aplicaciones web. La base de datos es gestionada en PostgreSQL, un sistema relacional que permite el almacenamiento y consulta eficiente de grandes volúmenes de datos. La integración de estas tecnologías asegura que el módulo web sea eficiente, escalable y fácil de mantener, permitiendo una evaluación precisa y rápida de la capacidad de uso agrícola de los suelos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La página web del museo virtual de geografía de suelos de México ahora cuenta con un módulo o SAET utilizando perfiles de suelo del estado de Michoacán para individuos (productores y alumnos) interesados en la ciencia del suelo aplicada a la agricultura. En este módulo se analizan las propiedades del sitio (relieve, clima) y los parámetros físicos y químicos de los horizontes del perfil de suelos. El resultado es la evaluación de las propiedades del sitio y del suelo en cinco clases, tales como muy baja, baja, media, alta y muy alta, con colores del verde al rojo, lo cual permite identificar las causas del sitio y de los horizontes del suelo que disminuyen la calidad agrícola de las tierras del estado de Michoacán. La información de la evaluación se muestra ya sea desde el interior del sistema (Figura 1) horizonte por horizonte o mediante su exportación a un archivo Excel (Figura 2). Hemos decidido utilizar solo cinco clases en lugar de las ocho propuestas por el departamento de agricultura de los EE UU con la finalidad de simplificar el sistema. Cabe aclarar que el sistema de evaluación está diseñado para las tierras de Michoacán, otros estados deberán instrumentar sus propios sistemas de evaluación.

Uno de los objetivos del sistema es que los estudiantes y productores adopten el análisis y evaluación del perfil del suelo completo para dejar atrás el obsoleto uso del concepto de "la capa arable" cuando se trabaja con árboles.

Para el futuro se prevé la instrumentación de un sistema de evaluación de la aptitud agrícola de las tierras para usos específicos, como serían los cultivos del aguacate, limón, guayaba, zarzamora, arándanos, maíz y otros cultivos, utilizando el esquema de clasificación de la FAO en cuatro clases (apto, medianamente apto, marginal y no apto). El crecimiento del sistema podría ser hacia la evaluación de la aptitud forestal en la región templada, así como la evaluación de la aptitud ganadera de las tierras tropicales y semiáridas del estado. En cuanto al SAET sería conveniente convertirlo en una app para teléfonos inteligentes que permitiera mayor movilidad.

Dato	Valor	Clase
Heladas	Nunca	1
Meses hiperhúmedos	2	2
Meses secos	8	3
Pendiente (°)	0	1
Pendiente (%)	0	1
Roccosidad (%)	0	1

Dato	Valor	Clase
Profundidad (cm)	121	1

Horizonte	Dato	Valor	Clase
Ap	Drenaje	1.82	5
	Pedregosidad (%)	0	1
	Densidad aparente (g/mL)	1.82	5
	pH	8.05	4
	CE (dS m ⁻¹)	0.24	1
	CIC	59.95	1
	PSB	77.00	1
	Alofano	Alto	4
	MO (%)	1.93	5
	MO (%)	1.93	5

Figura 1. Resultado de la evaluación de tierras, a la izquierda la evaluación del sitio y a la derecha la evaluación de un perfil de suelo

Dato	Ah		Bw		C	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Drenaje	0.73	5	0.83	5	0.91	5
Pedregosidad (%)	0	1	0	1	0	1
Densidad aparente (g/mL)	0.73	1	0.83	1	0.91	1
pH	6.05	2	6.84	1	6.85	1
CE (dS/m)	0.084	1	0.027	1	0.019	1
CIC	27.26	2	29.95	2	34.37	1
PSB	76.38	1	55.26	2	59.82	2
Alofano	Alto	4	Alto	4	Alto	4
MO (%)	9.61	4	4.55	5	3.51	5

Figura 2. Resultados exportados en Excel, evaluación del sitio y evaluación de un horizonte de un perfil de suelo

CONCLUSIONES

El sistema automatizado para la evaluación agrícola de los perfiles de suelo del estado de Michoacán ha sido creado y probado para los perfiles de suelo del estado. Tiene la ventaja de ser accesible y funcional para los usuarios (alumnos y productores), sin embargo, existen áreas de mejoramiento, como son: transformación a sistema de evaluación cualitativo, tal como lo hace el software "Soil & Environment" (Gallegos *et al.*, 2019); el crecimiento del sistema para la inclusión de un módulo específico para evaluar la aptitud de los principales cultivos del estado de Michoacán y sería conveniente que el sistema ofreciera recomendaciones agronómicas y sustentables de acuerdo con las restricciones para los cultivos.

AGRADECIMIENTOS

Al CONAHCYT por el financiamiento al proyecto "Métodos híbridos (geopedológicos, pedométricos) para el análisis espacial de los suelos en ambientes kársticos, volcánicos y fluviales de México".

BIBLIOGRAFÍA

- Antyukhova S. N., Tyurina I. A., & Vasina D. S. (2011). Tropical fruits in food diet of Russian population," in *Technology and Industrial Management*, Ed. by E.A. Prokof'ev (Izd. MGUPP, Moscow), pp. 193–202 [in Russian].
- Arima, E. Y., Denvir, A., Young, K. R., González-Rodríguez, A., & García-Oliva, F. (2022). Modeling avocado-driven deforestation in Michoacán, Mexico. *Environmental Research Letters*, 17(3), 034015.
- Bedolla-Ochoa, C., Bautista, F., Ihl, T., & Dubrovina, I. (2017). Diversidad de suelos y su distribución espacial. *La biodiversidad en Michoacán. Estudio de Estado*, 2, 55-63.
- Bedolla-Ochoa, C., Bautista, F., & Gallegos-Tavera, Á. (2018). Funciones ambientales de las clases de tierras campesinas: Reserva de la Biosfera Zicuirán-Infiernillo, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 24(3), 265-274.
- Bravo-Espinosa, M., Mendoza, M. E., Carlón Allende, T., Medina, L., Sáenz-Reyes, J. T., & Páez, R. (2014). Effects of converting forest to avocado orchards on topsoil properties in the trans-Mexican volcanic system, Mexico. *Land Degradation & Development*, 25(5), 452-467.
- Dubrovina, I. A., & Bautista, F. (2014). Analysis of the suitability of various soil groups and types of climates for avocado growing in the state of Michoacán, Mexico. *Eurasian soil science*, 47, 491-503.
- Framework Web Django (Python). (s/f). MDN Web Docs. Recuperado el 17 de julio de 2024, de <https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/Server-side/Django>
- Gallegos, Á., López-Carmona, D., & Bautista, F. (2019). Quantitative assessment of environmental soil functions in volcanic zones from Mexico using S&E software. *Sustainability*, 11(17), 4552.
- Gallegos, Á., García-Oliva, F., Pereira-Corona, A., & Bautista, F. (2021). Digital soil morphometrics of coarse fragments and horizon delineation in soil profiles from Central Mexico. *Geoderma Regional*, 26, e00403.
- Gómez-Tagle, A. F., Gómez-Tagle, A., Fuerte-Velázquez, D. J., Barajas-Alcalá, A. G., Quiroz-Rivera, F., Alarcón-Chaires, P. E., & Guerrero-García-Rojas, H. (2022). Blue and green water footprint of agro-industrial avocado production in central Mexico. *Sustainability*, 14(15), 9664.
- Merlo-Reyes, A., Baduel, C., Duwig, C., & Ramírez, M. I. (2024). Risk assessment of pesticides used in the eastern Avocado Belt of Michoacan, Mexico: A survey and water monitoring approach. *Science of The Total Environment*, 916, 170288.
- Montiel-González, C., Gallegos-Tavera, Á., Ortega-Gómez, A. M., Bautista, F., Gopar-Merino, F., & Velázquez, A. (2019). Análisis climático para la agricultura de temporal en Michoacán, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 6(17), 307-316.
- (SIAP) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2020). Anuario estadístico de la producción agrícola available at: www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119.

Trichoderma spp. EN LA GESTIÓN DE MICRONUTRIENTES Y FÓSFORO DEL SUELO

Milton Carlos Soto Barajas^{1,2*}; Samantha Herrera Mendoza²; Blanca Lucia Prado Pano²; Lucy Mora Palomino²; Rocío Jetzabel Alcántara Hernández²

¹Investigadoras e investigadores por México, Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCyT). Av. Insurgentes Sur 1582, 03940 Crédito Constructor, CDMX, México.
²Instituto de Geología, Av. Universidad no. 3000, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, 04510 Coyoacán, CDMX, México. E-mail: miltonc@geologia.unam.mx

RESUMEN

En la actualidad, el uso de bioinsumos de uso agrícola a base de *Trichoderma* spp. para el control biológico de plagas ha ganado popularidad en los sistemas de producción agrícola sostenibles debido a que, por su origen natural, se considera beneficioso en la salud de las plantas y para el ambiente. Sin embargo, se conoce poco de su comportamiento una vez que estos productos entran en contacto con el suelo. En este estudio, se evaluó el impacto de un biofertilizante (BF) comercial fabricado con diversas cepas de *Trichoderma* spp. sobre la disponibilidad de fósforo (P) y la concentración de micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn) en dos tipos de suelos: un andosol proveniente de un terreno forestal (S01) y un phaeozem irrigado con aguas residuales (S02). El experimento se realizó en condiciones de invernadero y se utilizó rábano rojo como cultivo modelo. Los resultados indicaron que la aplicación del biofertilizante aumentó la conductividad eléctrica (CE) y disminuyó el pH en ambos suelos, lo que modificó la disponibilidad de algunos de los nutrientes analizados. En el S01, se observó una reducción en las concentraciones de Cu, Fe y Mn, sin cambios significativos en el P disponible y Zn. En el S02, la aplicación del BF afectó al P disponible y el Cu, sin modificar la concentración de otros nutrientes. Las diferencias en las concentraciones de P disponible y micronutrientes entre suelos son atribuibles a sus características intrínsecas por lo que efectos del BF dependerán de las condiciones químicas preexistentes del suelo.

PALABRAS CLAVE

Biofertilizantes; Bioplaguicidas; Fertilidad del suelo; Microorganismos benéficos; Nutrientes.

INTRODUCCIÓN

Debido a que la creciente demanda por la producción de alimentos inocuos, el uso de bioinsumos agrícola ha cobrado relevancia a nivel global. Además, ese tipo de productos, por su origen natural, tienen una repercusión ambiental menos negativa que los fertilizantes y plaguicidas de origen químico.

En la actualidad, los productos a base de *Trichoderma* spp. son de los bioinsumos más utilizados a nivel nacional como internacional (Ahedo-Quero *et al.*, 2024). La finalidad principal de su aplicación es orientada al combate de plagas (Marchuk-Larrea *et al.*, 2024); sin embargo, se ha visto que la introducción de este tipo de

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

microorganismos en el suelo también mejora el rendimiento de las plantas (Mehetre y Mukherjee, 2015). Los mecanismos precisos en que *Trichoderma* spp. participa en la adquisición de nutrientes en las plantas aún no se conocen por completo. Algunos investigadores sugieren que podría estar relacionado con la combinación de diversos factores entre los cuales podrían estar involucrados la secreción de hormonas, la producción de antibióticos, la liberación de sideróforos, producción de enzimas y metabolitos, así como la inducción de resistencia en las plantas (Sharma y Sharma 2020).

Para el caso de los cultivos de interés agronómico entre los principales problemas que limitan la productividad es la deficiencia de nutrientes, particularmente de fósforo y micronutrientes debido su baja solubilidad, precipitación y antagonismos (Graham, 2008). En este estudio se presentan los resultados de un experimento de invernadero en el que se evaluó el efecto de un biofertilizante comercial a base de diversas cepas de *Trichoderma* spp. sobre la concentración y disponibilidad de fósforo, así como de micronutrientes en dos tipos de suelo, mediante el uso de rábano rojo como cultivo modelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos y análisis realizados en esta investigación se llevaron a cabo en el invernadero y en el Laboratorio de Edafología Ambiental, perteneciente al Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía (LANGEM) del Instituto de Geología (IGL) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Se utilizaron dos tipos de suelo: (1) un suelo con características ándicas (Vega *et al.*, 2008), proveniente de la Sierra del Chichinautzin, Morelos (19° 09' 52.2" N, 99° 06' 46.4" O, a 3186 m s.n.m.); y (2) un suelo clasificado como phaeozem, que se obtuvo del Valle del Mezquital, Tlahuelilpan, Hidalgo (20° 07' 29.1" N, 99° 12' 47.8" O, a 2080 m s.n.m.), en el cual se han utilizado aguas residuales para riego por más de 100 años (García, 2019). Antes de establecer el experimento en el invernadero, ambos suelos fueron tamizado con un cernidor de apertura de malla de 4 mm y secados a la sombra.

Se utilizó un biofertilizante comercial cuya composición indicaba un contenido en peso mínimo de 2.5% de diferentes cepas de *Trichoderma* spp.

La caracterización química de los suelos y del biofertilizante se realizó de acuerdo con el manual de procedimientos para análisis de suelos del ISRIC (van Reeuwijk, 2002). Se determinó el pH y la conductividad eléctrica (CE) en una relación suelo/solución 1:2.5; el carbono total (C_{total}) y el nitrógeno total (N_{total}) se midieron con un analizador elemental; el carbono orgánico (C_{org}) se determinó por el método de Walkley y Black; el fósforo disponible se analizó por el método de Bray-Kurland; y los micronutrientes Cu, Fe, Mn y Zn se extrajeron en DTPA y cuantificaron por espectrometría de absorción atómica.

El diseño experimental se realizó en invernadero, se utilizaron macetas de plástico con capacidad de 2 kg que se prepararon con la adición o no del biofertilizante según el esquema de tratamientos que se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos utilizados en el experimento

Clave del tratamiento	Tipo de suelo	Aplicación del biofertilizante ¹
S01-BF	Suelo 1 (S01)	Sin biofertilizante (-BF)
S01+BF	Suelo 1 (S01)	Con biofertilizante (+BF)
S02-BF	Suelo 2 (S02)	Sin biofertilizante (-BF)
S02+BF	Suelo 2 (S02)	Con biofertilizante (+BF)

¹La aplicación del biofertilizante fue de 14 g por kg de suelo seco.

Después de la preparación de las macetas se colocaron sobre el suelo, a aproximadamente 2 cm de profundidad y equidistantes entre sí, tres semillas de rábano rojo (*Raphanus sativus*) variedad Globo escarlata. Se realizaron seis repeticiones para cada tratamiento. Las macetas se regaron dos veces por semanas hasta el punto de saturación, su disposición en el invernadero fue de manera aleatoria con rotaciones semanales.

Las variables evaluadas fueron el fósforo disponible y las concentraciones de micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) en el suelo a los 56 días después de la siembra. El análisis estadístico consistió en un diseño factorial 2x2 (Tipo de suelo, y aplicación de BF) Para el análisis estadístico se utilizó con el programa SigmaPlot versión 14.0, las variables analizadas fueron las características químicas del suelo. Una vez identificadas diferencias significativas se realizó una prueba post hoc.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis inicial de los suelos reveló una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre sus características químicas. En el Suelo 1 (S01), al provenir de una zona forestal se encontraron mayores concentraciones de carbono total (Ctotal), carbono orgánico (Corg) y de N total (Ntotal) en comparación con el Suelo 2 (S02). En el S02, al tratarse de terrenos regados aguas residuales por más de 100 años (Siebe *et al.* 2016), se detectaron mayores concentraciones de P disponible (Pdis) y de micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn). El biofertilizante (BF) utilizado tuvo muy alta conductividad eléctrica (CE), pH bajo, altos contenidos de Ctotal, Corg y de Ntotal, Pdis, mientras que las concentraciones micronutrientes fueron relativamente bajas (Cuadro 2).

De acuerdo con los datos presentados en la Figura 1, la influencia principal del biofertilizante (BF) fue notable en la CE de ambos suelos. Después de la aplicación del BF, la CE se elevó significativamente, y probablemente debido al aumento de los iones en la solución del suelo se produjo la disminución del pH (Zhang *et al.*, 2018).

Cuadro 2. Características químicas iniciales de los suelos y del biofertilizante.

	pH	CE μS/cm	Ctotal %	Corg %	Ntotal %
Suelo 1 (S01)	6.07 ± 0.04	183.3 ± 6.63	5.73 ± 0.14	5.55 ± 0.12	0.36 ± 0.01
Suelos 2 (S02)	7.02 ± 0.02	418.8 ± 13.4	2.31 ± 0.04	2.27 ± 0.03	0.23 ± 0.01
Biofertilizante	5.55 ± 0.00	3336.33 ± 306.33	24.44 ± 0.00	21.14 ± 0.01	0.80 ± 0.00
	Pdis mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg
Suelo 1 (S01)	1.14 ± 0.48	1.04 ± 0.01	44.57 ± 2.75	2.48 ± 0.01	1.28 ± 0.00
Suelos 2 (S02)	57.54 ± 2.56	3.56 ± 1.96	6.37 ± 0.27	5.68 ± 2.69	18.20 ± 1.60
Biofertilizante	35.82 ± 0.07	0.19 ± 0.00	1.10 ± 0.00	1.19 ± 0.01	14.14 ± 0.00

CE: Conductividad eléctrica; Ctotal: Carbono total; Corg: Carbono orgánico; Ntotal: Nitrógeno total; Pdis: Fósforo disponible.

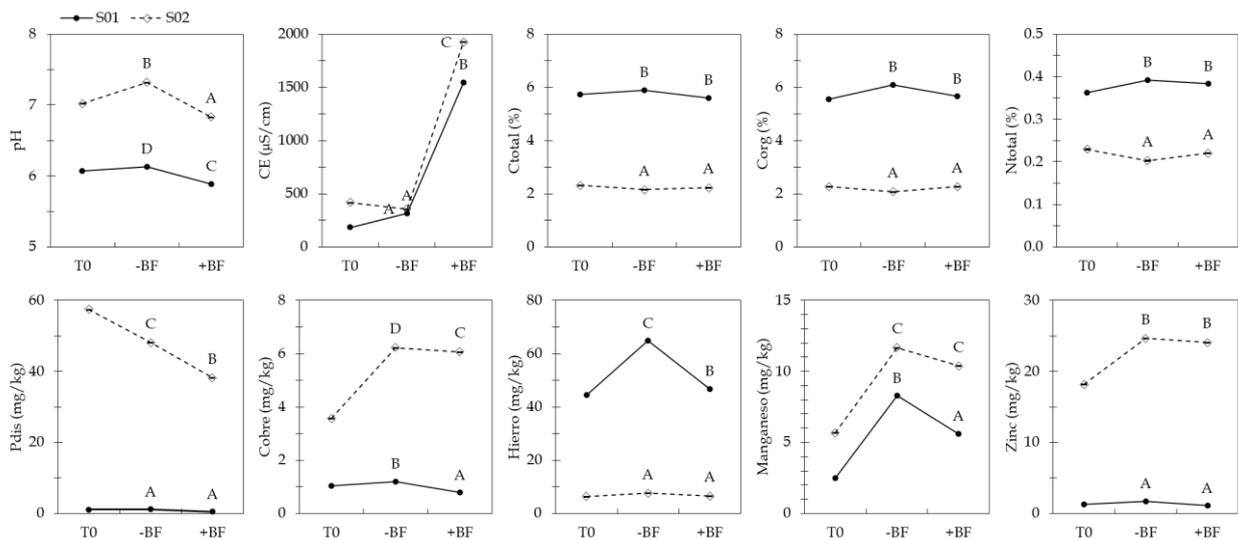


Figura 1. Estado inicial (T0) y comparación de las características químicas en suelos (S01: Suelo 1; S02: Suelo 2), sin aplicación (-BF) y con aplicación de biofertilizante (+BF) a los 57 días después de la siembra de rábano. Letras distintas dentro de una misma gráfica indican diferencias significativas entre tratamientos. CE: Conductividad eléctrica; Ctotal: Carbono total; Corg: Carbono orgánico; Ntotal: Nitrógeno total; Pdis: Fósforo disponible.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

La concentración de C_{total} , C_{org} y N_{total} , no se modificó por la adición de BF en ninguno de los dos suelos. Sin embargo, para la concentración del P_{dis} y de micronutrientes se encontraron comportamientos distintivos en cada tipo de suelo. En el S01, la adición de BF redujo significativamente las concentraciones de Cu, Fe y Mn; mientras que, para el P_{dis} y el Zn no se encontraron diferencias con respecto a las condiciones iniciales. Por otro lado, el agregar BF al S02 resultó en una disminución de P_{dis} y Cu; aunque las concentraciones de Fe, Mn, y Zn se mantuvieron sin modificaciones significativas.

Las diferencias en la respuesta de los suelos a la aplicación del BF era de esperarse y pueden atribuirse a sus características intrínsecas, con el origen, sus propiedades químicas y la dinámica microbiana en conjunto con otros factores que influyen en su composición y comportamiento (Vega *et al.* 2008; Siebe *et al.* 2016; García, 2019). El S01, con mayores concentraciones iniciales de C_{total} y N_{total} , y menor CE, mostró una respuesta diferente a la aplicación del BF en comparación con el S02, que tenía una CE más alta y un contenido más alto de micronutrientes. Estos resultados confirman la importancia de considerar las características específicas del suelo antes de la aplicación de bioinsumos. Una aplicación inadecuada de estos productos, aunque sean de origen natural, al igual que los productos de origen químico también puede alterar negativamente tanto al ambiente, como la fertilidad del suelo, y en consecuencia la productividad de los cultivos.

CONCLUSIONES

Aunque los bioinsumos de uso agrícola, con es el caso de los biofertilizantes (BF) con microorganismos benéficos, se consideran alternativas ambientalmente amigables, sus efectos varían significativamente en función de las condiciones químicas preexistentes en el suelo y la presencia de aditivos en su formulación. Por lo que es de importancia primordial el estudio de los efectos de la aplicación de BF sobre el suelo a corto plazo, y a largo plazo tras aplicaciones continuas. La aplicación del BF comercial, a base de *Trichoderma spp.*, utilizado en este ensayo, aumentó la CE y disminuyó el pH en los dos suelos estudiados (S01: andosol de uso forestal; S0: phaeozem, irrigado con aguas residuales), estos cambios químicos influyen en la disponibilidad de otros nutrientes lo que resalta la importancia de ajustar las aplicaciones según las características iniciales del suelo ya que un manejo inadecuado puede no sólo reducir su eficacia, sino también afectar negativamente el equilibrio químico del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación es parte del Proyecto CBF-20023, financiado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCyT). Agradecemos profundamente a la Dra. Maricarmen Salazar y a Lucero Cabrera del Laboratorio de Edafología Ambiental del Instituto de Geología de la UNAM por su invaluable apoyo en la realización de los análisis químicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahedo-Quero, H. O., Aquino-Bolaños, T., Ortiz-Hernández, Y. D., & García-Sánchez, E. (2024). Trichoderma Diversity in Mexico: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Diversity*, 16(1), 68. <https://doi.org/10.3390/d16010068>
- García, E. M. (2019). El agua residual como generadora del espacio de la actividad agrícola en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 29 (54). <https://doi.org/10.24836/es.v29i54.741>
- Graham, R. D. (2008). Micronutrient Deficiencies in Crops and Their Global Significance. In: B.J. Alloway (ed.), *Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production* (pp. 41-61). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6860-7_2
- Marchuk-Larrea, C. N., Benítez-Rodas, G. A., Sandoval, W., Arrúa, P., Lopez, H., Guillermo, E., Quintana, S., Fernández, D., & Arrua, A. (2024). *Trichoderma* as biocontrol agent - in focus. *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay*, 29(1), 137-171. <https://doi.org/10.32480/rscp.2024.29.1.137>
- Mehetre, S. T., & Mukherjee, P. K. (2015). Trichoderma Improves Nutrient Use Efficiency in Crop Plants. In: Rakshit, A., Singh, H.B., Sen, A. (eds), *Nutrient Use Efficiency: from Basics to Advances* (pp. 173-180). Springer India. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2169-2_11
- Sharma, A., & Sharma P. (2020). *Trichoderma*. Springer Singapur.
- Siebe, C., Chapela, M., Cayetano, M., Prado, B. & Jan, S. (2016). Effects of More Than 100 Years of Irrigation with Mexico City's Wastewater in the Mezquital Valley (Mexico). En H. Hettiarachchi y R. Ardakanian (Eds.), *Safe Use of Wastewater in Agriculture: Good Practice Examples* (pp. 121-138). UNU-FLORES.
- van Reeuwijk L.P. 2002. Procedures for soil analysis. International Soil Reference and Information Centre (ISRIC). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Vega, A., López, J., & Manzo, L. de L. (2008). Análisis espectral y visual de vegetación y uso del suelo con imágenes Landsat ETM+ con apoyo de fotografías aéreas digitales en el Corredor Biológico Chichinautzin, Morelos, México. *Investigaciones geográficas*, (67). pp. 59-75.
- Zhang, F., Huo, Y., Cobb, A. B., Luo, G., Zhou, J., Yang, G., Wilson, G. W. T., & Zhang, Y. (2018). *Trichoderma* Biofertilizer Links to Altered Soil Chemistry, Altered Microbial Communities, and Improved Grassland Biomass [Original Research]. *Frontiers in Microbiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00848>

USO AGRICOLA POTENCIAL DE AGUA RESIDUAL TRATADA EN HUMEDAL ARTIFICIAL

Langen Corlay-Chee^{1*}; Lidia Velasco Velasco²; Erica Hernández Morales¹; Santos Vázquez Cervantes¹; Alejandro Hernández-Tapia¹

¹Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México - Texcoco. 56230 Texcoco, Estado de México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Iguala. Km. 2.5 Carretera Iguala-Tuxpan, 40000 Iguala de la Independencia, Guerrero, México.

*lcorlayc@chapingo.mx

RESUMEN

En México, solo se trataron 67% de las aguas residuales generadas en 2021, porque los costos de construcción, mantenimiento y operación de las plantas de tratamiento son altos. El agua residual de comunidades pequeñas o rurales se descarga a cielo abierto o en lagos, lagunas, ríos, o el mar. Un humedal artificial es un sistema que utiliza plantas acuáticas, microorganismos y un lecho filtrante, purificando agua residual de manera similar a un humedal natural. En 2009 se construyó un humedal en el barrio Santiaguito, Texcoco que, con el paso del tiempo, su eficiencia fue disminuyendo, por lo que en 2023 se modificó su diseño. Con la finalidad de determinar la calidad del agua apta para riego agrícola y la eficiencia en remoción de contaminantes del actual humedal artificial de Santiaguito, Texcoco, se midieron parámetros de calidad del agua tratada con base en las Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-SEMARNAT-2021. Se encontró mayor eficiencia en reducción de la Demanda Química de Oxígeno, Sólidos suspendidos totales, nitrógeno y fósforo totales. Las adecuaciones realizadas al humedal artificial mejoraron sustantivamente su eficiencia; sin embargo, el agua tratada aún no cumple la normatividad mexicana para su uso agrícola y solo puede ser vertida en suelo destinado a áreas verdes, sin contacto directo de usuarios.

PALABRAS CLAVE

Contaminantes del agua; Coliformes; Riego agrícola, Calidad del agua.

INTRODUCCIÓN

El gran reto para el abastecimiento alimentario nos lleva a buscar alternativas e implementación de nuevos sistemas de producción con enfoques sostenibles. Sin embargo, nada de eso puede ser posible sin el recurso hídrico; en este sentido optamos por evitar desperdiciar, contaminar y utilizar la cantidad estrictamente necesaria para satisfacer las necesidades primordiales humanas. Dentro de esas necesidades se desempeña la alimentación que lo provee la agricultura, siendo esta, la que demanda gran cantidad de agua. La utilización de las aguas residuales en la agricultura debe presentar un tratamiento previo a su uso; este procedimiento lo desempeñan las plantas tratadoras y humedades artificiales.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

CONAGUA (2022) reportó, que en 2021 se captaron $215.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de aguas residuales (AR) de origen doméstico; de las cuales, solo $145.3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ recibieron tratamiento, esto significa que solo 67 % recibe tratamiento alguno antes de verterse a ríos, mares y suelo. Se han diseñado plantas para su saneamiento cuyo alto costo de construcción, operación y mantenimiento, además de requerir alto consumo de energía, obliga a que, en comunidades pequeñas o rurales, las aguas residuales sean descargadas a cielo abierto o en lagos, lagunas, ríos, o el mar (Vidal-Álvarez, 2019). Para ello, los humedales superficiales son una alternativa que utiliza plantas acuáticas, microorganismos naturales y un lecho filtrante e incluye la remoción de cualquier residuo que es vertido en ecosistemas acuáticos (Singh *et al.* 2023). Este es una alternativa ecológica para el tratamiento secundario y terciario de las aguas residuales municipales e industriales; permiten la eliminación de materia orgánica, sólidos suspendidos, nutrientes, patógenos, metales pesados y otros contaminantes tóxicos y peligrosos (Hernández, 2021).

En muchas regiones se utilizan aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento y se emplean para la agricultura sin importar la degradación y contaminación de suelos a mediano y largo plazo (Petousi *et al.*, 2019). En 2009 se construyó un humedal en el barrio Santiaguito, Texcoco que, con el paso del tiempo, su eficiencia fue mermando (Hernández-Alonso *et al.*, 2022); por lo que en 2023 se modificó su diseño. El objetivo del trabajo fue determinar calidad del agua para uso con fines agrícolas y la eficiencia en remoción de contaminantes del actual humedal artificial de Santiaguito, Texcoco, y establecer la calidad del agua tratada con base en las Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-SEMARNAT-2021 y NOM-003-ECOL-1997.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se colectaron, por triplicado, muestras de agua provenientes del humedal en el barrio de Santiaguito, Texcoco, mismas que se analizaron con base en las normas oficiales mexicanas NOM-001-SEMARNAT-2021 y NOM-003-ECOL-1997.

Se realizaron las pruebas de coliformes totales y fecales, *E. coli*, pH, CE (Conductividad Eléctrica), DQO (Demanda Química de oxígeno), SST (Sólidos Suspendidos Totales) y Fósforo total. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$) con el software JMP 17 (Trial) 2023. También se calculó el porcentaje de eficiencia en la remoción de contaminantes, con la ecuación propuesta por Singh *et al.*, (2023), donde A es el valor del parámetro en el afluente y B es el valor del parámetro en el efluente:

$$\text{Remoción (\%)} = \frac{A-B}{A} * 100$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se compararon con los lineamientos establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-SEMARNAT-2021 y NOM-003-ECOL-1997, se determinó que DQO, SST y pH se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, mientras que coliformes fecales, *E.coli* y carbono total, están fuera de los límites permitidos (Cuadro 1), lo que contrasta con lo reportado por Hernández-Alonso *et al.*, (2022), quienes en un análisis previo del mismo humedal, antes de su

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

rediseño y con base en las mismas normas, reportaron que el efluente cumplía satisfactoriamente con los límites permisibles para coliformes fecales y totales, con una eficiencia de remoción del 100%, mientras que la DQO con 57.7 % y 22.9% para SST, estaban fuera de los límites permitidos. Lo anterior evidencia la necesidad de identificar los problemas de diseño a los que se pueda atribuir estas variaciones.

Cuadro 1. Evaluación de la eficiencia de remoción (%) de contaminantes del humedal de Santiaguito, Texcoco.

Parámetro	Unidades	Cárcamo 1	Cárcamo 2	Entrada	Salida	Eficiencia de remoción (%)
pH		7.03 ab	7.06 ab	6.88 b	7.41 a	
CE	mS/cm	0.98 b	0.98 b	1.28 a	0.87c	11.2
DQO	mg/L	431.98 a	301.38 a	314.20 a	30.01 b	93.1
SST	mg/L	186.00 a	59.33 b	49.33 b	2.66 b	98.6
CT	Log NMP/100 mL	8.67 a	10.02 a	8.28 a	4.74 b	45.3
CF	Log NMP/100 mL	8.44 a	10.02 a	8.28 a	4.42 b	47.6
<i>E. coli</i>	Log NMP/100 ml	8.11 ab	9.27 a	8.02 ab	4.31 b	46.9
N Total	mg/L	36.03 c	52.68 a	42.96 b	1.29 d	96.4
P Soluble	mg/L	5.69 b	6.53 a	5.27 c	0.27 d	95.3
P Total	mg/L	6.60 b	7.46 a	6.20 b	0.30 c	95.5
C Orgánico	mg/L	117.56 a	121.13 a	101.50 b	46.06 c	60.08

Letras diferentes en la misma línea indican diferencias estadísticas significativas.

CONCLUSIONES

Con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021 y por su eficiencia en la remoción de DQO, SST y pH, el efluente puede ser vertido al suelo para el riego de áreas verdes. De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-003.ECOL-1997 debido a la baja eficiencia en la remoción de coliformes fecales, el efluente no puede ser utilizado para servicios con contacto directo al público, debiéndose identificar las causas de las variaciones detectadas. Se recomienda un según proceso de tratamiento para eliminación de componentes peligrosos hasta conseguir los límites permisibles para su manejo en suelos agrícolas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Paloma Cruz Cruz, Lucía Quiauatl González López y Guadalupe Cuéllar Ángeles, estudiantes PROFONI de la Universidad Autónoma

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Chapingo, por su valiosa colaboración, así como al personal del Consejo de participación ciudadana (COPACI) del Barrio de Santiaguito, Texcoco, Estado de México por su apoyo y facilidades otorgadas para la realización de este estudio.

BIBLIOGRAFIA

- Hernández Castañeda, L. A. (2021). Humedales artificiales en el tratamiento de aguas urbanas: una revisión bibliográfica. Universidad de los Andes. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/0d849ed6-e033-414d-bf28-4f06ecb78119>
- Hernández-Alonso, B., Corlay-Chee, L., Morales-Hernández, E., Vázquez-Cervantes, S., Hernández-Tapia, A. & Chamizo-Checa, A. (2023). Treatment of domestic wastewater in the 25 wetland of Santiaguito, Texcoco de Mora, México. *Current Topics in Agronomic Science*. 26 <https://doi.org/10.5154/r.ctasci.2023.03.06>
- NOM-003-ECOL-1997. Norma oficial mexicana nom-003-ecol-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Federación 21 de septiembre de 1998. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/311363/NOM_003_SEMA_RNAT.pdf (Recuperado 14 de agosto 2024).
- NOM-021-SEMARNAT-2000. 2000. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación 31 de diciembre de 2002. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>. (Recuperado 14 de agosto 2024).
- Pérez, Y. A., García Cortés, D. A., & Jauregui Haza, U. J. (2022). Humedales construidos como alternativa de tratamiento de aguas residuales en zonas urbanas: una revisión: *Ecosistemas*. 31(1), 2279. Disponible en: <https://doi.org/10.7818/ECOS.2279>
- Petousi, G.; Daskalakis, M. S.; Fountoulakis, D.; Lydakis, L.; Fletcher, E. I.; Stentiford, T. and Manios, T. 2019. Effects of treated wastewater irrigation on the establishment of young grapevines. *Sci. Total Env.* 658(1):485-492. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.065>
- Singh, S., Upadhyay, S., Rani, A. Sharma P. K, Rawat J. M., Rawat B., Prashant & Bhattacharya P. (2023). Assessment of pathogen removal efficiency of vertical flow constructed wetland treating septage. *Scientific Report*, 13, 18703. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45257-2>
- Vidal-Álvarez, M. (2019). Tratamiento de aguas residuales en México: problemáticas de salud pública y oportunidad de uso de ecotecnologías sustentables. *RINDERESU*, 3(1-2), 41-58.

USO DE BIOCARBÓN Y BPCV EN EL CONTROL DE HONGOS ASOCIADOS A *Triticum aestivum* L.

Leticia Gómez Velázquez^{1,2}; Moisés Graciano Carcaño Montiel^{1,2}; Guadalupe Medina de la Rosa^{2,3}; Armando Tapia Hernández²; Lucia López Reyes^{1,2}

¹Posgrado en Ciencias Ambientales, ²Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas.

²Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, Pue. ³CONAHCyT
lucia.lopez@correo.buap.mx

RESUMEN

El trigo es el tercer cereal más producido en el mundo, sin embargo, es afectado por hongos fitopatógenos que provocan pérdidas en el rendimiento y calidad de los granos. El control de enfermedades con productos químicos es poco eficiente, daña la salud humana, al ambiente y es económicamente costoso. Es esencial buscar estrategias eficientes y sostenibles en el manejo del cultivo, como: el biocontrol con Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (BPCV) y el biocarbón. Por lo que, esta investigación evaluó el control de enfermedades fúngicas con BPCV de los géneros *Serratia* (3) y *Bacillus* (3) en el cultivo de trigo en presencia de biocarbón. Se determinó que *Serratia* produce enzimas quitinasas, sintetizan indoles y compuestos orgánicos volátiles (COV). Además, en condiciones *in vitro* y en semillas de trigo limitaron el crecimiento de 15 hongos de los géneros *Alternaria* (7), *Parastagonospora*, *Fusarium* (3), *Epicoccum* (2), *Chaetomium* y *Geotrichum*. En campo, se logró disminuir la severidad de las enfermedades fúngicas hasta el 87% en plantas y se incrementó el rendimiento del cultivo hasta 171% con los tratamientos de BPCV y biocarbón. Además, se incrementó 115% el número de semillas sanas cosechadas. Por lo que las BPCV (*Bacillus* y *Serratia*) en presencia de biocarbón, es una alternativa eficaz en el control de hongos asociados a trigo y en el aumento de la productividad.

PALABRAS CLAVE

Biocontrol; Fitopatógenos; Sanidad; Severidad de la enfermedad.

INTRODUCCIÓN

Se estima que en los próximos 30 años aumentará la demanda de recursos, espacios, servicios y alimentos, debido al aumento de la población (ONU, 2022). Para asegurar la subsistencia alimentaria, será necesario aumentar el 50% de la producción (FAO, 2017). El tercer cultivo más producido en el mundo es el trigo, debido a que aporta a la población alrededor de la mitad de la energía alimentaria y en México es el segundo más consumido, el 80% de la producción se destina a la fabricación de pan (Carranza *et al.*, 2022); también se utiliza en la alimentación animal, en la fabricación de cerveza, bioplásticos, adhesivos, biocombustibles, medicamentos y cosméticos entre otros productos (SADER, 2016). Sin embargo, el trigo es atacado por hongos patógenos en todas las etapas de crecimiento, lo que disminuye la calidad y el rendimiento de los granos. Los hongos, se transmiten a través de semillas infectadas por residuos de cosechas anteriores o por el ambiente (Islam *et al.*, 2020).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Algunas de las enfermedades que provocan los hongos son: las royas (*Puccinia*), el tizón de la espiga (*Fusarium*), manchas foliares (*Zymoseptoria*) y añublo de trigo (*Magnaporthe*) entre otros (Islam *et al.*, 2020). Las enfermedades pueden ser tratadas integralmente con: la rotación de cultivos, el uso de semillas resistentes a patógenos y productos químicos, que resultan poco eficientes debido a la alta capacidad de adaptación de los fitopatógenos (Taj *et al.*, 2022). Por lo tanto, se requieren estrategias eficientes en el manejo de enfermedades en trigo, como el control biológico con BPCV y con compuestos como el biocarbón que pueden contribuir a la sanidad de este cultivo. Las BPCV controlan el desarrollo fúngico a través de la síntesis de auxinas, compuestos orgánicos volátiles (COV), enzimas líticas, antibióticos y sideróforos, además compiten por nutrientes, activan la resistencia sistémica inducida de las plantas y participan en el ciclaje de nutrientes como el zinc y el fósforo (De Tender *et al.*, 2021).

El biocarbón se utiliza en el secuestro de carbono, la remediación de suelos y agua, en la fabricación de combustibles renovables, favorece la enmendación de suelos y recientemente se ha estudiado por su capacidad en el control de fitopatógenos. Este carbón vegetal favorece la fertilidad del suelo, la sobrevivencia y proliferación de microorganismos, como las BPCV (Gebremedhin, 2022) y puede adsorber toxinas que los patógenos sintetizan e induce la respuesta sistémica de las plantas (Liu *et al.*, 2023). De acuerdo con lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el control de hongos asociados al cultivo de trigo con biocarbón y BPCV en condiciones *in vitro* y campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La materia prima utilizada para la preparación del biocarbón fue restos de poda de *Quercus* sp. sometidos a pirolisis a $\pm 600^\circ$ C. Se determinaron las características texturales por adsorción de N_2 y por digestión ácida con un sistema de microondas, se determinó la concentración total de N, Ca, Mg, Na y K. Se seleccionaron a *Bacillus mycooides*, *Bacillus simplex*, *Peribacillus simplex*, *Serratia proteamaculans* y *Serratia grimesii* de la colección de Microbiología de suelos-BUAP. Se determinó la producción de enzimas quitinasas *in vitro* (Medina-de la Rosa, 2016) e indoles totales por HPTLC. Además, se caracterizó morfológica y genéticamente una colección de hongos asociados a trigo proveniente de material vegetal y granos.

Se evaluó el biocontrol del desarrollo fúngico *in vitro* a través de la síntesis de COV (Medina-de la Rosa, 2019) y antagonismo en placa (Gutiérrez, 2018) en presencia y ausencia de biocarbón al 0.5%. Se midió el diámetro fúngico y se comparó con el testigo.

El experimento de campo se realizó en el municipio de San José Teacalco, Tlaxcala, en otoño del 2023, en 55 parcelas de 15m² para 9 tratamientos con cinco repeticiones en un diseño completamente al azar. Se consideró un testigo al que no se le aplicó ningún tratamiento, otro con fungicida químico (ciproconazol) y los restantes son *Bacillus*, *Serratia*, biocarbón y sus diferentes combinaciones. Se sembró al voleo 300 g de semilla previamente tratadas con fungicida al 0.25%, BPCV (25×10^9 UFC mL⁻¹) y/o 15 g de biocarbón. A las 8 semanas se evaluó la severidad de la enfermedad con la escala de Rust en la hoja bandera, la longitud y masa seca de la planta.

La evaluación final fue a las 20 semanas, donde se midió la longitud de la espiga, número de granos, altura, diámetro y masa seca de la planta, además se calculó el rendimiento por hectárea. A los granos cosechados se le realizó una prueba de sanidad de semillas en papel secante, para determinar el porcentaje de infección por hongos. Los resultados se analizaron con R commander ver 4.2.2, para análisis de normalidad, varianza y comparación de medias por Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El biocarbón fue clasificado como tipo 1 según la IUPAC, ya que está formado por poros que van desde 1 a 7 nm, siendo los ≤ 3 nm los más abundantes. El poro tiene un volumen total de $0.112 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ y diámetro 2.33 nm, con un área de superficie de $289.5 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. Este carbón vegetal tiene pH de 8.9 y CE de 2.23 dS m^{-1} , 0.8 % es N total, Ca 8.0 g kg^{-1} , 5.0 g kg^{-1} de Na, 3.6 g kg^{-1} de Mg y de K 95 g kg^{-1} . Los microporos y mesoporos aumentan la capacidad de adsorción del biocarbón y les proveen un nicho a las comunidades microbianas, además algunas bacterias pueden producir sustancias que favorecen su adhesión al compuesto rico en carbono, formando el complejo biocarbón-inoculo microbiano (Liu *et al.*, 2023).

Las BPCV ensayadas son productoras de indoles, sin embargo, *Serratia* produce mayor concentración de estos compuestos, esto se ha visto relacionado con la formación y elongación de las raíces (Mike-Anosike *et al.*, 2018). Además, *Serratia* produce quitinasas, enzimas que pueden degradar la pared celular de los hongos y activar los mecanismos de defensa de las plantas (Pedraza *et al.*, 2020).

Se obtuvieron 15 cepas de hongos asociados a trigo: *Alternaria alternata* (3), *Alternaria arborescens* (4), *Chaetomium mareoticum*, *Epicoccum* sp., *Epicoccum sorghinum* *Fusarium* sp., *Fusarium equiseti*, *Fusarium tricinctum*, *Geotrichum candidum* y *Parastagonospora nodorum*, estos microorganismos pueden provocar enfermedades como tizón de la cabeza (*Fusarium*) y pudrición de la raíz (*Fusarium* y *Alternaria*), punto negro (*Alternaria*), además hongos como *P. nodorum* suprimen la respuesta de defensa de la planta y *Epicoccum* sp. produce toxinas que provocan daños a la salud animal (Manghwar *et al.*, 2021). En las técnicas de COV y antagonismo en placa, *Bacillus* y *Serratia* afectaron el diámetro micelial de todos los hongos ensayados. Sin embargo, el biocarbón al 5% limitó el crecimiento fúngico solo cuando se combinó con BPCV (Figura 1). Rasool *et al.* (2021), mencionan que el efecto del biocarbón dependerá de la dosis de aplicación y sus características fisicoquímicas.

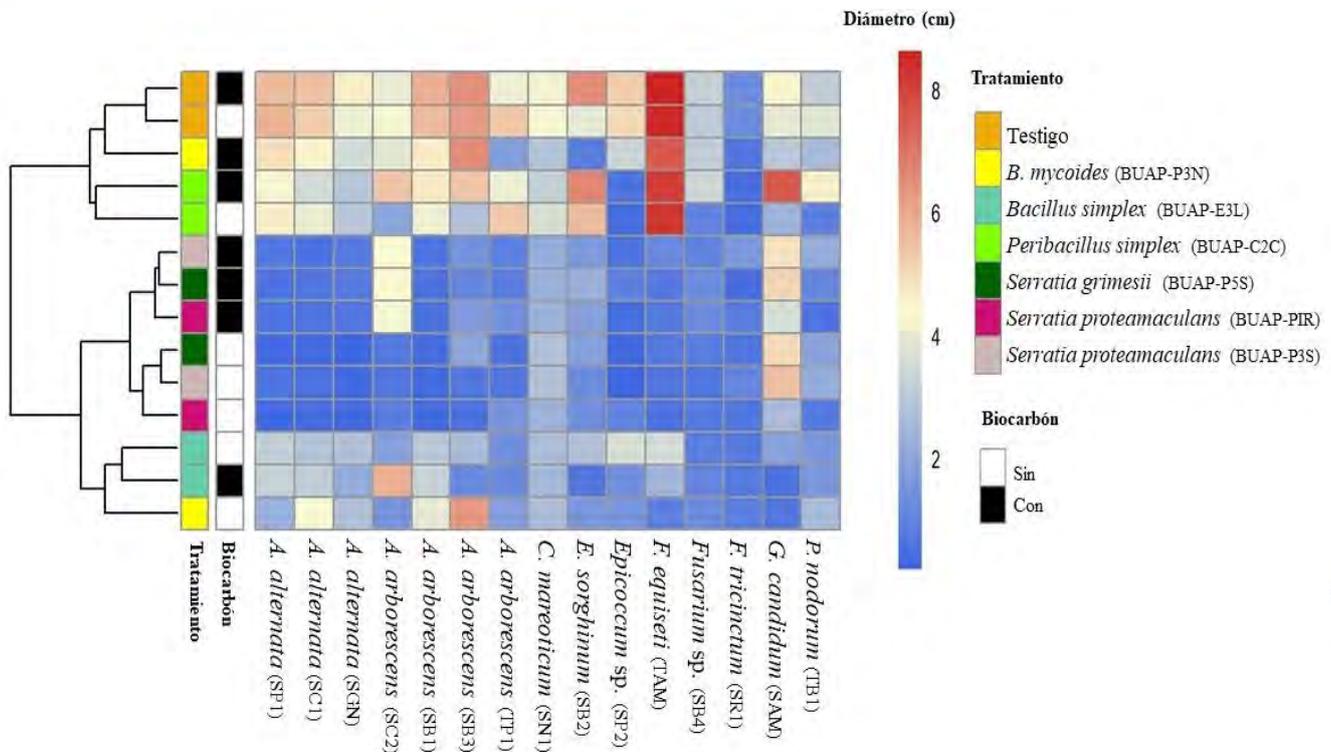


Figura 1. Magnitud visual del antagonismo *in vitro* de las BPCV en presencia y ausencia de biocarbón al 0.5% sobre hongos asociados a trigo. La escala de color muestra el diámetro fúngico en centímetros

El experimento de campo no mostró diferencias significativas en las variables: altura y masa seca de la planta, diámetro del tallo y la longitud de la espiga. El número de granos por espiga fue de 27 en el testigo e incremento hasta 30 con el uso de biocarbón. La aplicación de biocarbón+*Serratia*, biocarbón y biocarbón+*Bacillus*+*Serratia*, aumentaron los rendimientos, por arriba de 1.0 ton ha⁻¹, comparadas con el testigo de 0.7 ton ha⁻¹. Con la aplicación de biocarbón+*Bacillus*+*Serratia* se logró disminuir el índice de la severidad de la enfermedad hasta 5, comparado con el testigo con un índice de 40 (Cuadro 1). Se conoce el efecto positivo del biocarbón en el rendimiento del trigo, sin embargo, los hongos siguen persistiendo en las plantas y granos, juntos con sus toxinas que dañan la salud de las personas (Oliveira *et al.*, 2018). Las semillas cosechadas del tratamiento con biocarbón+*Serratia* aumentaron el porcentaje de sanidad (aquellos granos donde no se manifestó ninguna especie fúngica) al 40% comparadas con el 20% de semillas sanas en el testigo.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cuadro 1. Evaluación de las características fenológicas y productividad del experimento de campo en San José Teacalco, Tlax.

Tratamiento	Índice de severidad	Granos		Rendimiento total	
		Por espiga	Sanos %	t ha ⁻¹	Incremento %
Testigo	40.0	27 ± 4 b	19 ± 1 b	0.7 ± 0.2 b	-
<i>Bacillus</i>	26.7	24 ± 2 ab	36 ± 3 a	1.0 ± 0.3 ab	42.8
<i>Serratia</i>	33.3	24 ± 3 ab	15 ± 2 b	0.9 ± 0.2 ab	28.6
<i>Bacillus</i> + <i>Serratia</i>	15.0	23 ± 3 ab	30 ± 3 ab	0.9 ± 0.2 ab	28.6
Biocarbón	46.7	29 ± 2 b	30 ± 5 ab	1.3 ± 0.2 a	85.7
Bc+ <i>Bacillus</i>	40.0	16 ± 6 a	21 ± 11 b	0.8 ± 0.2 ab	14.3
Bc+ <i>Serratias</i>	46.7	22 ± 4 ab	41 ± 7 a	1.9 ± 0.2 c	171.4
Bc+BS	5.0	25 ± 5 ab	29 ± 5 ab	1.1 ± 0.2 ab	57.1
Fungicida químico	11.7	20 ± 2 ab	22 ± 3 b	0.9 ± 0.2 ab	28.6

Los valores representan la media de 5 repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna representan diferencias significativas a $p < 0.05$. Bc: Biocarbón; BS: *Bacillus*+*Serratia*.

CONCLUSIONES

Las BPCV *B. mycooides*, *B. simplex*, *P. simplex*, *S. proteamaculans* y *S. grimesii* producen indoles totales, COV y las del género *Serratia* enzimas quitinasas. La inoculación de biocarbón+*Bacillus*+*Serratia* en semillas de trigo, disminuyó la presencia de hongos patógenos fúngicos en el cultivo, aumentó la sanidad de las plantas y de los granos cosechados, además se logró aumentar el rendimiento del cultivo, por lo tanto, se sugiere la aplicación combinada de BPCV y biocarbón en semillas durante la siembra de trigo.

AGRADECIMIENTOS

Por el financiamiento de esta investigación a la vicerrectoría de docencia de la Universidad Autónoma de Puebla VIEP2024 100155588 y al programa BiofertiBuap.

BIBLIOGRAFÍA

- Carranza-González, S., Carballo-Carballo, A., Villaseñor-Mir, H. E., Hernández-Livera, A., & Elena-Ramírez, M. (2022). Calidad física de semilla en 24 variedades mejoradas de trigo liberadas en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(5), 827-840.
- De Tender, C., Vandecasteele, B., Verstraeten, B., Ommeslag, S.,... & Debode, J. (2021). Biochar-enhanced resistance to *Botrytis cinerea* in strawberry fruits (but not leaves) is associated with changes in the rhizosphere microbiome. *Frontiers in Plant Science*, 12.
- FAO (2017). *The Future of Food and Agriculture—Trends and Challenges*. Rome: FAO.
- Gebremedhin W. (2022). The role of biochar for agricultural and environmental purposes with best quality considerable characteristics. *Magna Scientia Adv. Res. Rev*, 5(1), 48-53.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Gutiérrez Flores, L. (2018). Diagnóstico de la enfermedad fúngica de *Pinus patula* y propuesta de biocontrol en Tetela de Ocampo, Puebla.
- Islam, M., Gupta, D. R., Hossain, A., Roy, K. K., He, X., Kabir, M. R., ... & Wang, G. L. (2020). Wheat blast: a new threat to food security. *Phytopathology Research*, 2(1), 1-13.
- Liu, Z., Zhou, W., Sun, Y., Peng, Y., Niu, J. & Wei, M. (2023). Biochar and its coupling with microbial inoculants for suppressing plant diseases: A review. *Applied Soil Ecology*, 190.
- Manghwar, H., Hussain, A., Ali, Q., Saleem, M. H., ... , & Munis, M. F. H. (2021). Disease severity, resistance analysis, and expression profiling of pathogenesis-related protein genes after the inoculation of *Fusarium equiseti* in wheat. *Agronomy*, 11(11).
- Márquez, D. L., Hernández, A., Márquez, L. H., & Casas, M. (2021). La educación ambiental: evolución conceptual y metodológica hacia los objetivos del desarrollo sostenible. *Universidad y Sociedad*, 13(2): 301-310.
- Medina De La Rosa, G. (2016). Efecto de metabolitos producidos por bacterias aisladas de maíz (*Zea mays* L.) en la inhibición de hongos Fitopatógenos. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Mike-Anosike, E.E. Mike-Anosike, W. Braide, S.A. Adeleye. (2018). Studies on indole acetic acid (IAA) production by rhizobacteria and growth promoting potentials. *Int. J. Adv. Res. Biol. Sci.*, 5:133-140.
- Oliveira, R. C. de, Carnielli-Queiroz, L., & Correa, B. (2018). *Epicoccum sorghinum* in food: occurrence, genetic aspects and tenuazonic acid production. *In Current Opinion in Food Science* 23: 44-48.
- Organización de las Naciones Unidas. (2022). Objetivos de desarrollo sustentable.
- Pedraza, L. A., López, C. E., & Uribe-Vélez, D. (2020). Mechanisms of action of *Bacillus* spp. (bacillaceae) against phytopathogenic microorganisms during their interaction with plants. *In Acta Biológica Colombiana* 25(1): 112-125.
- Rasool, M., Akhter, A., Soja, G., & Haider, M. S. (2021). Role of biochar, compost and plant growth promoting rhizobacteria in the management of tomato early blight disease. *Scientific Reports*, 11(1).
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2016). ¿Por qué el grano de trigo es tan valioso? Disponible en <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/por-que-el-trigo-en-grano-es-tan-valioso>
- Taj, M., Sajjad, M., Li, M., Yasmeen, A., Mubarak, M. S., Kaniganti, S., & He, C. (2022). Potential Targets for CRISPR/Cas Knockdowns to Enhance Genetic Resistance Against Some Diseases in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Frontiers in Genetics*, 13.

USO EFICIENTE Y RECUPERACIÓN DE NITRÓGENO A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DE MELATONINA EN PLANTAS DE FRIJOL

Carlos Abel Ramírez Estrada¹; Esteban Sánchez Chávez¹; María Antonia Flores Córdova²; Celia Chávez Mendoza¹; Sandra Pérez Álvarez³

¹ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Av. 4ta. Sur 3820, Fracc. Vencedores del Desierto. Cd. Delicias, Chih. México. C. P. 33089.

² Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Av. Pascual Orozco s/n, Campus 1, Santo Niño, Chihuahua, Chih. México. C. P. 31310.

³ Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Km 2.5 Carretera Delicias a Rosales, Delicias, Chih. México. C. P. 33000.

*Autor de correspondencia: esteban@ciad.mx

RESUMEN

La baja eficiencia de los fertilizantes de nitrógeno es un problema en la agricultura que afecta el medio ambiente. Se ha reportado que la melatonina (MEL) mejora la asimilación de nitrógeno en plantas de plantas de maíz, trigo y pepino. No obstante, la información acerca de su efecto como bioestimulante para incrementar el uso eficiente (UEN) y recuperación de nitrógeno en frijol es escasa. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de melatonina vía foliar a dosis de 0, 1, 10 y 100 μM sobre la recuperación y el UEN en plantas de frijol ejotero cv. Strike. Los resultados obtenidos indican que la aplicación de melatonina logró incrementar la biomasa y el rendimiento en todas las dosis en comparación al control. Además, la dosis de 1 μM logró el mayor UEN en comparación al control y un porcentaje de recuperación del 35%. Finalmente, se concluye que la melatonina aplicada a dosis de 1 μM es una alternativa como bioestimulante al hacer más eficiente la recuperación y el uso de nitrógeno en plantas de frijol ejotero.

PALABRAS CLAVE

Phaseolus vulgaris L.; Nitrato de amonio; Bioestimulante.

INTRODUCCIÓN

La baja eficiencia de los fertilizantes nitrogenados es un problema en la agricultura que afecta al medio ambiente (Ahmed, Rauf, Mukhtar y Saeed, 2017). Dependiendo de las condiciones del cultivo, alrededor del 50% del nitrógeno aplicado se volatiliza o lixivía, liberándose a la atmósfera o depositándose en masas de agua (Singh, Kumar, Jaswal, Singh y Gaikwad, 2018). Ante esto, se ha reportado que el uso de bioestimulantes podría contribuir al uso eficiente de nitrógeno en cultivos. La aplicación de melatonina ha probado incrementar el uso eficiente de nitrógeno en cultivos (Xu et al., 2024). Sin embargo, la información sobre su efecto como bioestimulante para aumentar la eficiencia en el uso de nitrógeno y la recuperación de nitrógeno en plantas de frijol ejotero es escasa. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la aplicación foliar de melatonina en la recuperación y UEN en plantas de frijol ejotero cv. Strike.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó durante los meses de septiembre y octubre de 2022, bajo condiciones de malla sombra en el CIAD unidad Delicias. Se utilizaron semillas de frijol ejotero cv. Strike (Hydro Enviroment®), y se desarrollaron las plantas durante 60 días. Se utilizó un diseño completamente al azar con 4 niveles. El factor por evaluar fue la aplicación de MEL vía foliar y los niveles fueron las dosis 0, 1, 10 y 100 μM . En total se contó con 4 tratamientos y 6 repeticiones.

Se evaluaron la acumulación de biomasa total (g planta^{-1} p.s.), además de el rendimiento a través de la producción de frutos (g planta^{-1} p.f.). Así mismo, se cuantificaron el índice UEN y el porcentaje de recuperación de nitrógeno (Ramírez-Estrada, Sánchez, Flores-Córdova, Chávez-Mendoza, Pérez-Álvarez y Yáñez-Muñoz, 2024). Se utilizó un análisis de varianza y una prueba de separación de medias (LSD-Fisher, $p \leq 0.05$) a través del software SAS versión 9.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La biomasa vegetal y el rendimiento son componentes indicadores de la productividad y de la efectividad de los tratamientos aplicados (Martínez y Leyva, 2014). En el presente estudio, se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) por efecto de la dosis de MEL aplicada (Figura 1a). La aplicación de MEL a 100 μM logró el mayor incremento, siendo 70% mayor con respecto al control. Este resultado es similar al obtenido por Ren, Yang, Ma, Wang y Zhao (2021) quienes reportaron un incremento del 71% en la biomasa seca de plántulas de maíz tras la aplicación de MEL a dosis de 100 μM . Por otro lado, los datos obtenidos para rendimiento en el presente trabajo de investigación presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos por efecto de la dosis de MEL aplicada (Figura 1b). El tratamiento que obtuvo la mayor producción de vainas fue MEL a 1 μM , que incrementó en un 223.7% con respecto al control.

Con respecto al índice de uso eficiente de nitrógeno, se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) por efecto de la dosis de MEL aplicada (Figura 1c). El tratamiento con el mayor índice fue la dosis de 100 μM , sobresaliendo 125% con respecto al control. Cabe mencionar que el tratamiento a dosis de 1 μM también mostró un incremento significativo respecto al control del 91% sin diferencia significativa frente a la dosis de 10 μM . Por último, la aplicación foliar de melatonina favoreció la recuperación de nitrógeno (Figura 1d) sin diferencia entre dosis, siendo el tratamiento más beneficiado la dosis de 1 μM .

Anteriormente, se ha indicado que el uso de moléculas de bajo peso como la MEL pueden intervenir en los procesos de crecimiento, principalmente en la fotosíntesis, a través de la cual se obtienen los azúcares constituyentes de la biomasa (Liang et al., 2019). Tal y como indican ElSayed, Rafudeen, Gomaa y Hasanuzzaman (2021), la aplicación de MEL en plantas de frijol permitió una mayor fotosíntesis a través de mejorar la protección antioxidante, una mayor concentración de CO_2 intracelular y una mejor conductancia estomática. Posiblemente, este mecanismo promueva el aumento en el número y tamaño de vainas en frijol ejotero, resultando finalmente en un aumento en el rendimiento.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Además, se ha descrito un crecimiento acelerado en la zona radicular por acción de la MEL, con lo cual, la absorción de nutrientes y agua se ve promovida, esto también explicaría un incremento en los parámetros de uso eficiente de nitrógeno (Zhang et al., 2013).

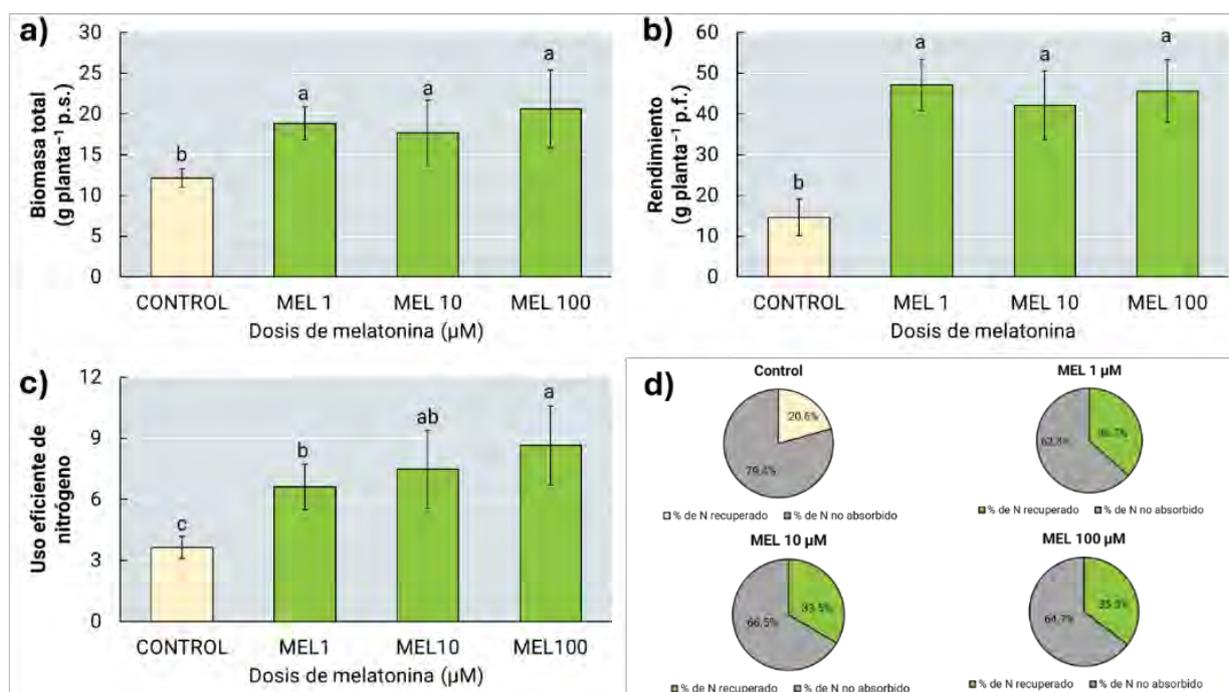


Figura 1. Efecto de la aplicación foliar de melatonina a dosis de 0, 1, 10 y 100 µM sobre: a) Acumulación de biomasa total, b) Rendimiento de vainas, c) Índice de uso eficiente de nitrógeno y d) Porcentaje de recuperación de nitrógeno en plantas de frijol ejotero cv. Strike.

CONCLUSIONES

La aplicación foliar de melatonina a dosis bajas (1 µM) es efectiva para aumentar el uso eficiente y aprovechamiento de nitrógeno, lo cual beneficia la obtención de biomasa total y producción de vainas en plantas de frijol ejotero cv. Strike. Estos resultados podrían promover la generación de productos comerciales a base de MEL para una aplicación directa en campo. Finalmente, destacar que se necesita más investigación en el área de bioestimulantes para incrementar el uso eficiente de nutrientes y su impacto en el desarrollo de cultivos.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahmed, M., Rauf, M., Mukhtar, Z., & Saeed, N. A. (2017). Excessive use of nitrogenous fertilizers: an unawareness causing serious threats to environment and human health. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 26983-26987. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0589-7>
- ElSayed, A. I., Rafudeen, M. S., Gomaa, A. M., & Hasanuzzaman, M. (2021). Exogenous melatonin enhances the reactive oxygen species metabolism, antioxidant defense-related gene expression, and photosynthetic capacity of *Phaseolus vulgaris* L. to confer salt stress tolerance. *Physiologia plantarum*, 173(4), 1369-1381.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Liang, D., Ni, Z., Xia, H., Xie, Y., Lv, X., Wang, J., ... & Luo, X. (2019). Exogenous melatonin promotes biomass accumulation and photosynthesis of kiwifruit seedlings under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 246, 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.058>
- Martínez Romero, A. y Leyva Galán, A. (2014). La biomasa de los cultivos en el ecosistema. Sus beneficios agroecológicos. *Cultivos Tropicales*, 35(1), 11-20.
- Ramírez-Estrada, C. A., Sánchez, E., Flores-Córdova, M. A., Chávez-Mendoza, C., Pérez-Álvarez, S., & Yáñez-Muñoz, R. M. (2024). Can Foliar-Applied Omeprazole Improve the Yield, Assimilation, Recovery and Nitrogen Use Efficiency in Bean Plants?. *Nitrogen*, 5(1), 219-231. <https://doi.org/10.3390/nitrogen5010015>
- Ren, J., Yang, X., Ma, C., Wang, Y., & Zhao, J. (2021). Melatonin enhances drought stress tolerance in maize through coordinated regulation of carbon and nitrogen assimilation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 167, 958-969. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.09.007>
- Singh, A., Kumar, A., Jaswal, A., Singh, M., & Gaikwad, D. S. (2018). Nutrient use efficiency concept and interventions for improving nitrogen use efficiency. *Plant Archives*, 18(1), 1015-1023.
- Xu, Y., Xu, R., Li, S., Ran, S., Wang, J., Zhou, Y., ... & Zhong, F. (2024). The mechanism of melatonin promotion on cucumber seedling growth at different nitrogen levels. *Plant Physiology and Biochemistry*, 206, 108263. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.108263>
- Zhang, N., Zhao, B., Zhang, H. J., Weeda, S., Yang, C., Yang, Z. C., ... & Guo, Y. D. (2013). Melatonin promotes water-stress tolerance, lateral root formation, and seed germination in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Journal of pineal research*, 54(1), 15-23. <https://doi.org/10.1111/j.1600-079X.2012.01015.x>

VARIACIÓN DEL CARBONO FACILMENTE OXIDABLE DEL SUELO EN RESPUESTA A DISTINTAS FUENTES DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA

Víctor Manuel Montoya-Jasso¹; Víctor Manuel Ordaz-Chaparro^{1*}; Gerardo Sergio Benedicto-Valdés¹; Enrique Ojeda-Trejo¹; Edgar Vladimir Gutiérrez-Castorena²; Violeta Abigail Zacarías-Gutiérrez¹; Jesús Manuel Arreola-Tostado³

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. 56264.

²Universidad Autónoma de Nuevo León. Pedro de Alba S/N, Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. 66451.

³Consultor agrícola. Calle Apaseo el Grande #114, Colonia Guanajuato, Celaya, Guanajuato, México. 38010.

*Autor de correspondencia: ordaz@colpos.mx

RESUMEN

La determinación del carbono fácilmente oxidable (CO_x) indica aquel carbono dinámico en ecosistemas terrestres, posicionando al CO_x como la forma de carbono que representa los impactos que ocasionan los cambios en el almacén de carbono orgánico del suelo (COS) por efectos del suelo. El objetivo fue determinar el impacto de la fertilización nitrogenada en el contenido de carbono fácilmente oxidable asociado a distintos tamaños de partículas de un acrisol bajo producción de *Agave tequilana* W. Se empleó un suelo clasificado como acrisol, proveniente de Arandas, Jalisco, México; se evaluaron tratamientos con base en dos diámetros de partícula (1.0 y 0.5 mm), asimismo, dos fuentes de fertilización nitrogenada (urea y sulfato de amonio) en dosis de 250 y 350 kg N ha⁻¹. El diseño experimental utilizado fue un factorial 2³ con cuatro repeticiones, se realizaron análisis de covarianza y una prueba de medias de Tukey ($p < 0.05$). Los datos se analizaron con software estadístico SAS®. En los tratamientos de 1 mm de diámetro de partícula, con fertilización a base de sulfato de amonio, el CO_x se vio reducido por la reacción del sulfato de amonio que potencializó la mineralización del nitrógeno y del COS. Los tratamientos con sulfato de amonio y diámetro de partícula de 0.5 mm, ocasionaron un incremento entre 229.09 y 327.30 mg kg⁻¹ de CO_x. En suelos con partículas menores a 0.5 mm, el contenido de CO_x incrementa hasta formar agregados estables que promueven el almacén de COS por el suministro de urea y sulfato de amonio en dosis aproximadas a los requerimientos nutricionales del cultivo establecido.

PALABRAS CLAVE

Acrisol; Carbono del suelo; Diámetro de partículas; Mineralización.

INTRODUCCIÓN

La determinación del carbono fácilmente oxidable (CO_x) del suelo significa cuantificar el carbono lábil e indica aquel carbono extremadamente dinámico en ecosistemas terrestres (Finnleigh *et al.*, 2023). Wang *et al.*, (2017) mencionan que el CO_x se compone, principalmente, por carbohidratos, aminoácidos y materiales

biodegradables que integran el carbono del suelo (COS). Lo anterior posiciona al COx como la forma de carbono que indica, y representa, los impactos que ocasionan los cambios en el almacén de COS (Raiesi y Kabiri, 2016) por efectos del uso y prácticas aplicadas en el suelo (Romero *et al.*, 2018). El contenido de COx se relaciona con la mineralización del COS (Seifert *et al.*, 2016) en tierras de cultivo, ya que, presenta incrementos o decrementos por la presencia de materiales orgánicos con una relación C/N baja (Culman *et al.*, 2013) y la aportación de fertilizantes de síntesis nitrogenada (Montoya-Jasso *et al.*, 2019) lo que impacta directamente en propiedades edáficas como la estructuración y agregación del suelo (Dieckow *et al.*, 2009), incluida la fertilidad química y la humificación de los residuos orgánicos del suelo (Conti *et al.*, 2016). Traversa *et al.*, (2014) mencionan que, en terrenos de cultivo, el diámetro de partícula impacta en el contenido y distribución del COx, así como en su estabilidad al conjuntarse con arcillas para formar complejos organominerales y su encapsulación con los agregados del suelo (Lützow *et al.*, 2006). El objetivo fue determinar el impacto de la fertilización nitrogenada en el contenido de carbono fácilmente oxidable asociado a distintos tamaños de partículas de un acrisol bajo producción de *Agave tequilana* W.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se empleó un suelo clasificado como acrisol, proveniente de Arandas, Jalisco, México. Los tratamientos tuvieron su base en los diámetros de partícula de mayor proporción en el suelo (1.0 y 0.5 mm), asimismo, se emplearon dos fuentes de fertilización nitrogenada siendo aquellas de uso común en la región (urea y sulfato de amonio) con dos dosis (250 y 350 kg N ha⁻¹) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de tratamientos evaluados.

Tratamiento	1	2	3	4	5	6	7	8
Suelo	----- Acrisol -----							
Diámetro de partícula (mm)	----- 1.0 -----				----- 0.5 -----			
Fuente de fertilización	(NH ₂) ₂ CO		(NH ₄) ₂ SO ₄		(NH ₂) ₂ CO		(NH ₄) ₂ SO ₄	
Dosis de fertilización (kg N ha ⁻¹)	250	350	250	350	250	350	250	350

Se realizó una determinación inicial de COx en el suelo sin aplicación de tratamientos. Se realizó una solución oxidante pesando 3.161 g de KMnO₄ y disolviendo en 100 mL de agua destilada, posteriormente se aforó a un volumen de 1 L. Se tomaron 5 g de suelo y se colocaron en tubos de 50 mL, aptos para centrífuga, y se añadieron 20 mL de la solución oxidante para llevarlo a agitación horizontal durante 5 minutos. Una vez transcurrido el periodo de agitación, se tomó una alícuota de 0.5 mL del sobrenadante del tubo y se colocó en un bote con 49.5 mL de agua destilada. Para la lectura fue empleado un colorímetro calibrado a una longitud de onda de 550 nm (Weil *et al.*, 2003). El cálculo del contenido de COx se realizó empleando la Ecuación 1:

$$Ec.1 \ COx \ (mg \ kg^{-1}) = \frac{\left(0.02 \left(0.02 \left(\left(1 - \left(\frac{Abs_m}{Abs_b}\right)\right)\right)\right)\right) * 9000}{0.005}$$

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Donde: 0.02 corresponde a la concentración inicial de KMnO_4 (mol L^{-1}), 0.02 es el volumen (L) de la solución de KMnO_4 en reacción, Abs_m es la absorbancia de la muestra, siendo Abs_b la absorbancia del blanco, 9000 corresponde a los mg de carbono oxidado por cada mol de KMnO_4 y 0.005 es igual al peso del suelo en kg.

Se colocaron 50 g de suelo en un bote de plástico de 0.5 L de volumen y se agregó el equivalente a las dosis de fertilización de cada una de las fuentes nitrogenadas mencionadas en el Cuadro 2. El suelo en el bote fue humedecido cada 4 días, a un rango de humedad aprovechable (24.5 % de humedad gravimétrica), durante un periodo de 40 días. Al finalizar el ensayo, se realizó el procedimiento mencionado en el párrafo anterior para conocer el contenido de COx. El diseño experimental utilizado fue un factorial 2^3 con cuatro repeticiones, se realizaron análisis de covarianza y una prueba de medias de Tukey ($p < 0.05$) para examinar las diferencias entre los tratamientos. Los datos obtenidos se analizaron con apoyo del software estadístico SAS® en su versión 9.4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se muestran los contenidos medios de COx en cada uno de los tratamientos, mismos que presentaron diferencia estadística significativa.

Cuadro 2. Prueba de medias y ganancias de los tratamientos evaluados.

Tratamiento	COx inicial	COx final (mg kg^{-1})	Ganancia
1	567.27 b	621.82 b	54.55
2	610.91 a	556.36 c	-54.55
3	567.27 b	490.91 d	-76.36
4	545.45 b	490.91 d	-54.55
5	436.36 c	621.82 b	185.45
6	305.45 d	490.91 d	185.45
7	327.27 d	556.36 c	229.09
8	654.50 a	981.80 a	327.30
DMS ($p \leq 0.05$)	53.59	75.46	---

Resalta que, en los tratamientos de 1 mm de diámetro de partícula, con fertilización a base de sulfato de amonio (T3 y T4), el COx se vio reducido por la reacción del sulfato de amonio que potencializó la mineralización del nitrógeno (Awale *et al.*, 2013) y, a su vez, acelerando la mineralización del COS (Wang *et al.*, 2017) en forma de CO_2 (Montoya-Jasso *et al.*, 2019), se observó un efecto similar con el tratamiento con 350 kg N ha^{-1} de urea (T2).

Los tratamientos con un diámetro de partícula de 0.5 mm, y ambas dosis de urea (T5 y T6), obtuvieron una ganancia igual en los contenidos de COx en el suelo ($185.45 \text{ mg kg}^{-1}$) después de 40 días de evaluación (Cuadro 2). Lo anterior responde a una menor actividad en la mineralización del nitrógeno por la conversión de la urea en amonio y su posterior nitrificación (Morales-Morales *et al.*, 2019).

Vivian *et al.*, (2018) y Zaman *et al.*, (2013) hacen mención a que el proceso de nitrificación depende del tipo de arcilla presente en el suelo, en conjunto con el contenido de humedad y población microbiana, sin embargo, ambas fuentes refieren

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

periodos medios de 28-31 días en que un 90% del nitrógeno presente en la molécula de urea se nitrifica. Para el caso de los tratamientos con ambas dosis de sulfato de amonio y diámetro de partícula de 0.5 mm (T7 y T8), la ganancia fue mucho mayor, 229.09 y 327.30 mg kg⁻¹, respectivamente (Cuadro 2). Culman *et al.*, (2012) encontraron incrementos en las fracciones del COS cuando se analizaron partículas de 500 a 250 micras, entre las fracciones se reportó el CO_x, indicando una propiedad que refleja la aptitud del suelo (Montoya-Jasso *et al.*, 2022) así como la capacidad para detectar impactos por el manejo del suelo y por los insumos empleados en el mismo.

CONCLUSIONES

En suelos con mayor proporción de partículas menores a 0.5 mm, el contenido de CO_x incrementa hasta formar agregados estables que promueven el almacén de COS por el suministro de urea y sulfato de amonio en dosis aproximadas a los requerimientos nutricionales del cultivo establecido.

BIBLIOGRAFÍA

- Awale, R., Chatterjee, A. and Franzen, D. (2013). Tillage and N-fertilizer influences on selected organic carbon fractions in a North Dakota silty clay soil. *Soil and Tillage Research*. 134: 213-222. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.08.006>
- Conti, G., Kowaljow, E., Baptist, F., Rumpel, C., Cuchiettu, A., Pérez-Harguindeguy, N. and Díaz, S. (2016). Altered soil carbon dynamics under different land-use regimes in subtropical seasonally-dry forests of central Argentina. *Plant and Soil*. 403: 375-387. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2816-2>
- Culman, S. W., Snapp, S. S., Freeman, M. A., Schipanski, M. E., Beniston, J., Lal, R., Drinkwater, L. E., Franzluebbers, A. J., Glover, J. D., Stuart-Grandy, A., Lee, J., Six, J., Maul, J. E., Mirsky, S. B., Spargo, J. T. and Wander, M. M. (2012). Permanganate oxidizable carbon reflects a processed soil fraction that is sensitive to management. *Soil Science Society of America Journal*. 76(2): 494-504. <https://doi.org/10.2136/sssaj2011.0286>
- Culman, S. W., Snapp, S. S., Green, J. M. and Gentry, L. E. (2013). Short- and long-term labile soil carbon and nitrogen dynamics reflect management and predict corn agronomic performance. *Agronomy Journal*. 150(2): 493-502. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0382>
- Dieckow, J., Bayer, C., Conceição, C., Zanatta, J. A., Martín-Neto, L., Milori, B. M., Salton, J. C., Macedo, M. M., Mielniczuk, J. and Hernani, L. C. (2009). Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. *European Journal of Soil Science*. 60(2): 240-249. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2008.01101.x>
- Finnleigh, S., Woodings, A. and Margenot, J. (2023). Revisiting the permanganate oxidizable carbon (POXC) assay assumptions: POXC is lignin sensitive. *Agricultural & Environmental Letters*. 8(1): e20108. <https://doi.org/10.1002/ael2.20108>
- Lützow, M. V., Kögel-Knabner, I., Ekschmitt, K., Matzner, E., Guggenberger, G., Marschner, B. and Flessa, H. (2006). Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions - a review. *European Journal of Soil Science*. 57(4): 426-445. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00809.x>

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Montoya-Jasso, V. M., Ordaz-Chaparro, V. M., Benedicto-Valdés, G. S., Ruíz-Bello, A., Arreola-Tostado, J. M. and Castillo-Valdez, X. (2019). Evaluation of substrates mineralization by C-CO₂ flux under nitrogen fertilization. *Suelos Ecuatoriales*. 49:(1 y 2): 19-28. [https://doi.org/10.47864/SE\(49\)2019p19-28_101](https://doi.org/10.47864/SE(49)2019p19-28_101)
- Montoya-Jasso, V. M., Ordaz-Chaparro, V. M., Benedicto-Valdés, G. S., Ojeda-Trejo, E. y Gutiérrez-Castorena, E. V. (2022). Atributos químicos para definir la aptitud agrícola de vertisoles del Bajío mexicano. *Suelos Ecuatoriales*. 52 (1 y 2): 130-136. [https://doi.org/10.47864/SE\(52\)2022p130-139_163](https://doi.org/10.47864/SE(52)2022p130-139_163)
- Morales-Morales, E. J., Rubí-Arriaga, M., López-Sandoval, J. A., Martínez-Campos, Á. R. y Morales-Rosales, E. J. (2019). Urea (NBPT) una alternativa en la fertilización nitrogenada de cultivos anuales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 10(8): 1875-1886.
- Raiesi, F. and Kabiri, V. (2016). Identification of soil quality indicators for assessing the effect of different tillage practices through a soil quality index in a semi-arid environment. *Ecological Indicators*. 71: 198-207. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.06.061>
- Romero, C. M., Engel, R. E., D'Andrilli J. D., Chen, C., Zabinski, C., Miller, P. R. and Wallander, R. (2018). Patterns of change in permanganate oxidizable soil organic matter from semiarid drylands reflected by absorbance spectroscopy and Fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry. *Organic Geochemistry*. 120: 19-30. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2018.03.005>
- Seifert, A. G., Roth, V. N., Dittmar, T., Gleixner, G., Breuer, L., Houska, T. and Marxsen, J. (2016). Comparing molecular composition of dissolved organic matter in soil and stream water: Influence of land use and chemical characteristics. *Science of The Total Environment*. 571: 142-152. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.033>
- Traversa, A., D'Orazio, V., Natale-Mezzapesa, G., Bonifacio, E., Farrag, K., Senesi, N. and Brunetti, G. (2014). Chemical and spectroscopic characteristics of humic acids and dissolved organic matter along two Alfisol profiles. *Chemosphere*. 111: 184-194. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.03.063>
- Vivian, Z., Larsona, J. A., Yinb, X., Savoyc, H. J., McClureb, A. M., Essingtonc, M. E. and Boyera, Ch. N. (2018). Profitability of enhanced efficiency urea fertilizers in no-tillage corn production. *Agron. J. Abs. -Crop Econ. Prod. Manag.* 110(4):1439-1446.
- Wang, F., Weil, R. R. and Nan, X. (2017). Total and permanganate-oxidizable organic carbon in the corn rooting zone of US Coastal Plain soils as affected by forage radish cover crops and N fertilizer. *Soil and Tillage Research*. 165: 247-257. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.08.022>
- Weil, R. R., Islam, K. R., Stine, M. A., Gruver, J. B. and Samson-Liebig, S. E. (2003). Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *Am. J. of Alt. Agric.* 18: 3-17. <https://doi.org/10.1079/AJAA2003003>
- Zaman, M., Zaman, S., Adhinarayanan, C., Nguyen, M. L., Nawaz, S. and Dawar, K. M. (2013). Effects of urease and nitrification inhibitors on the efficient use of urea for pastoral systems. *Soil Sci. Plant Nutr.* 59(4):649-659. <https://doi.org/10.1080/00380768.2013.812940>

División 4

El Papel del Suelo en la Sostenibilidad del Medio Ambiente y la Sociedad



Imagen creada con IA (<https://deepai.org>), empleando los términos "the soil's relevance in the sustainability, real picture, 3d imagen".



Coordinador de División
Dr. Adalberto Benavides Mendoza

ACTIVIDAD ENZIMÁTICA DE QUITINASAS Y GLUCANASAS EN *Solanum lycopersicum* INOCULADAS CON *Bacillus subtilis*

Alecsis de Melchor Padrón Chan; Arturo Reyes Ramírez

Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Conkal, Av. Tecnológico S/N, 97345, Conkal, Yucatán, México. alecsis.padron@itconkal.edu.mx

RESUMEN

Los factores bióticos y abióticos inciden directamente sobre la producción de plantas comercialmente importantes como el tomate (*Solanum lycopersicum*). Los productos de origen sintético son ampliamente utilizados para mantener una producción agrícola saludable. Las rizobacterias aisladas de los suelos representan una alternativa a los productos sintéticos. En plantas de *S. lycopersicum* se inoculó *B. subtilis* F8 y K47 obtenido de suelos nativos de la península de Yucatán y se evaluó la actividad enzimática de las quitinasas y β -glucanasas. Se utilizó un diseño totalmente al azar, los resultados fueron sometidos a un ANDEVA y comparación de medias con Tukey, ($p \leq 0.05$). La actividad enzimática aumentó a los tres días después del trasplante con la inoculación de *B. subtilis* F8 un 36 % y 44 %, con *B. subtilis* K47 un 57 % y 55 % para quitinasas y β -glucanasas, respectivamente. *B. subtilis* F8 y K47 representan una alternativa como inductores de la resistencia sistémica en plantas de tomate.

PALABRAS CLAVE

Enzimas; Resistencia sistémica inducida; Rizobacterias; Suelos.

INTRODUCCIÓN

Los factores bióticos y abióticos repercuten sobre el crecimiento y producción de hortalizas de importancia comercial como el tomate (Parrotta *et al.*, 2020). Los productos químicos tienen un papel importante en la producción agrícola saludable y eficiente, sin embargo, su uso intensivo repercute en el sostenimiento del medio ambiente y la salud de la sociedad (Dey y Ghosh, 2022). Las rizobacterias del género *Bacillus* aislados de los suelos son una alternativa a los productos sintéticos, ya que poseen la capacidad de inducir resistencia sistémica a través de la expresión de genes presentes en las plantas que aumentan actividades enzimáticas como las quitinasas y β -glucanasas relacionadas con la defensa vegetal (Dimkić *et al.*, 2022).

Se reportó que *B. megaterium* JPR68 estimuló la expresión de los genes relacionados con la defensa vegetal, y aumentó la actividad de enzimas con actividad antifúngica (Gogoi *et al.*, 2023). Aydi *et al.* (2017) reportaron que el aumento de actividad enzimática de la quitinasa por inoculación de *B. subtilis* str. SV41, redujo los síntomas ocasionados por *Fusarium oxysporum* en plantas de tomate. Este estudio tiene como objetivo evaluar la actividad enzimática de las quitinasas y β -glucanasas por la inoculación de *B. subtilis* F8 y K47 en plantas de *S. lycopersicum*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico y extracto enzimático

El experimento se realizó bajo una estructura con sistema protegido, con una temperatura promedio de 31 °C y una humedad relativa del 66 %. Se utilizaron las cepas de *B. subtilis* F8 y K47 aisladas previamente por Sosa *et al.* (2012). Plántulas de Tomate variedad Pony express de dos semanas de edad se trasplantaron en macetas de seis pulgadas con sustrato estéril que contenía suelo y sunshine (70:30 v/v;), se inocularon con 500 µL de la solución de esporas (DO = 0.8) en la base del tallo al momento del trasplante y a los seis días después del trasplante (ddt). La fertilización se realizó con base a fertilizantes comerciales. Un día antes del trasplante y posteriormente a los 3, 6 y 9 ddt, se tomó 1 g de hojas frescas, las muestras se procesaron de acuerdo a lo reportado por Rodríguez *et al.* (2004), y se recuperó el sobrenadante como fuente de enzimas.

Determinación de la actividad de quitinasas y glucanasas

La determinación de la actividad de quitinasas se realizó de acuerdo a Monreal y Reese (1969). Se determinó azúcares reductores liberados por el método de Miller (1959). Se definió como unidad de actividad enzimática específica (UAE) al total de enzima requerida para liberar un µmol de N-acetilglucosamina por mg⁻¹ proteína. La cuantificación de β-glucanasas, se realizó utilizando como sustrato 1 % de laminarina (Abeles y Forrence 1970), al sobrenadante obtenido se le determinó azúcares reductores y la unidad de actividad enzimática se expresó como µmol de glucosa producido por mg⁻¹ proteína. Las proteínas se cuantificaron por el método Bradford (1976).

Diseño y análisis estadístico

Se trabajó con un diseño experimental totalmente al azar. Los datos se sometieron a un ANDEVA y comparación de medias con Tukey, ($p \leq 0.05$) en el programa estadístico IBM SPSS estadistic 20.

RESULTADOS

Actividad enzimática quitinasas en plántulas de tomate

La actividad de la enzima aumentó por la inoculación de *Bacillus* y alcanzó la máxima actividad el tercer ddt con la inoculación de *B. subtilis* K47 con 2.63 UAE mg proteína⁻¹ seguido de *B. subtilis* F8 con 2.28 UAE mg proteína⁻¹, se observó una disminución de la actividad a partir de los 6 ddt (Figura 1A).

Actividad enzimática β-glucanasas en plántulas de tomate

La enzima β-glucanasas, presentó una actividad similar, su punto máximo se detectó al tercer día después del trasplante con la inoculación de *B. subtilis* K47 (0.85 UAE mg proteína⁻¹), seguido de *B. subtilis* F8 (0.79 UAE mg proteína⁻¹), se observó una disminución desde los 6 ddt (Figura 1B).

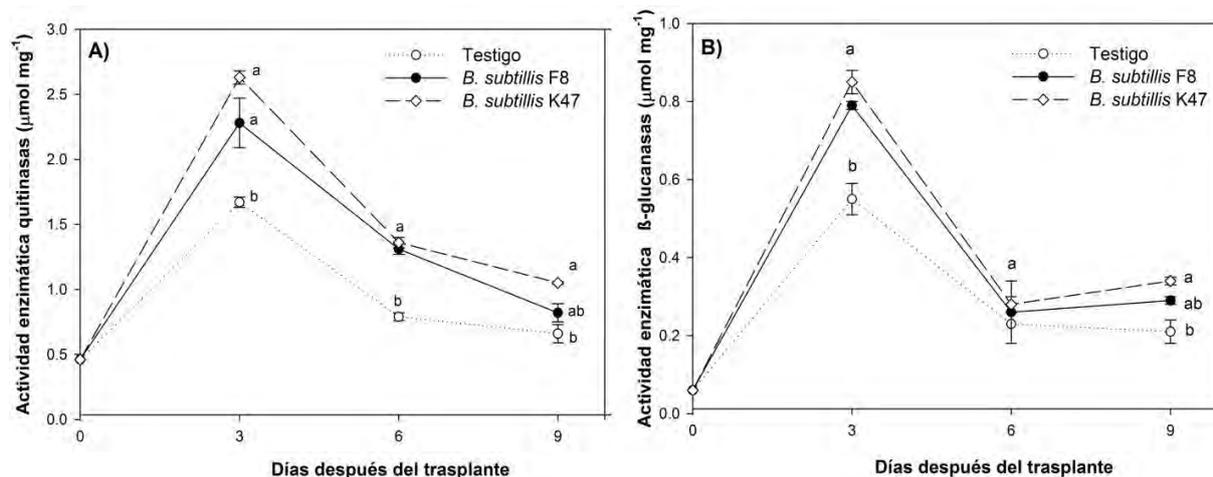


Figura 1. Actividad enzimática. A) quitinasas. B) β -glucanasas en plántulas de *S. lycopersicum* inoculadas con *B. subtilis* F8 y K47. Los datos son medias \pm EE; Literales idénticas son estadísticamente iguales (Tukey, $p < 0.05$).

DISCUSIÓN

El pico más alto en la actividad enzimática de las quitinasas y β -glucanasas a los 3 ddt se relaciona al estrés por el trasplante. La colonización radical de microorganismos benéficos induce importantes cambios en la planta hospedera, que le permiten superar los estreses abióticos como los ocasionados por el trasplante (Radman *et al.*, 2010), esto se debe a que los microorganismos benéficos pueden secretar moléculas llamadas elicitores, que actúan sobre receptores en las células vegetales. Las moléculas elicitoras, inducen diferentes respuestas biológicas en las plantas (Chamkhi *et al.*, 2021). Durante la relación planta-microorganismo benéfico se puede inducir respuestas de resistencia sistémica, similar a la producida ante ciertos patógenos, como el aumento de enzimas relacionadas a la patogénesis como la quitinasas y β -glucanasas (Aydi *et al.*, 2017).

Después de la segunda inoculación con *Bacillus* (6 ddt) la actividad enzimática de las quitinasas permaneció mayor respecto al testigo, esta síntesis de quitinasas en plantas está involucrada en la protección contra factores bióticos y abióticos; en situaciones de estrés abiótico como el ocasionado por el trasplante, la actividad de la enzima quitinasas permite que la planta ajuste su rigidez y flexibilidad, lo cual es clave para mantener la integridad celular (Cramer *et al.*, 2011). Por su parte la estimulación de la actividad de la enzima β -glucanasas por adaptación al trasplante se debe a la remodelación estructural de la planta, que le permite obtener agua y nutrientes, facilitando el uso eficiente de reservas de carbohidratos que la planta requiere en condiciones críticas (Balasubramanian *et al.*, 2012).

A los 9 ddt la actividad enzimática de las quitinasas y β -glucanasas fue mayor comparado al testigo, sin embargo, la actividad de ambas enzimas fue menor en comparación al registrado a los 3 ddt, posiblemente se deba a que las plantas ya se habían aclimatado y no sufrían estrés por el trasplante, estas alteraciones positivas en la actividad enzimática se relacionan con la resistencia sistémica inducida donde la planta reconoce los patrones moleculares asociados a microbios benéficos y como resultado se presenta una activación leve pero efectiva de las respuestas de defensa de la planta en los tejidos sistémicos, aumentando este potencial frente a condiciones adversas (Van Wees *et al.*, 2008).

División 4

CONCLUSIONES

Las cepas de *B. subtilis* F8 y K47 aumentan las actividades enzimáticas quitinasas y β -glucanasas relacionadas con la defensa vegetal, representando potencial prometedor como inductores de la resistencia sistémica en *Solanum lycopersicum*.

AGRADECIMIENTOS

El estudio fue financiado por el Tecnológico Nacional de México (Proyecto 19306.24-P).

BIBLIOGRAFÍA

- Abeles, F.B & Forrence, L.E. (1970) Temporal and hormonal control of β -1,3-glucanase in *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Physiology* 45(4), 395-400. <http://doi:10.1104/pp.45.4.395>.
- Aydi, R., Stedel, C., Garagounis, C., Nefzi, A., Jabnoun, H., Papadopoulou, K.K. & Daami, M. (2017). Involvement of lipopeptide antibiotics and chitinase genes and induction of host defense in suppression of *Fusarium* wilt by endophytic *Bacillus* spp. in tomato. *Crop Protection* 99, 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.05.008>.
- Balasubramanian, V., Vashisht, D., Cletus, J. & Sakthivel, N. (2012). Plant β -1,3-glucanases: their biological functions and transgenic expression against phytopathogenic fungi. *Biotechnology Letters* 34(11), 1983-90. <https://doi:10.1007/s10529-012-1012-6>.
- Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Analytical biochemical* 72, 248-254.
- Chamkhi, I., Benali, T., Aanniz, T., El Menyiy, N., Guaouguaou, F.E., El Omari, N., El-Shazly, M., Zengin, G. & Bouyahya, A. (2021) Plant-microbial interaction: The mechanism and the application of microbial elicitor induced secondary metabolites biosynthesis in medicinal plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 167, 269-295. <https://doi:10.1016/j.plaphy.2021.08.001>.
- Cramer, G. R.; Urano, K.; Delrot, S.; Pezzotti, M. & Shinozaki, K. (2011). Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. *BMC Plant Biol* 11(1), 1-14. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-11-163>.
- Dey, M. & Ghosh, S. (2022). Arbuscular mycorrhizae in plant immunity and crop pathogen control. *Rhizosphere* 22, 100524. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100524>.
- Dimkić, I., Janakiev, T., Petrović, M., Degrassi, G. & Djordje, F. (2022). Plant-associated *Bacillus* and *Pseudomonas* antimicrobial activities in plant disease suppression via biological control mechanisms - A review. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 117, 101754. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101754>.
- Gogoi, P., Phukan, T., & Saikia, R. (2023). Systemic resistance induced by plant growth-promoting rhizobacteria in Bhut Jolokia (*Capsicum chinense* Jacq.) suppressed the collar rot disease. *Scientia Horticulturae* 324, 112625. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112625>.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Miller, G.L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry* 31(3), 426-428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>.
- Monreal, J., & Reese E. T. (1969). The chitinase of *Serratia marcescens*. *Canadian Journal of Microbiology* 15(7), 689-696. <https://doi.org/10.1139/m69-122>.
- Parrotta, L., Aloisi, I., Faleri, C., Romi, M., Del Duca, S. & Cai, G. (2020). Chronic heat stress affects the photosynthetic apparatus of *Solanum lycopersicum* L. cv Micro-Tom. *Plant Physiology and Biochemistry* 154, 463-475. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.06.047>.
- Radman, R., Saez, T., Bucke, C. & Keshavarz, T. (2003). Elicitation of plants and microbial cell systems. *Biotechnology and Applied Biochemistry* 37, 91-102. <https://doi.org/10.1042/ba20020118>.
- Rodríguez, A.T., Ramírez, M.A., Falcón, A.B., Guridi, F. & Cristo, E. (2004). Estimulación de algunas enzimas relacionadas con la defensa en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) obtenidas de semillas tratadas con quitosana. *Cultivos Tropicales* 25(3), 111-115. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?>
- Sosa, M., Ruiz, E., Mejía, M., Reyes, A., Cristóbal, J., Valencia, A. & Gutiérrez, O. (2012) Actividad antagónica in vitro de aislados de la clase Bacilli de la península de Yucatán contra cuatro hongos fitopatógenos. *Universidad y Ciencia* 28(3), 279-284. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15425102007>.
- Van Wees, S.C.M., Van der Ent, S. & Pieterse, C.M.J. (2008). Plant immune responses triggered by beneficial microbes. *Current Opinion in Plant Biology* 11(4), 443-448. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2008.05.005>.

División 4

El Papel de los Suelos en el Sostenimiento de la Sociedad y el Medioambiente

AISLAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE BACTERIOFAGOS A PARTIR DE SUELO DE CHIHUAHUA Y ZACATECAS

Alejandro Caldera-Saenz¹; Evangelina Esmeralda Quiñones-Aguilar¹; Alejandro Sólis-Sánchez¹; Gabriel Rincón-Enríquez^{1*}

¹Laboratorio de Fitopatología de Biotecnología Vegetal, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Zapopan Jalisco México.

*Autor para correspondencia: grincon@ciatej.mx

RESUMEN

Los bacteriófagos (conocidos también como fagos) son virus de bacterias que se encuentran distribuidos de manera ubicua donde las bacterias tienen su hábitat. Uno de los hábitats más importantes, tanto de los fagos como de sus huéspedes bacterianos, es el suelo; en particular, las cepas bacterianas fitopatógenas son de gran relevancia; en especial, la enfermedad del tizón de halo en frijol, causada por *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* (Psph), afecta gravemente la producción de frijol, generando pérdidas económicas significativas. Los métodos de control químico tradicionales, como los compuestos de cobre y los antibióticos agrícolas, tienen limitaciones y efectos adversos para los cultivos, el medio ambiente y la salud de los consumidores. En este estudio se investigó el aislamiento y caracterización de bacteriófagos asociados a Psph a partir de muestras de suelo de parcelas afectadas por tizón de halo en los estados de Chihuahua y Zacatecas. Se aislaron y caracterizaron 18 bacteriófagos a partir de muestras de suelo de parcelas afectadas por tizón de halo en los estados de Chihuahua y Zacatecas. Todos los fagos mostraron actividad lítica contra Psph y una gran diversidad en las características de los fagos, incluyendo variaciones en el tamaño de los halos de lisis y su actividad biológica lítica. El estudio subraya el potencial de los fagos como método de control biológico viable, proporcionando un recurso genético diverso para el manejo del tizón de halo en el cultivo de plantas de frijol.

PALABRAS CLAVE

Tizón de halo; *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*; Bacteriófago; Control biológico; Frijol.

INTRODUCCIÓN

Los bacteriófagos fueron descubiertos por primera vez en 1915 por William Twort, y en 1917, Félix d'Hérelle reconoció su potencial para eliminar bacterias. Tras un período de prominencia en la era previa a los antibióticos, los bacteriófagos fueron en gran medida desestimados como agentes terapéuticos en Occidente, principalmente debido a la facilidad relativa con que se podían administrar los antibióticos. Sin embargo, la investigación y el uso de bacteriófagos continuaron en algunos países, como Georgia (parte de la antigua URSS), donde aún se aíslan y utilizan rutinariamente para tratar diversas enfermedades (Chanishvili y Sharp, 2009).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

La investigación sobre bacteriófagos se centró en varios fagos modelo que infectaban principalmente *E. coli*. Estos estudios sentaron las bases de la biología molecular moderna; por ejemplo, los fagos se usaron para identificar la base del material genético y demostrar que tres nucleótidos codifican para un aminoácido (Clokier y Kropinski, 2009). Además, permitieron la identificación de las enzimas de restricción. Durante varias décadas, solo un puñado de fagos se estudió en gran detalle. Sin embargo, el reciente renacimiento en la biología de fagos se debe a una creciente conciencia sobre la abundancia de fagos en todos los ambientes dominados por bacterias, revelada por la microscopía epifluorescente y electrónica, así como por estudios moleculares (Clokier y Kropinski, 2009). También se ha observado en los genomas de bacterias a través de proyectos de secuenciación del genoma completo. Este historial irregular ha dado lugar a un conocimiento fragmentario sobre la biología de los fagos, pero con suficientes observaciones para que los científicos se den cuenta de que los fagos dictan muchos aspectos de la biología bacteriana y arqueas. Estas observaciones han revitalizado el interés en los bacteriófagos y han estimulado la creación de revistas especializadas como *Bacteriophage*, en la que se ha escrito este artículo para ilustrar los roles que los bacteriófagos desempeñan en el mundo natural.

El uso de bacteriófagos para controlar enfermedades bacterianas de plantas tiene una larga historia. El primer estudio que vinculó fagos con bacterias patógenas de plantas se publicó en 1924, donde se descubrió que un filtrado de tejido de repollo en descomposición inhibía el crecimiento de *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*, el agente causante de la pudrición del repollo (Mallmann y Hemstreet, 1924). Investigaciones posteriores confirmaron que los fagos podían prevenir la podredumbre blanda causada por *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* en zanahorias (Coons y Kotila, 1925). En tiempos más recientes, ha aumentado el interés en el uso de fagos para el control de patógenos de plantas (Frampton *et al.*, 2012). Entre los patógenos bacterianos de plantas más relevantes están *Xanthomonas* spp. y *Pseudomonas syringae* (Mansfield *et al.*, 2012).

Los fagos contra *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*, causante de la mancha bacteriana en tomates, fueron probados en ensayos de invernadero y campo en 1997 y 1998. La aplicación foliar dos veces por semana de un cóctel de fagos redujo la incidencia y severidad de la enfermedad de manera más efectiva que las plantas no tratadas o el tratamiento estándar con cobre y mancozeb. La eficacia de los fagos mejoró cuando se aplicaron por la mañana temprano, posiblemente debido a menor daño por UV y factores ambientales. Las formulaciones de fagos diseñadas para prolongar su longevidad aumentaron significativamente la eficacia del control en ensayos de campo posteriores (Flaherty *et al.*, 2000; Olson *et al.*, 2003; Ibarra *et al.*, 2024). Muchos de estos recursos virales se han aislado a partir de muestras de suelo; por lo cual el objetivo de este estudio fue aislar y caracterizar bacteriófagos a partir de muestras de suelo de plantaciones de frijol de los estados de Chihuahua y Zacatecas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cepa bacteriana huésped: Para el aislamiento de bacteriófagos se utilizó la cepa de referencia 1448A de *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* que se obtuvo a partir de -80°C del Laboratorio de Fitopatología del CIATEJ.

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Toma de muestras vegetales y suelo: Se colectó 1 kg de suelo de un campo de frijol ubicado en la región de Cuauhtémoc, Chihuahua (28.383900419223178, -107.00475600020843) (Figura 1). Se obtuvieron 4 muestras de suelo de áreas afectadas por el tizón del halo, a una profundidad máxima de 20 cm. Las muestras de suelo se almacenaron en bolsas de plástico y se mantuvieron a 5°C, protegidas del calor y la luz hasta su procesamiento en el laboratorio. Por otro lado, se obtuvieron 2 muestras de suelo de Zacatecas, las cuáles provinieron de los ejidos San Isidro y Progreso (Mendoza-Gómez, 2015); las cuales estuvieron almacenadas durante 9 años (temperatura ambiente).

Aislamiento de fagos de muestras de suelo: Se preparó caldo cultivo nutritivo (peptona y extracto de carne/extracto de levadura). Se inocularon 100 mL del caldo nutritivo en matraces de 250 mL con 100 g de muestra de suelo. Se agregó 600 µL del cultivo bacteriano objetivo a los matraces con las muestras de sustrato (suelo). Se incubaron los matraces durante 24 h a 28°C en un agitador rotatorio a 100 rpm para favorecer el crecimiento bacteriano. Después de la incubación, se dejó reposar el matraz durante 1 h para que los sedimentos se precipitaran. Luego, se centrifugó a 8000 g durante 20 min. Con cuidado, se recuperó el sobrenadante utilizando una jeringa y se filtró (0.22 µm). Este sobrenadante filtrado se transfirió a un tubo Falcon de 100 mL, asegurándose de recuperar al menos 50 mL. Este filtrado, denominado enriquecimiento, se almacenó a 4°C y se cubrió con papel aluminio para evitar daños causados por la luz UV y mantener la integridad de los fagos.

Detección de fagos utilizando el método de doble placa: Se preparó agar suave disolviendo 7.5 g/L de agar en caldo nutritivo, el cual se fundió y se mantuvo a 50°C en un baño María para mantenerlo líquido y listo para su uso. En un tubo de ensayo limpio, se añadieron 1 mL del filtrado enriquecido obtenido previamente siguiendo el protocolo de enriquecimiento bacteriano. A continuación, se incorporaron 200 µL del cultivo bacteriano objetivo. Se mezclaron cuidadosamente los contenidos del tubo y se dejó reposar durante 10 min para permitir la interacción de las partículas de fagos con las bacterias hospedadoras. Posteriormente, se añadió 4 mL del agar suave fundido a la mezcla en el tubo de ensayo. La solución se mezcló suavemente para asegurar una distribución uniforme de las partículas virales y bacterianas, y luego se vertió en una caja Petri con medio de cultivo sólido. Este paso se realizó con rapidez, pero con cuidado para evitar la solidificación prematura del agar. La placa se homogeneizó con movimientos circulares para garantizar una distribución uniforme del contenido y permitir que el agar se solidificara completamente. Finalmente, la caja Petri se incubó durante 24 h a 28°C para permitir el desarrollo de las bacterias y la posible actividad de los fagos. Tras la incubación, se examinaron las placas en busca de áreas claras o turbias y zonas de lisis confluentes, lo que indicó la presencia y actividad de los fagos sobre las bacterias hospedadoras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dado que la mayoría de los cultivos en el área donde se obtuvieron las muestras de suelo fueron de frijol, se esperó encontrar una alta concentración de bacteriófagos dado que las muestras de suelo provinieron de suelo donde se encontraron plantas que mostraron síntomas de tizón de halo en frijol (*P. syringae* pv. *phaseolicola*, Psph).

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

En la Figura 1 se muestran los sitios donde fueron tomadas las muestras de suelo; en esta figura se puede apreciar las condiciones generales de la plantación del cultivo de frijol, igualmente se puede notar a detalle algunas plantas de frijol.



Figura 1. Observación general de una plantación de frijol donde se ha presentado la enfermedad del tizón de halo y a partir de la cual fueron tomadas las muestras de suelo (Cuauhtémoc, Chihuahua, México).

Se intentó aislar bacteriófagos de diversas fuentes, incluyendo las partes aéreas de las plantas y el agua de riego. Sin embargo, el esfuerzo por aislar fagos de estas fuentes no tuvo éxito, lo que sugiere que no había presencia detectable de bacteriófagos en ese momento en dichas fuentes. Finalmente, se logró el aislamiento exitoso de bacteriófagos exclusivamente del suelo, que actúa como un reservorio natural al acumular bacterias y virus debido a su interacción continua con el ambiente y los organismos que lo habitan (Keen, 2015). En total, se identificaron 18 fagos provenientes de Chihuahua y Zacatecas. De estos, 12 fueron aislados de Chihuahua y 6 de Zacatecas, lo que sugiere una mayor presencia de fagos en Chihuahua. Cada uno de estos fagos mostró características fenotípicas únicas (Figura 2), incluyendo variaciones en el tamaño de los halos de lisis, ciclos de vida, combinaciones de ciclos de vida, velocidades de crecimiento y tasas de infección bacteriana (Cuadro 1). Los fagos de Zacatecas presentaron predominantemente ciclos líticos-lisogénicos y exhibieron halos de lisis de tamaño variable, mientras que los fagos de Chihuahua mostraron una proporción casi igual de ciclos líticos y líticos-lisogénicos. Los tamaños de halo de los bacteriófagos oscilaron entre 0.74 mm, correspondiente al halo más pequeño causado por el fago ZO1.1, y 1.48 mm, el más grande, producido por el fago ZO2.1. Sin embargo, tanto los tamaños de los fagos aislados de Chihuahua como los de Zacatecas no mostraron dependencia de su origen, ya que en ambas regiones se obtuvieron tamaños muy variables.

División 4

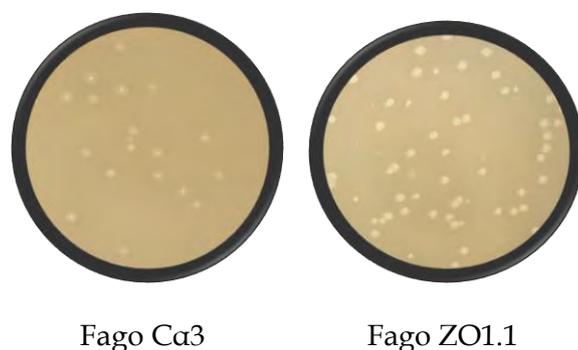


Figura 2. Morfología de 2 de los 18 fagos aislados a partir de las muestras de suelo obtenidas de plantaciones de frijol provenientes de Chihuahua y Zacatecas. Las claves que inician con C son de fagos provenientes de Chihuahua y las que tienen Z de Zacatecas. Los puntos claros son los halos de lisis, estos halos indican la presencia de los virus bacterianos sobre un tapete bacteriano con la cepa de *P. syringae* pv. *phaseolicola*.

Cuadro 1. Caracterización de las placas de lisis de los 18 fagos observadas a nivel *in vitro*.

Número	Nombre	Origen	Tamaño de halo	Actividad lítica*
1	CO2.2	Chihuahua	Mediano	Lítico
2	CO1	Chihuahua	Grande	Lítico
3	ZO1.1.1	Zacatecas	Grande	Lítico lisogenico
4	CB1.2	Chihuahua	Pequeño	Lítico lisogenico
5	ZO2.1	Zacatecas	Grande	Lítico lisogenico
6	CO2.3	Chihuahua	Grande	Lítico lisogenico
7	ZO1.1	Zacatecas	Mediano	Lítico lisogenico
8	CO2.2.2	Chihuahua	Mediano	Lítico
9	ZB2.2.2	Zacatecas	Grande	Lítico
10	Cα2.1.1	Chihuahua	Grande	Lítico lisogenico
11	Cα2.1.2	Chihuahua	Grande	Lítico
12	Cα1.3	Chihuahua	Grande	Lítico
13	CB3	Chihuahua	Grande	Lítico lisogenico
14	ZB2.1	Zacatecas	Grande	Lítico lisogenico
15	CB1	Chihuahua	Grande	Lítico
16	ZB2.2	Zacatecas	Grande	Lítico
17	CO2.1	Chihuahua	Grande	Lítico
18	Cα3	Chihuahua	Grande	Lítico

*Placas lítico-lisogénicas= placas con un centro totalmente claro y un halo opaco, lo cual podría ser una señal de que el fago está presentando los ciclos lítico y lisogénico.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

CONCLUSIONES

Se logró el aislamiento de 18 bacteriófagos del suelo, destacando una presencia de 12 provenientes de Chihuahua y solo 6 de Zacatecas. Los fagos presentaron características fenotípicas diversas, con ciclos líticos-lisogénicos predominando en Zacatecas y una proporción equitativa en Chihuahua. A pesar de las variaciones en los tamaños de los halos de lisis, no se observó una dependencia del origen geográfico para su tamaño de halo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Laboratorio de Fitopatología del CIATEJ por el financiamiento de este proyecto de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Chanishvili, N. & Sharp, R. (2009). A literature review of the practical application of bacteriophage research. Eliava Institute of Bacteriophage, Microbiology and Virology.
- Clokie, M. R. J. & Kropinski, A. (2009). Methods and protocols. Volume 1: Isolation, characterization, and interactions. Springer Protocols.
- Coons, G. H. & Kotila, J. (1925). The transmissible lytic principle (bacteriophage) in relation to plant pathogens. *Phytopathology*, 15, 357-370.
- Flaherty, J. E., Somodi, G. C., Jones, J. B., Harbaugh, B. K. & Jackson, L. E. (2000). Control of bacterial spot on tomato in the greenhouse and field with H-mutant bacteriophages. *HortScience*, 35, 882-884.
- Frampton, R. A., Pitman, A. R. & Fineran, P. C. (2012). Advances in bacteriophage-mediated control of plant pathogens. *International Journal of Microbiology*, 2012, 326452.
- Ibarra-Rivera G., E. E. Quiñones-Aguilar, E. García Márquez, G. Rincón-Enríquez. (2024). Formulación protectora contra radiación solar UV para agentes de biocontrol en cultivos agrícolas. Patente 412087. IMPI. <https://vidoc.impi.gob.mx/visor?d=MX/2024/33644>.
- Keen, E. C. (2015). A century of phage research: Bacteriophages and the shaping of modern biology. *BioEssays: News and Reviews in Molecular, Cellular and Developmental Biology*, 37(1), 6.
- Mallmann, W. L. & Hemstreet, C. (1924). Isolation of an inhibitory substance from plants. *Journal of Agricultural Research*, 28, 599-602.
- Mansfield, J., Genin, S., Magori, S., Citovsky, V., Sriariyanum, M., Ronald, P., et al. (2012). Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 13, 614-629.
- Mendoza-Gómez, R. J. (2015). Uso de bacteriófagos como agentes de control biológico del tizón de halo del frijol causado por *Pseudomonas syringae* pv. *Phaseolicola*. Tesis profesional, UAG-CIATEJ, Zapopan, Jalisco, México.
- Olson, S. M., Obradovic, A., King, P., et al. (2003). Improved efficacy of newly formulated bacteriophages for management of bacterial spot on tomato. *Plant Disease*, 87, 949-954.

División 4

ANÁLISIS COMPARATIVO DE EMISIONES DE CO₂ ASOCIADAS AL TIPO DE FERTILIZACIÓN EN *Agave tequilana* W.

Víctor Manuel Montoya-Jasso¹; Jesús Manuel Arreola-Tostado^{2*};
Violeta Abigail Zacarías-Gutiérrez¹; Jesús Manuel Arreola-Nava²;
Ana María González-Serrano³

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. 56264.

²Consultor agrícola. Calle Apaseo el Grande #114, Colonia Guanajuato, Celaya, Guanajuato, México. 38010.

³Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato. Carretera Irapuato-Silao km 9.0 ap 311, Ex Hacienda El Copal, Irapuato, Guanajuato, México. 36500.

*Autor de correspondencia: manuelito1876@gmail.com

RESUMEN

La producción de *Agave tequilana* W. ha adquirido relevancia los últimos años, desde el año 2019, se analizan nuevas áreas para incluirse dentro de la Zona Denominación de Origen del Tequila. La mayoría de la superficie cultivada se nutre con apoyo de fertilizantes sintéticos, sin embargo, existen opciones para nutrir los cultivos con biofertilizantes orgánicos que potencializan algunas características del suelo. El objetivo del ensayo fue cuantificar las emisiones de CO₂ procedentes de un acrisol bajo producción de *Agave tequilana* W. al ser suplementado con fertilización sintética y orgánica. Se empleó un acrisol procedente de Jalisco, se evaluaron dos fuentes de fertilización: sintética y orgánica, ajustadas a los requerimientos regionales del cultivo y se evaluó la dinámica en la emisión de CO₂ por efectos de la fertilización y aporte de humedad durante nueve meses con apoyo de un analizador de gases por infrarrojo. A partir del mes de mayo se comenzó a presentar una emisión de mayor concentración que se atribuyó a los efectos de la primera aplicación de fertilización en conjunto con el incremento del contenido de humedad. Durante el mismo periodo se observaron mayores emisiones de CO₂ por la fertilización sintética (103 913 mg CO₂ m⁻³ de suelo), la fertilización orgánica presentó una variación menor en las emisiones de CO₂ durante todo el ensayo (92 920 mg CO₂ m⁻³ de suelo). La fertilización orgánica a base de mosto de caña de azúcar, en contraste con la fertilización sintética, contribuyó a la reducción de las emisiones de CO₂.

PALABRAS CLAVE

Fertilizantes orgánicos y sintéticos; Gas de efecto invernadero; Agricultura.

INTRODUCCIÓN

Recientemente, la producción de *Agave tequilana* W. ha adquirido relevancia por la rentabilidad del mismo (Arreola-Tostado *et al.*, 2020). Desde el año 2019, el Consejo Regulador del Tequila analiza nuevas áreas que puedan incluirse dentro de la Zona Denominación de Origen del Tequila, sin embargo, no se ha tomado en cuenta la creación de paquetes tecnológicos que mantengan la nutrición vegetal del *Agave tequilana* W. a la par de que reduzcan la emisión de gases de efecto invernadero de las áreas actuales y futuras ya que, la mayoría de la superficie cultivada se nutre con apoyo de fertilizantes sintéticos (Zúñiga-Estrada, 2013).

Desde hace varios años, en el mercado de fertilizantes han existido opciones de fuentes orgánicas de nutrición vegetal, siendo los biofertilizantes a base de mosto de caña de azúcar aquellos que han mostrado ventajas en cuanto a precio, rendimientos y mejoras de las características organolépticas del cultivo de *Agave tequilana* W. (Arreola-Tostado *et al.*, 2020). El objetivo del ensayo fue cuantificar las emisiones de CO₂ procedentes de un acrisol bajo producción de *Agave tequilana* W. al ser suplementado con fertilización sintética y orgánica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo fue realizado a nivel del laboratorio en el Laboratorio de Física y Química del Colegio de Postgraduados. Se emplearon muestras de acrisol originario de Jesús María, Jalisco, México. La caracterización física y química del suelo se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Caracterización física y química del acrisol utilizado.

Textura	Dap (g cm ⁻³)	Dr	E	CC (%)	PMP	DMP (mm)	pH	CE (dS m ⁻¹)	MO	CO (%)	Nt	C/N
Franco arcillo limosa	1.07	2.74	61	27	24	1.81	5.6	0.11	1.66	0.83	1.14	0.72

Donde: Dap: densidad aparente, Dr: densidad real, E: porosidad, CC: capacidad de campo, PMP: punto de marchitez permanente, DMP: diámetro medio ponderado, CE: conductividad eléctrica, MOS: materia orgánica, COS: carbono orgánico, Nt: nitrógeno total y C/N: relación carbono/nitrógeno.

Para el establecimiento del ensayo se pesaron 50 g de suelo sin tamizar y se colocaron en botes de plástico de 0.5 L de volumen, los botes contaban con tapa hermética. Posteriormente, las muestras se humectaron en función a la precipitación mensual histórica del sitio de origen, los aportes de humedad se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Precipitación mensual histórica (mm) del municipio de Jesús María, Jalisco, México.

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Precipitación	15.1	9.2	6.2	6.2	41.7	158.5	234.1	212.1	144.7	50.0	13.2	6.8

Se evaluaron dos fuentes de fertilización: sintética y orgánica. Ambas fuentes fueron ajustadas a los requerimientos del cultivo de *Agave tequilana* W. y se aplicaron durante los meses de mayo y septiembre. Zúñiga-Estrada (2013) reporta que son necesarios 300 kg ha^{-1} de N, 100 kg ha^{-1} de P y 600 kg ha^{-1} de K para el desarrollo y crecimiento del cultivo. La fuente sintética de fertilización fue suministrada con una mezcla de sulfato de amonio, fosfato monohidratado y sulfato de potasio; para la fuente orgánica se empleó un biofertilizante a base de mosto de caña de azúcar, siendo un subproducto de la producción de levadura para panificación. Se utilizó un modelo de medidas repetidas y una prueba de t ($p < 0.05$) para examinar las diferencias entre las fuentes de fertilización y aportes de humedad mensual para el análisis de los resultados obtenidos con apoyo del software estadístico SAS® en su versión 9.4.

Las emisiones de CO_2 fueron determinadas mediante un analizador de gases por infrarrojo (IRGA) PP-Systems modelo EGM-4. Las lecturas se realizaron cada 72 horas durante un periodo de nueve meses: enero/septiembre del 2023. La temperatura del lugar de medición se obtuvo con apoyo de un termómetro digital marca Steren con una variación de $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$. Las unidades fueron transformadas a $\text{mg CO}_2 \text{ m}^{-3}$ de suelo utilizando la metodología propuesta por Montoya-Jasso *et al.*, 2024.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el análisis de los datos se reportó un $p - \text{value} \leq 0.05$, indicando que existen diferencias significativas en las emisiones mensuales de CO_2 por efectos de las fuentes de fertilización y aporte de humedad (Cuadro 3).

Cuadro 3. Comparación de medias entre fuentes de fertilización y distribución media mensual de la dinámica de las emisiones de CO_2 en acrisol bajo producción de *Agave tequilana* W.

FF	Emisión de CO_2 (mg m^{-3})		Mes									$t(8)$
	Med	DE	E	F	M	A	M	J	J	A	S	
Si	1129.6	164.3	1098.1	1097.8	868.5	971.2	1111.4	1281.9	1482.1	1124.6	1130.9	3.4e-8
O	1009.1	70.0	990.9	1053.7	872.2	915.6	1075.7	1074.2	994.2	1024.2	1009.1	9.7e-11

FF: fuente de fertilización, Si: sintética, O: orgánica, Med: media y DE: desviación estándar.

Al comparar la dinámica mensual de las emisiones de CO_2 se observó que, durante el mes de enero, la fertilización sintética provocó un flujo ligeramente mayor de CO_2 (Cuadro 3), lo anterior debido a que, durante los primeros días de humectación, los microorganismos del suelo responden ante la presencia de agua disponible para su consumo y para la catalización de la mineralización de la materia orgánica (Joseph *et al.*, 2021). Posteriormente, de febrero a inicios de mayo, la tendencia de las emisiones se mantuvo con una diferencia relativa de $33 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-3}$ de suelo (Figura 1) por efectos del limitado aporte hídrico y el bajo contenido de materia orgánica, en conjunto con su elevada porosidad (Cuadro 1) que propició el incremento de la infiltración del agua y restringió su retención en el suelo (Gutiérrez-Castorena *et al.*, 2011).

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

A partir del mes de mayo se comenzó a presentar una emisión de mayor concentración que se atribuyó a los efectos de la primera aplicación de fertilización en conjunto con el incremento del contenido de humedad, lo anterior concuerda con lo reportado por Cayetano-Salazar *et al.*, (2023) quienes reportan emisiones mayores de CO₂ durante los cuatro días próximos al aporte de agua en el suelo.

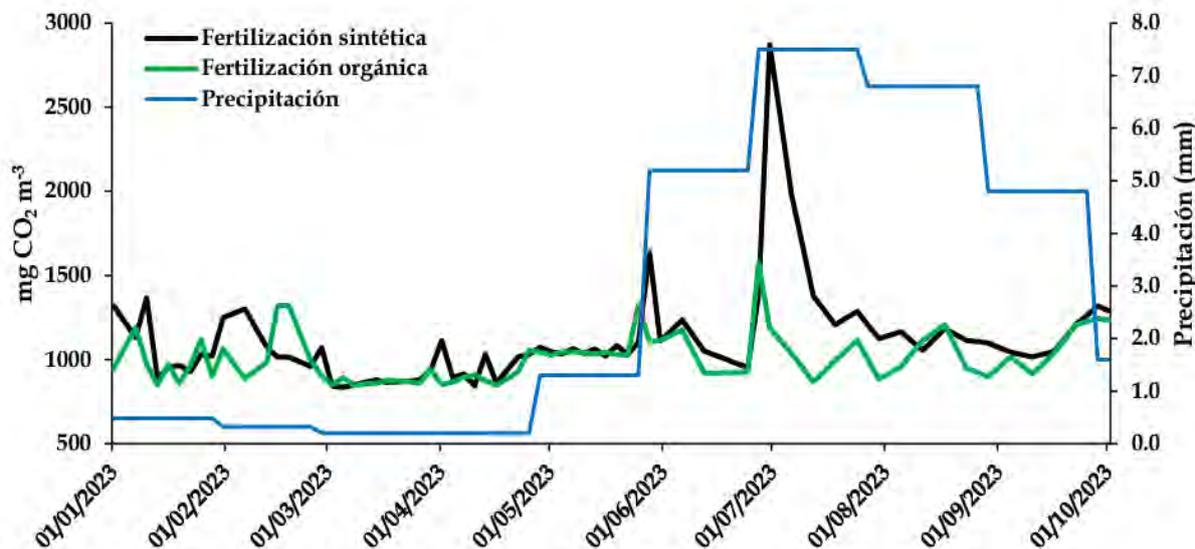


Figura 1. Distribución de las emisiones de CO₂, en un acrisol, por efecto de las fuentes de fertilización y aporte hídrico en el cultivo de *Agave tequilana* W.

Durante el mismo periodo se observaron mayores emisiones de CO₂ por la fertilización sintética (Cuadro 3 y Figura 1) (103 913 mg CO₂ acumulados m⁻³ de suelo) y el efecto acidificante de los insumos utilizados que facilitaron la nitrificación y estimularon la actividad microbiana (Yang *et al.*, 2022). La fertilización orgánica presentó una variación menor en las emisiones de CO₂ durante todo el ensayo (92 920 mg CO₂ acumulados m⁻³ de suelo), incluso cuando el aporte de humedad aumentó (Cuadro 3 y Figura 1), lo anterior responde a la interacción entre las características físicas de porosidad y diámetro medio ponderado ya que, de acuerdo con Rupay *et al.*, 2023, el empleo de materiales orgánicos estables ocasiona un incremento en el área específica de las partículas del suelo y mantiene los poros del suelo en un entorno de formación de grupos funcionales que protegen a la materia orgánica nativa del suelo de la descomposición, lo anterior mejora la estabilidad del suelo y favorece la disponibilidad de nutrientes y agua para las plantas (Mukherjee y Lal, 2013) creando un estado de optimización de la nutrición y reduciendo la erosión del suelo.

CONCLUSIONES

La fertilización orgánica a base de mosto de caña de azúcar, en contraste con la fertilización sintética, contribuyó al mantenimiento de la materia orgánica del suelo al reducir su mineralización en forma de CO₂, evidenciando su potencial uso para incrementar el almacén de carbono y mejora de las condiciones del suelo sin reducir su efecto en la nutrición del cultivo de *Agave tequilana* W.

División 4

AGRADECIMIENTOS

A la empresa SAFMEX S.A. de C.V., del Grupo Lesaffre, por el financiamiento para llevar a cabo el diseño, ejecución y seguimiento del experimento. A Rosa María Arias Martínez, productora de agave del municipio de Jesús María, Jalisco, México, por facilitar el acceso al predio; así como el apoyo destinado en infraestructura y mano de obra. Al Lic. Guillermo Rendón Santana e Ing. Ramón por su apoyo en campo y toma de datos.

BIBLIOGRAFÍA

- Arreola-Tostado, J. M., Montoya-Jasso, V. M., Arreola-Nava, J. M., Castillo-Valdez, X., Olivares-Arreola, E. A. y Báez-Pérez, A. (2020). Efecto de la aplicación de levasa (mosto de caña de azúcar) en la producción y calidad de *Agave tequilana* Weber. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11(6): 1311-1324.
- Cayetano-Salazar, M., González-Méndez, B. y Siebe-Grabach, C. (2023). Emisiones de gases de efecto invernadero en suelos regados con agua residual en el Valle del Mezquital, Hidalgo. Capítulo del libro *Hacia un conocimiento global y multidisciplinario del recurso suelo: Propiedades del suelo y procesos*, página 105-109. Bautista, F. y Aguilera, A. (Compiladores). Bautista, F. y Ayala, F. (Editores). ISBN de obra completa :978-607-95106-5-7. ISBN del volumen 2 :978-607-95106-7-1.
- Gutiérrez-Castorena, M. C., Hernández-Escobar, J., Ortiz-Solorio, C. A., Anicua-Sánchez, R., & Hernández-Lara, M. E. (2011). Relación porosidad-retención de humedad en mezclas de sustratos y su efecto sobre variables respuesta en plántulas de lechuga. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(3), 183-196.
- Joseph, S., Cowie, A. L., Van Zwieten, L., Bolan, N., Budai, A., Buss, W., Cayuela, M. L., Graber, E. R., Ippolito J. A., Kuzyakov Y., Luo, Y. and Lehmann, J. (2021). How biochar works, and when it doesn't: A review of mechanisms controlling soil and plant responses to biochar. *Gcb Bioenergy*, 13(11): 1731-1764.
- Montoya-Jasso, V. M., Ordaz-Chaparro, V. M., Benedicto-Valdés, G. S., Ruiz-Bello, A., & Arreola-Tostado, J. M. (2024). Análisis Metodológico de la Respiración del Suelo: Un Planteamiento para su Interpretación. *Terra Latinoamericana*, 42, 1-6.
- Mukherjee, A. and Lal, R. (2013). Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Agronomy*, 3(2): 313-339.
- Rupay, J., Pérez, W. E., Solórzano-Acosta, R., Quintanilla, J., Cruz, J. C. y Cosme, R. (2023). Variación de la emisión de CO₂ temporal, CO₂ acumulado y mejora de las características asociadas a la fertilidad de un suelo ácido mediante la aplicación de biochar. *Folia Amazónica*. 32(2). e32672.
- Yang, Y., Sun, K., Liu, J., Chen, Y. and Han, L. (2022). Changes in soil properties and CO₂ emissions after biochar addition: Role of pyrolysis temperature and aging. *Science of the Total Environment*, 839.
- Zúñiga-Estrada, L. (2013). Nutrición de *Agave tequilana* y manejo de los fertilizantes en un sistema de producción intensiva (riego por goteo). MX-0-310391-33-03-14-09-32.
- SAGARPA. INIFAP-Campo Experimental Las Huastecas. Villa Cuauhtémoc, Tamaulipas. Folleto técnico. 20 p.

ANÁLISIS DE RIESGO APLICANDO EL MODELO IEUBK PARA LOS JALES MINEROS DE NAICA, CHIHUAHUA

Alfredo Contreras Guardiola¹; Mario Alberto Olmos Márquez²; María Cecilia Valles Aragón³; Leonor Cortés Palacios²; Eduardo Santellano Estrada²

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chihuahua, Circuito Número I s/n, Nuevo Campus Universitario, Nte. 2, C.P. 31125, Cd. Chihuahua, México. aguardiola@uach.mx.

² Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua, Perif. Francisco. R. Almada Km 1, Pavis Borunda, C. P. 31453, Cd. Chihuahua, México.

³ Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Av. Pascual Orozco s/n, Campus 1, Santo Niño, C. P. 31160, Cd. Chihuahua, México.

RESUMEN

A través del modelo IEUBK se pronosticó la posible afectación a la población infantil (0 a 7 años) de Naica, Chihuahua (15.78 % del total del número de habitantes), por la presencia de plomo en el suelo proveniente de los jales de la unidad minera cercana a la comunidad, dicho grupo de edad es particularmente susceptible a problemáticas de salud asociadas a este elemento como pueden ser afectaciones neurocognitivas y de desarrollo. Se realizó un muestreo sistemático del suelo en la zona impactada por la presencia de residuos mineros y se determinó la concentración del metal en cada punto mediante análisis químicos; con base en estas determinaciones se plantearon 3 posibles escenarios de afectación (A= 85.085 mg/kg, B= 826.892 mg/kg y C= 4157.281 mg/kg), se evaluó con ayuda del modelo IEUBK de la EPA la proyección de la acumulación del plomo en sangre (PbB), encontrándose que para el escenario B (20.651 µg/dL) y el escenario C (52.392 µg/dL) se supera el valor criterio de plomo en sangre (10 µg/dL) establecido en la NOM-199-SSA1-2000 y en la literatura para niños, mujeres embarazadas y en periodo de lactancia, en el cual comienzan a presentarse afectaciones a la salud.

PALABRAS CLAVE

Modelación; Muestreo; Plomo en sangre; Suelo.

INTRODUCCIÓN

La contaminación por metales pesados en los diferentes componentes del medio como el agua, suelo y aire, cuya degradación es muy compleja, es una problemática creciente en años recientes principalmente asociada a las diferentes actividades humanas, siendo las que mas contribuyen a la generación de dichos contaminantes la minería, la industria metalúrgica, la agricultura, entre otras (Covarrubias y Cabriales, 2017). Los elementos potencialmente tóxicos de mayor presencia en los jales de operaciones mineras en México son plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn), arsénico (As) y mercurio (Hg).

Para el caso particular del Pb, la toxicidad asociada a este elemento y sus efectos sobre la salud, principalmente sobre la población infantil, evidencian que este grupo poblacional es más vulnerable, esto debido a cuestiones de comportamiento propias de la edad como llevarse objetos o las manos a la boca e ingerir polvo, así como a

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

condiciones fisiológicas como la facilidad de la inhalación, una mayor absorción y menor excreción del metal que se acumula y la falta del desarrollo de su barrera hematoencefálica, provocando daños neurotóxicos (ASTDR, 2020; Fontana, 2013).

El modelo biocinético integrado de exposición y absorción de Pb en niños (IEUBK, por sus siglas en inglés) fue desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, el modelo sirve para predecir la absorción del metal en una población de niños expuesta a la contaminación relacionando 4 categorías: la exposición a través de los diferentes medios (agua, suelo, aire, etc.), el ingreso al sistema, la cinética del cuerpo o biocinética de absorción y la variabilidad en la exposición y el riesgo como factor probabilístico (EPA, 2021).

El presente trabajo tiene por objetivo general reconocer y analizar la presencia de metales pesados en el suelo afectado por los jales o residuos producto del beneficio de minerales en la zona.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

Naica es una localidad perteneciente al municipio de Saucillo, Chihuahua, a 140 km de la capital, Chihuahua ($27^{\circ} 51' 18''\text{N}$; $105^{\circ} 29' 32''\text{W}$), la principal actividad económica fue la minería hasta el cierre definitivo de la unidad minera en el año 2015. El Atlas Nacional de Riesgos elaborado por la CENAPRED, asigna una categoría media para el peligro a nivel municipal para Saucillo, esto debido a que es la única ubicación de este tipo de residuos provenientes del minado en toda su jurisdicción, de igual forma, identifica la zona del poblado de Naica con un nivel de vulnerabilidad Alto, en relación a la Base de Datos de Sitios Contaminados SISCO.

Muestreo

Para la determinación de los puntos de muestreo se utilizó como referencia la Norma Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2016 "Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra".

En la implementación del muestreo se determinó una zona que abarca una superficie aproximada de 10 ha., esto considerando la zona de mayor interacción entre la población y la fuente de contaminación, que es el camino que se encuentra entre los dos grandes cúmulos de material, así como también la condición actual del sitio en el que la gran mayoría de la superficie se encuentra cubierta por material inerte.

Conforme a lo anterior se ubicaron 24 puntos de muestreo, seleccionando las coordenadas del primero al azar y ubicando los subsecuentes a una distancia de 68.27 m de separación entre cada uno, según el cálculo de la distancia entre puntos que refiere la norma antes mencionada. En la recolección de las muestras se utilizó un GPS Garming®, para ubicar los puntos en la zona de estudio, una vez localizados se obtuvo la muestra con una pala de acero inoxidable, excavando hasta una profundidad de 5 cm, se recolectó una cantidad mínima aproximada de 1 kg por muestra y se almacenó en bolsas plásticas previamente identificadas. Los utensilios de recolección fueron lavados con agua destilada entre cada muestra.

Análisis químicos

Se tomó como referencia el procedimiento 3051a de la EPA "Digestión ácida asistida por microondas de sedimentos, lodos, suelos y aceites".

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Para el análisis de suelos se pesaron 0.5 g de muestra utilizando una balanza analítica OHAUS PA214 Pioneer®, con ayuda de una pipeta se agregaron 14 mL de ácido (en proporción 10.5 mL de HNO₃ y 3.5 mL de HCl) y 0.5 mL de peróxido de hidrogeno (H₂O₂), colocados los reactivos, se cerraron los vesseles y se colocaron dentro del equipo de digestión por microondas Anton Paar Multiwave GO®.

Una vez concluida la digestión, se retiran los vesseles y se vacía el contenido en un matraz con ayuda de un embudo y papel filtro #40; se aforó la solución hasta un volumen de 50 mL y se reservó en frascos identificados para su posterior análisis por la técnica ICP-OES en un equipo Perkin Elmer OES Optima 8300®.

Aplicación del modelo IEUBK

Implementación del Modelo IEUBK

Determinadas las concentraciones de cada punto de muestreo y la media del sitio, se plantearon 3 escenarios:

- Escenario A: Concentración más baja.
- Escenario B: Concentración media.
- Escenario C: Concentración más elevada.

Se utilizó el software de acceso libre de la EPA IEUBKwin versión 2® para estimar la concentración de PbB en la población infantil, así como la probabilidad de afectación.

Para complementar la información necesaria por el programa para ejecutar los cálculos, junto a los valores del Pb en el suelo del sitio se ingresaron una serie de valores sobre las condiciones del sitio, se realizó una revisión de literatura de estudios previos similares que se hayan realizado en nuestro país en condiciones comparables, los estudios que se toman como base son el descrito por Valles y Alarcón (2012) y por Delgado *et al.* (2018), que a su vez utilizan los valores que fueron propuestos por Diaz-Barriga *et al.* (1999). Una vez introducidos todos los datos se ejecutó el programa para cada uno de los escenarios.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se puede observar la distribución de las concentraciones realizada mediante la interpolación de inverso de la distancia en el software ArcMap 10.3®.

Conforme a los análisis químicos, los escenarios planteados quedaron de la siguiente forma: escenario A (concentración más baja) con un valor de 85.085 mg/kg, escenario B (concentración media) con 826.892 mg/kg y escenario C (concentración más alta) alcanzando un valor de 4157.281 mg/kg.

En los resultados que arroja el modelo IEUBK el valor de PbB corresponde a la media geométrica para incluir a todos los grupos poblacionales que evalúa el modelo (incluye a niños con edades desde los 0 hasta los 84 meses), además, se incluye la probabilidad (siendo para los escenarios B y C alta y en el escenario A baja) que existe de que un determinado niño exceda el límite de 10 µg/dL de PbB, estipulado en la NOM-199-SSA1-2000, como categoría de menor riesgo, por encima de este valor ya se indica una serie de medidas correctivas y de atención en la norma mencionada.

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Se indica que existe un riesgo de que la población infantil pueda resultar afectada, si bien en el escenario A no se rebasa el límite de los 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ de PbB, estimando un valor de 4.918 $\mu\text{g}/\text{dL}$ con una probabilidad de superar el límite de 6.551 %; sin embargo, no resulta tan representativo considerando que más de la mitad de los puntos muestreados superaban la CRT (400 mg/kg de Pb en el suelo de uso comercial/agrícola/residencial establecido en la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004). Los escenarios B y C muestran que existe una alta probabilidad de superar el límite mencionado, estimando que las concentraciones de PbB en el caso B serían de 20.651 $\mu\text{g}/\text{dL}$ con una probabilidad de superar el límite de 93.587 % y de 52.392 $\mu\text{g}/\text{dL}$ con una probabilidad de 99.759 % para el escenario C.

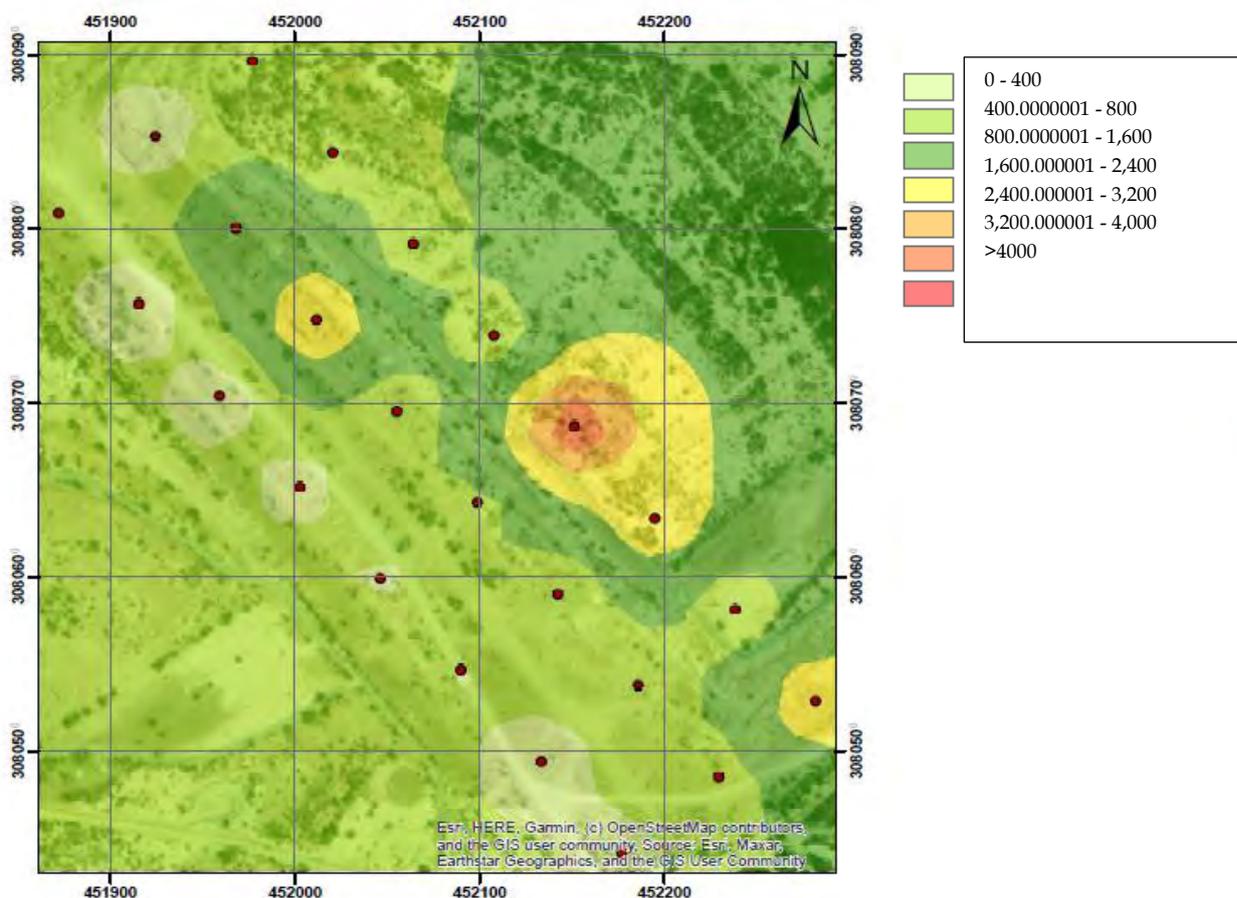


Figura 1. Distribución de las concentraciones de Pb (mg/kg) en la zona de estudio.

En los estudios realizados por Valles y Alarcón (2012) y por Delgado *et al.* (2018), muestran una tendencia similar en cuanto al comportamiento del modelo para las concentraciones de estudio en cada caso, particularmente en las concentraciones medias de cada sitio (642.41 mg/kg de Pb en suelo arrojando una respuesta de 16.58 $\mu\text{g}/\text{dL}$ y probabilidad del 16.58 %, y de 709 mg/kg de Pb en suelo que estima una concentración de PbB de 12.15 $\mu\text{g}/\text{dL}$ con una probabilidad de superar el límite de 66.09 %, respectivamente) y las variables determinadas por Diaz-Barriga *et al.* (1999), con la diferencia de que en el estudio realizado por Delgado *et al.* (2018) se obtuvo adicionalmente información real sobre la concentración de plomo en el aire. Fontana (2013) indica que bajos niveles de exposición al Pb, incluso inferiores a 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$, están relacionados con una disminución del coeficiente intelectual y un deficiente desarrollo

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

neurológico, evidenciándose problemas de comportamiento, trastornos de atención e hiperactividad; Azcona *et al.* (2015) mencionan que inclusive, en el caso particular de los niños, a concentraciones tan bajas como 5 µg/dL ya se reportan afectaciones neurológicas.

CONCLUSIONES

La presente investigación confirma la presencia del Pb en los residuos mineros de la zona de Naica por encima del valor establecido en la CRT, para este elemento, no sólo en los grandes cúmulos del material sino también en áreas como los caminos de acceso que son transitados por la población en general, representando un serio problema ambiental y a la salud humana por la movilidad que estos contaminantes puedan tener a través de diferentes medios como el agua o el viento depositándose en el suelo e impactándolo.

De acuerdo con el modelo biocinético IEUBK, existe un alto riesgo a la salud de la población infantil de la zona de estudio, grupo especialmente susceptible. Si bien el modelo se enfoca sólo en el Pb, es importante mencionar que una evaluación de riesgos integral requiere considerar las diferentes sustancias y elementos que puedan causar alguna afectación a la salud, así como también considerar todas las posibles vías y medios de exposición, de manera que pueda entenderse mejor el comportamiento que los diferentes contaminantes tienen en el medio y proponer las mejores técnicas de remediación que reduzcan o limiten la exposición.

BIBLIOGRAFÍA

- ATSDR. (2020). Toxicological Profile for Lead. U.S. Department of Health and Human Services.
- Azcona, M. I., Ramírez, R. & Vicente, G. (2015). Efectos tóxicos del plomo. *Revista de especialidades médico-quirúrgicas*, 20, 72-77.
- Covarrubias, S. A., & Cabriales, J. J. P. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 7-21.
- Delgado, M. R., Valles, M. C., Millan, R. & Alarcón, M. T. (2018). Risk assessment through ieubk model in an inhabited area contaminated with lead. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 37: 391-398. <https://doi.org/10.1002/ep.12692>.
- Díaz-Barriga, F. Yañez, L., Calderón, J. & Carrizales, L. (1999) Evaluación del riesgo en sitios contaminados aplicando un modelo de exposición integral. San Luis Potosí, México.
- EPA. (2021). User's Guide for the Integrated Exposure Uptake Biokinetic Model for Lead in Children (IEUBK). 2a Ed. U.S. Environmental Protection Agency Technical Review Workgroup Lead Committee. New York, U.S.A.
- Fontana, D., Lascano, V., Solá N., Martínez, S. A., Virgolini, M. B. & Mazzieri, M. R.. (2013). Intoxicación por plomo y su tratamiento farmacológico. *Revista de Salud Pública*. 1, 49-59.
- Valles, M. C., & Alarcón, M. T. (2012). Risk analysis of a residential area close to the tailing dams of an ex-foundry. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 32(4), 1150-1154.

División 4

ANÁLISIS DISCRIMINANTE MACRO-NUTRIMENTAL BASADO EN COORDENADAS ORTO-NORMALES EN *Malus domestica* Borkh VARIEDAD 'STARKRIMSON'

Fidel Blanco-Macías^{1*}; Ricardo David Valdez-Cepeda^{1,2}; Miguel Márquez-Madrid¹; Alfredo Lara-Herrera³

¹Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro-Norte, Cruz del Sur No. 100, Col. Constelación. CP 98085, El Orito, Zacatecas, Zac., México.

²Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Matemáticas, Paseo Solidaridad s/n, CP 98064 Zacatecas, Zac., México.

³Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Agronomía, Km 15.5 Carretera Zacatecas-Guadalajara, CP 98183, Zacatecas, Zac., México
*fiblama63@gmail.com

RESUMEN

El análisis discriminante permite discernir patrones en la nutrición que se correlacionan con niveles diferentes de rendimiento. Sin embargo, esta técnica ha sido escasamente involucrada para identificar diferencias entre clases composiciones nutrimentales asociadas a niveles diferentes de rendimiento. Por lo tanto, este trabajo tuvo como objetivo demostrar que especímenes de manzano variedad 'Starkrimson' con rendimientos menores y mayores a 23.36 kg Árbol⁻¹ tienen composiciones (N, P, K, Ca y Mg) de follaje diferentes al considerar pruebas de Tukey y análisis discriminante con base en transformaciones log cocientes isométricos (ilr's). El $ilr_2[N,P | K]$ en el grupo de composiciones de Rendimiento menor que el de referencia (23.36 kg Árbol⁻¹) contribuye más que en el caso del de Rendimiento mayor para la clasificación de integrantes del grupo. La proporción de composiciones correctamente incluidas en ambos grupos fue 78.9%; entonces, lo procedente es involucrar las composiciones clasificadas incorrectamente de acuerdo a los resultados en el grupo correcto. La reconfiguración del grupo de Rendimientos mayores debe realizarse para estimar la composición ideal asociada a maximización del rendimiento. Así, las composiciones de muchos arboles con rendimientos menores que 23.36 kg Árbol⁻¹, caracterizados por una deficiencia de N y principalmente por un exceso de K, podrían ser modificadas de manera confiable.

PALABRAS CLAVE

Rendimiento de referencia; Concentración nutrimental; Composición nutrimental; Log cocientes isométricos.

INTRODUCCIÓN

El análisis discriminante es una herramienta estadística valiosa en la investigación agrícola. Esta técnica puede ser útil para evaluar la relación entre las variables de nutrición vegetal y el rendimiento de los cultivos. Este método permite clasificar grupos diferentes de datos basándose en características específicas; ello puede facilitar la identificación de factores que afectan la producción.

División 4

Al aplicar el análisis discriminante, los investigadores pueden discernir patrones en la nutrición que se correlacionan con niveles de rendimiento grandes. Esto es crucial para optimizar las prácticas agrícolas y mejorar la eficiencia en el uso de recursos. Además, la identificación de dichos patrones puede ayudar a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre el manejo de nutrimentos.

En el contexto de la nutrición vegetal, el análisis discriminante puede identificar qué nutrientes son más determinantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Las variables como el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg) y calcio (Ca) son fundamentales; su evaluación correcta permite establecer relaciones significativas con el rendimiento. A través de esta técnica es posible detectar deficiencias o excesos nutricionales que podrían comprometer a la producción. Esto no solo conlleva a mejorar la salud de los cultivos, sino que también contribuye a la sostenibilidad agrícola. Así, el fomento de un enfoque más científico en la gestión de la fertilización sería factible.

El uso del análisis discriminante también tiene implicaciones prácticas en la planificación agrícola. Con la información obtenida, los agricultores pueden ajustar sus estrategias de fertilización para maximizar el rendimiento. Esto se podría traducir en una producción más rentable y en un uso más eficiente de los insumos. La integración de estas técnicas estadísticas en la agricultura moderna es esencial para enfrentar los desafíos de la producción alimentaria. En resumen, el análisis discriminante se presenta como una herramienta clave para mejorar la relación entre la nutrición vegetal y el rendimiento de los cultivos.

La situación nutrimental es representada de mejor manera al considerar resultados del análisis de coordenadas orto-normales en sub-espacios del ionoma de plantas. Esas herramientas están disponibles en el marco de trabajo del análisis de datos composicionales, según lo consignan Pawlowsky-Glahn *et al.* (2015). Por lo tanto, este trabajo tuvo como objetivo demostrar que especímenes de manzano variedad 'Starkrimson' con rendimientos menores y mayores a 23.36 kg Árbol⁻¹ tienen composiciones (N, P, K, Ca y Mg) de follaje diferentes al considerar pruebas de Tukey y análisis discriminante con base en transformaciones log cocientes isométricos (ilr's).

MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se involucraron 144 composiciones de muestras de follaje colectadas durante 9 años en una huerta en Rancho Nuevo, Zacatecas, México. Esas composiciones se dividieron en dos grupos (*i.e.* Rendimientos Grande y Pequeño) con base en 23.36 kg Árbol⁻¹ como referencia, rendimiento acotado por Blanco-Macías *et al.* (2021) para la variedad 'Starkrimson'. Las 144 composiciones (N, P, K, Ca y Mg) fueron cerradas a la unidad (1) y luego transformadas a log cocientes isométricos (ilr's), en apego a procedimientos consignados por Pawlowsky-Glahn *et al.* (2015). Las composiciones nutrimentales (concentraciones de los nutrimentos) y las variables irl's o coordenadas orto-normales se involucraron en pruebas de comparación de Tukey; los irl's se sometieron a análisis discriminante.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La prueba de Tukey sugiere que las composiciones nutrimentales de los dos grupos de rendimiento difieren principalmente debido a las concentraciones de N y K, ya que las concentraciones medias mayores están asociadas al grupo de Rendimientos mayores al de referencia (Cuadro 1). Sin embargo, las comparaciones univariadas omiten que las plantas absorben y acumulan los nutrimentos para cubrir sus requerimientos también con base en las interacciones entre ellos. Quizás, por tal razón, los resultados correspondientes a los irl's $[N, P, K|Ca, Mg]$, $[N, P|K]$, $[N|P]$ y $[Ca|Mg]$, combinaciones lineales importantes de los macro-nutrimentos en el sub-espacio del ionoma de *Malus domestica* variedad 'Starkrimson' indican que las diferencias entre los grupos de rendimiento se deben más a los irl₂ $[N, P|K]$ e irl₃ $[N|P]$ (Cuadro 1); ello implica que el grupo de composiciones de Rendimiento menor tienden a acumular menos N y más K que el grupo de composiciones de Rendimiento mayor que el de referencia. Este resultado coincide con lo señalado por Blanco-Macías *et al.* (2023), quienes señalaron que irl's representados en un diagrama jerárquico de coordenadas orto-normales indican que la mayoría de los árboles de rendimientos menores que 23.36 kg Árbol⁻¹ son caracterizados por una deficiencia de N y un consumo excesivo de K. Además, el bi-gráfico elaborado con base en los dos primeros componentes principales sugiere que muchos de los árboles con rendimientos menores que 23.36 kg Árbol⁻¹ tienden a acumular menos N que P, y más K que N + P en sus hojas en comparación con los árboles de rendimientos mayores que el rendimiento de referencia (23.36 kg Árbol⁻¹) (Blanco-Macías *et al.*, 2023).

El resumen de clasificación producto del análisis discriminante indica que 81 composiciones fueron incluidas correctamente en el grupo de Rendimientos menores a 23 kg Árbol⁻¹ (Cuadro 2). Sin embargo, 13 composiciones de este grupo fueron consignadas incorrectamente en el grupo de Rendimientos mayores al de referencia. También, 31 composiciones se involucraron correctamente en el grupo de Rendimientos mayores al de referencia; pero 17 composiciones de este grupo se consideraron de manera incorrecta en el grupo de Rendimientos mayores a 23 kg Árbol⁻¹. En otras palabras, el análisis discriminante sugiere que 64.6% de las composiciones de Rendimiento grande y 86.2% de las composiciones de Rendimiento menor al de referencia fueron incluidas correctamente en los grupos correspondientes; entonces, la proporción de composiciones correctamente incluidas en ambos grupos fue 78.9%. Lo notable es que las composiciones involucradas en el grupo de Rendimientos mayores al de referencia pueden inducir a inferencias incorrectas si su composición media se involucra como referencia en diagnósticos nutrimentales; por lo tanto, este grupo debe reconfigurarse para que su conformación sea más confiable; en especial, porque sus composiciones son las que deben considerarse para estimar la composición ideal asociada a maximización del rendimiento. Para ello, lo procedente es involucrar las composiciones clasificadas incorrectamente de acuerdo a los resultados en el grupo correcto.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cuadro 1. Información de nutrimentos y log cocientes isométricos (irl's) por grupos según la Prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Grupo (Referencia: 23.36 kg Árbol ⁻¹)	N	N (g kg ⁻¹)	P (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)
Rendimiento Mayor	48	29.477A	1.8613A	15.60A	10.669A	1.988A
Rendimiento Menor	94	24.099B	1.8150A	15.25B	9.891A	1.929A
		ilr 1 [N,P,K Ca,Mg]	ilr2 [N,P K]	ilr3 [N P]	ilr4 [Ca Mg]	
Rendimiento Mayor	48	0.7383A	-0.3604A	1.974A	1.1663A	
Rendimiento Menor	94	0.7228A	-0.6825B	1.834B	1.1873A	

Cuadro 2. Información de composiciones nutrimentales involucradas de manera correcta e incorrecta en los grupos y funciones discriminantes de los grupos con base en log cocientes isométricos, ilr's ($p < 0.05$).

	Grupo (Referencia: 23.36 kg Árbol ⁻¹)		Diferencia
	Rendimiento Mayor	Rendimiento Menor	
N	48	94	
n correcto	31	81	
Proporción correcta	0.646	0.862	
Constante	-117.04	-117.99	0.95
ilr 1[N,P,K Ca,Mg]	35.00	33.35	1.65
ilr2[N,P K]	-31.75	-36.13	4.38
ilr3[N P]	80.57	78.92	1.65
ilr4[Ca Mg]	33.17	35.80	2.63

Los resultados indican rotundamente que al grupo composiciones de Rendimiento menor al de referencia corresponde la función lineal discriminante mayor (-36.13) para el ilr2[N,P | K] (Cuadro 2). Ello sugiere que el ilr2[N,P | K] en el grupo de composiciones de Rendimiento menor contribuye más que en el caso del de Rendimiento mayor para la clasificación de integrantes del grupo. Un resultado similar en menor grado a este ilr2[N,P | K] corresponde al ilr4[Ca | Mg]. Ello implica que estos dos irl's son los determinantes en la configuración de ambos grupos, en especial del de Rendimientos menores al de referencia.

El resultado concerniente al ilr2[N,P | K] coincide con lo señalado previamente por Blanco-Macías *et al.* (2023), quienes consignaron que al irl2 [N, P | K] de los árboles con rendimiento mayor que 23.36 kg Árbol⁻¹ se asocia la variación mayor con base en el diagrama jerárquico de las composiciones macro-nutrientes log transformadas a coordenadas orto-normales. Asimismo, estos resultados coinciden con los de Blanco-Macías *et al.* (2021) para la variedad 'Starkrimson'. En general, los resultados de este trabajo y los previos (i.e. Blanco-Macías *et al.*, 2021, 2023) refuerzan la idea de incrementar la concentración de N y reducir la de K en el follaje de muchos de los árboles de rendimiento menor que el de referencia con el propósito de maximizar al rendimiento.

División 4

CONCLUSIONES

Los resultados de las pruebas de Tukey y del análisis de análisis discriminante al considerar el estado nutrimental de los árboles de *Malus domestica* Borkh. variedad 'Starkrimson' sugieren el $\text{ilr}_2[\text{N}, \text{P} | \text{K}]$ en el grupo de composiciones de Rendimiento menor contribuye más que en el caso del de Rendimiento mayor para la clasificación de integrantes del grupo. La proporción de composiciones correctamente incluidas en ambos grupos fue 78.9%; entonces, lo procedente es involucrar las composiciones clasificadas incorrectamente de acuerdo a los resultados en el grupo correcto. La reconfiguración grupo de Rendimientos mayores debe realizarse para que su conformación sea mas confiable; en especial, porque sus composiciones son las que deben considerarse para estimar la composición ideal asociada a maximización del rendimiento. Así, las composiciones de muchos arboles con rendimientos menores que 23.36 kg Árbol⁻¹, caracterizados por una deficiencia de N y principalmente por un exceso de K, podrían ser modificadas. Sin embargo, técnicas nuevas deben desarrollarse para realizar recomendaciones adecuadas de manera objetiva al cambio necesario con el fin de mejorar el estado nutrimental de los árboles de *Malus domestica* Borkh. variedad 'Starkrimson' diagnosticados con deficiencia de N y exceso de K.

BIBLIOGRAFÍA

- Blanco-Macías, F., Valdez-Cepeda, R.D., Márquez-Madrid, M. & Lara-Herrera, A. (2021). Representación de la composición macro-nutrimental de *Malus domestica* Borkh. pp. 62-63. In: Memoria del IX Congreso Internacional y XXIII Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas. Chapingo, Edo. México, México.
- Blanco-Macías, F., Valdez-Cepeda, R.D., Márquez-Madrid, M. & Lara-Herrera, A. (2023). Diagnóstico macro-nutrimental mediante coordenada orto-normales en *Malus domestica* Borkh. variedad Starkrimson. pp. 20-21. In: Memoria del XI Congreso Internacional y XXV Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas. Chapingo, Edo. México, México.
- Pawlowsky-Glahn, V., Monreal-Pawlowsky, T., & Egozcue, J.J. (2015). Representation of Species Composition. In: Martín-Fernández, J., & Thió-Henestrosa, S. (Eds.). Compositional Data Analysis. CoDaWork 2015. *Springer Proceedings in Mathematics & Statistics*, Vol. 187. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44811-4_11

ANÁLISIS DISCRIMINANTE MACRO-NUTRIMENTAL BASADO EN COORDENADAS ORTO-NORMALES EN *Opuntia ficus-indica* L.

Ricardo David Valdez-Cepeda^{1,2*}; Fidel Blanco-Macías¹; Miguel Márquez-Madrid¹; Alfredo Lara-Herrera³

¹Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro-Norte, Cruz del Sur No. 100, Col. Constelación. CP 98085, El Orito, Zacatecas, Zac., México.

²Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Matemáticas, Paseo Solidaridad s/n, CP 98064 Zacatecas, Zac., México.

³Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Agronomía, Km 15.5 Carretera Zacatecas-Guadalajara, CP 98183, Zacatecas, Zac., México
vacrida@gmail.com

RESUMEN

El análisis discriminante permite discernir patrones en la nutrición que se correlacionan con niveles diferentes de rendimiento. Sin embargo, esta técnica ha sido escasamente involucrada para identificar diferencias entre clases o grupos de composiciones nutrimentales asociadas a niveles diferentes de rendimiento. Por lo tanto, este trabajo tuvo como objetivo demostrar que especímenes de nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.) variedad 'Rojo Pelón' con rendimientos menores (Verdaderas Positivas, VP's) y mayores (Verdaderas Negativas, VN's) a 1166.67 g Cladodio⁻¹ tienen composiciones (N, P, K, Ca y Mg) diferentes al considerar pruebas de Tukey y análisis discriminante con base en transformaciones log cocientes isométricos (ilr's). El $\text{ilr}_3[\text{N}|\text{P}]$ en el grupo de composiciones VP's contribuye más que en el caso del de VN's para la clasificación de integrantes de grupo. La proporción de composiciones correctamente incluidas en ambos grupos fue 74.5%; entonces, lo procedente es involucrar a las composiciones clasificadas incorrectamente de acuerdo a los resultados en el grupo correcto. La reconfiguración del grupo VN debe realizarse para estimar la composición ideal asociada a maximización del rendimiento. Así, las composiciones de muchos nopales (árboles) con rendimientos menores que 1166.67 g Cladodio⁻¹ (i.e. Grupo VP), caracterizadas por una deficiencia de P y consumo innecesario de N, podrían ser modificadas de manera confiable.

PALABRAS CLAVE

Rendimiento de referencia; Concentración nutrimental; Composición nutrimental; Log cocientes isométricos.

INTRODUCCIÓN

El análisis discriminante es una herramienta estadística valiosa en la investigación agrícola. Esta técnica puede ser útil para evaluar la relación entre las variables de nutrición vegetal y el rendimiento de los cultivos. Este método permite clasificar grupos diferentes de datos basándose en características específicas; ello puede facilitar la identificación de factores que afectan la producción. Al aplicar el análisis discriminante, los investigadores pueden discernir patrones en la nutrición que se correlacionan con niveles de rendimiento grandes. Esto es crucial para optimizar las

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

prácticas agrícolas y mejorar la eficiencia en el uso de recursos. Además, la identificación de dichos patrones puede ayudar a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre el manejo de nutrientes.

En el contexto de la nutrición vegetal, el análisis discriminante puede identificar qué nutrientes son más determinantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Las variables como el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg) y calcio (Ca) son fundamentales; su evaluación correcta permite establecer relaciones significativas con el rendimiento. A través de esta técnica es posible detectar deficiencias o excesos nutricionales que podrían comprometer a la producción. Esto no solo conlleva a mejorar la salud de los cultivos, sino que también contribuye a la sostenibilidad agrícola. Así, el fomento de un enfoque más científico en la gestión de la fertilización sería factible.

El uso del análisis discriminante también tiene implicaciones prácticas en la planificación agrícola. Con la información obtenida, los agricultores pueden ajustar sus estrategias de fertilización para maximizar el rendimiento. Esto se podría traducir en una producción más rentable y en un uso más eficiente de los insumos. La integración de estas técnicas estadísticas en la agricultura moderna es esencial para enfrentar los desafíos de la producción alimentaria. En resumen, el análisis discriminante se presenta como una herramienta clave para mejorar la relación entre la nutrición vegetal y el rendimiento de los cultivos.

La situación nutrimental es representada de mejor manera al considerar resultados del análisis de coordenadas orto-normales en sub-espacios del ionoma de plantas. Esas herramientas están disponibles en el marco de trabajo del análisis de datos composicionales, según lo consignan Pawlowsky-Glahn *et al.* (2015). Por lo tanto, este trabajo tuvo como objetivo demostrar que especímenes de nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.) variedad 'Rojo Pelón' con rendimientos menores (Verdaderas Positivas, VP's) y mayores (Verdaderas Negativas, VN's) a 1166.67 g Cladodio⁻¹ tienen composiciones (N, P, K, Ca y Mg) diferentes al considerar pruebas de Tukey y análisis discriminante con base en transformaciones log cocientes isométricos (ilr's).

MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se involucraron 161 composiciones de muestras de cladodios de fructificación de 1 año de edad colectados (junto con sus respectivos frutos) durante 4 años consecutivos (2012-2015) en un huerto experimental ubicado en Centro Regional Universitario Centro Norte de la Universidad Autónoma Chapingo, localizado en El Orito, Zacatecas, México. Las muestras de esas composiciones se dividieron en dos grupos (*i.e.* Verdaderas Positivas, VP's -Rendimientos menores- y Verdaderas Negativas, VN's - Rendimientos mayores-) con base en 1166.67 g Cladodio⁻¹ como referencia, rendimiento acotado por Hernández-Vidal *et al.* (2021) para *Opuntia ficus-indica* (L.) variedad 'Rojo Pelón'. Las 161 composiciones (N, P, K, Ca y Mg) fueron cerradas a la unidad (1) y luego transformadas a log cocientes isométricos (ilr's), en apego a procedimientos consignados por Pawlowsky-Glahn *et al.* (2015). Las composiciones nutrimentales (concentraciones de los nutrientes) y las variables ilr's o coordenadas orto-normales se involucraron en pruebas de comparación de Tukey; los ilr's también se sometieron a análisis discriminante.

División 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las pruebas de Tukey permitieron detectar cuales nutrientes y coordenadas orto-normales produjeron diferencias importantes entre los grupos de composiciones VN's y VP's (Cuadro 1). El orden de las diferencias significativas de los nutrientes es $N = P = Mg > Ca > K$. La media de N del grupo VN es menor a la del grupo VP. Las medias de P, K, Ca y Mg del grupo VN son mayores que las del grupo VP.

Las coordenadas orto-normales (ilr's) más diferentes significativamente son $ilr3 [N|P]$ e $ilr1 [N, P, K|Ca, Mg]$ (Cuadro 1). La menor media positiva de $ilr3 [N|P]$ corresponde al grupo VN; ello sugiere que las composiciones VN's han experimentado una tendencia a concentrar más P (la parte negativa, -, o denominador) que N (la parte positiva, +, o numerador) en comparación con el grupo VP. Además, la mayor media negativa del $ilr1 [N, P, K|Ca, Mg]$ pertenece al grupo VN; esto indica que las composiciones VN tendieron a caracterizarse por concentraciones mayores de Ca y Mg que de N, P y K; esto es específico para el macro-nutrimiento Ca. También, la mayor media negativa del $ilr2 [N, P|K]$ corresponde al grupo VN; entonces, las composiciones del grupo VN tendieron a concentrar mas K que N+P en comparación con las del grupo VP.

Los coeficientes de las funciones discriminantes lineales estimadas se muestran en el Cuadro 2. Sobre la base de los ilr's, el análisis discriminante identificó correctamente 120 de 161 composiciones (74.5%). La probabilidad de clasificar correctamente a las composiciones VP's fue menor (94/131 o 71.8%) que la probabilidad de clasificar correctamente a las composiciones VN's (26/30 o 86.7%). Estos resultados sugieren la pertinencia de reconfigurar a los grupos involucrando las composiciones en el grupo al que corresponden.

Los resultados indican rotundamente que al grupo de composiciones VP's corresponde la función lineal discriminante mayor (38.778) para el $ilr3 [N|P]$. Ello sugiere que el $ilr2 [N,P|K]$ en el grupo de composiciones VP's contribuye más que en el caso del de VN's para la clasificación de sus integrantes. Un resultado similar en menor grado a este $ilr3 [N|P]$ corresponde al $ilr4 [Ca|Mg]$ (i.e. 28.736, grupo VP) y al $ilr1 [N,P,K|Ca,Mg]$ (i.e. -22.45, grupo VN). Ello implica que estos tres ilr's son los determinantes en la configuración de ambos grupos, en especial del de composiciones VP's.

Las composiciones involucradas en el grupo de composiciones VN's pueden inducir a inferencias incorrectas si su composición media se involucra como referencia en diagnósticos nutrimentales; por lo tanto, este grupo debe reconfigurarse para que su conformación sea mas confiable; en especial, porque sus composiciones son las que deben considerarse para estimar la composición ideal asociada a maximización del rendimiento. Para ello, lo procedente es involucrar a las composiciones clasificadas incorrectamente de acuerdo a los resultados en el grupo correcto. Así se tendría la oportunidad de modificar las composiciones diagnosticadas como VP's en lo concerniente al $ilr3 [N|P]$ porque podrían estar vinculadas a situación de deficiencia de P y consumo innecesario de N (cabe destacar que se podría estar diagnosticando un exceso de N en lugar de un consumo innecesario de N cuando se usan las concentraciones de nutrimentos entre la composición del caso y la de referencia para la comparación); por lo tanto, lo que debería hacerse es mejorar las

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

composiciones diagnosticadas como VP's sin modificar otro algún otro irl de forma significativa que afecte al rendimiento.

Cuadro 1. Comparaciones nutrimentales y de coordenadas orto-normales (irl's) entre los grupos de composiciones Verdaderas Negativas, TN's (n=30) y Verdaderas Positivas, TP's (n=131) de *Opuntia ficus-indica* L. variedad 'Rojo Pelón' mediante la Prueba de Tukey. Letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos.

Grupo	Variable				
	N (g kg ⁻¹) p<0.0001	P (g kg ⁻¹) p<0.0001	K (g kg ⁻¹) p=0.038	Ca (g kg ⁻¹) p=0.001	Mg (g kg ⁻¹) p<0.0001
TP	12.26 a	2.72 b	30.74 b	36.18 b	12.96 b
TN	9.69 b	3.12 a	36.15 a	43.04 a	15.18 a
	ilr1 [N, P, K Ca, Mg] p=0.008	ilr2[N, P K] p=0.019	ilr3[N P] p<0.0001	ilr4[Ca Mg] p=0.666	
TP	-0.867 a	-1.303 a	1.059 a	0.722 a	
TN	-1.005 b	-1.522 b	0.793 b	0.737 a	

Cuadro 2. Información de composiciones nutrimentales de *Opuntia ficus-indica* L. variedad 'Rojo Pelón' involucradas de manera correcta e incorrecta en los grupos y funciones discriminantes de los grupos con base en log cocientes isométricos, irl's (p<0.05).

	Grupo (Referencia: 23.36 kg Árbol ⁻¹)		Diferencia
	Verdaderas Positivas (Rendimiento menor)	Verdaderas Negativas (Rendimiento mayor)	
N	131	30	
n correcto	94	26	
Proporción correcta	0.718	0.867	
Constante	-54.234	-52.621	
ilr1[N,P,K Ca,Mg]	-20.514	-22.872	2.358
ilr2[N,P K]	-22.168	-22.450	0.282
ilr3[N P]	38.778	35.798	2.98
lr4[Ca Mg]	28.736	26.737	1.999

CONCLUSIONES

Los resultados de las pruebas de Tukey y del análisis de análisis discriminante al considerar el estado nutrimental de los árboles de *Opuntia ficus-indica* L. variedad 'Rojo Pelón' sugieren el ilr3[N | P] en el grupo de composiciones de Verdaderas Positivas (VP's) contribuye más que en el caso del de Verdaderas Negativas (VN's) para la clasificación de integrantes del grupo. La proporción de composiciones correctamente incluidas en ambos grupos fue 74.5%; entonces, lo procedente es involucrar a las composiciones clasificadas incorrectamente de acuerdo a los resultados en el grupo correcto. La reconfiguración del grupo de composiciones VN's debe realizarse para que su conformación sea mas confiable; en especial, porque sus composiciones son las

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

que deben considerarse como referencia para modificar las composiciones diagnosticadas como VP'ss en lo concerniente al $ilr_3[N|P]$ porque podría estar vinculadas a una situación de deficiencia de P y consumo innecesario de N; así, las composiciones VP's podrían estar en condiciones de que sus cladodios de fructificación rindan mas que 1166.67 g de fruta.

BIBLIOGRAFÍA

- Hernández-Vidal, E., Blanco-Macías, F., Véliz-Deras F.G., Gaytán-Alemán, L., González-Torres, A. & Valdez-Cepeda, R.D. (2021). Compositional Nutrient Diagnosis (CND) standards for *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller variety 'Rojo Pelón' fruiting. JPACD 23, 79-93. <https://jpacd.org/jpacd/article/view/452/337>
- Pawlowsky-Glahn, V., Monreal-Pawlowsky, T., & Egozcue, J.J. (2015). Representation of Species Composition. In: Martín-Fernández, J., & Thió-Henestrosa, S. (Eds.). Compositional Data Analysis. CoDaWork 2015. *Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, Vol. 187*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44811-4_11

APLICACIÓN DE BIOREGULADORES EN NOGAL PECANERO CV. WESTERN SCHLEY Y SU RESPUESTA FISIOLÓGICA

Álvaro Orduñez Murillo¹; María Laura Díaz Baca²; Alejandro Palacio Márquez³; Damaris Leopoldina Ojeda Barrios⁴

^{1,2,3}Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad Autónoma de Chihuahua. Km 2.5 Carretera a Rosales, Poniente 33000 Delicias, México.

⁴Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua. Av. Pascual Orozco s/n, Campus 1, Santo Niño, 31160 Chihuahua, México.
Autor de correspondencia: mlbaca@uach.mx

RESUMEN

Uno de los cultivos de gran importancia económica en el estado de Chihuahua es la nuez pecanera [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch.]. Este estado es principal productor de México posicionándose como el tercer productor mundial. Sin embargo, el cultivo enfrenta desafíos fisiológicos que regulan sus reservas alterando el desarrollo de brotes reproductivos. Esto genera desequilibrios en los precios y disponibilidad, afectando a los productores. Para aminorar estos efectos, se recomienda un manejo agronómico que incluya el uso de bioreguladores. Estos han tenido resultados prometedores en otros árboles frutales pero su uso y conocimiento en cultivares específicas es prematuro. Es por ello que, el objetivo de este estudio fue determinar el comportamiento de tres bioreguladores sobre el contenido mineral de la hoja y su respuesta en el rendimiento y calidad de la nuez. El estudio se realizó en Delicias, Chihuahua con 20 árboles cultivar Western Schley de 9 años. Se aplicó de manera foliar durante floración tres tratamientos de bioreguladores (thidiazurón, prohexadiona de calcio y ácido cloroetilfosfónico). Se realizó un análisis foliar para determinar la concentración de los macro y micronutrientes, los parámetros de calidad y rendimiento se realizaron de acuerdo a la norma mexicana (NMX-FF-084-SCFI - 2009). Se realizó un ANOVA y prueba de rango múltiple de Tukey utilizando el software estadístico R. Se observaron diferencias en el número de nueces, porcentaje de almendra y el rendimiento. Los tratamientos modifican el contenido mineral obtenido de los folíolos, así como los parámetros de calidad que mejoran la producción.

PALABRAS CLAVE

Ácido cloroetilfosfónico; Citoquininas; Contenido mineral; Inducción floral; Prohexadiona de calcio; rendimiento; Thidiazuron.

INTRODUCCIÓN

En el norte del país, la producción de nuez pecanera [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] es de gran relevancia económica por su alta rentabilidad (Ojeda-Barrios *et al.*, 2016). La producción en Chihuahua en el año 2023, fue de 73,440.69 toneladas, de la que se obtuvo 100,206.84 de pesos por concepto de la comercialización. Esta cifra representó el 61.1 % del valor de la producción nacional (SIAP, 2024).

División 4

Para los productores chihuahuenses, un proceso fisiológico que muestra el nopal de supervivencia para regular reservas constituye un problema de presupuesto (Smith *et al.*, 2012).

Este fenómeno fisiológico crea niveles desequilibrados de oferta y demanda e influyendo en el precio y la disponibilidad de los productos (Randall *et al.*, 2015). Conocer el proceso fenológico del cultivo, permite un manejo técnico adecuado para mejorar su producción (Ojeda-Barrios *et al.*, 2019). Algunos productos pueden modificar el desarrollo de las plantas. Al aplicarse, permiten inducir dormancia, maduración, floración, caída o amarre de frutos y con ello mejorar parámetros que se relacionan con la productividad, rendimiento y calidad. Estos productos son llamados bioreguladores (Martínez-González *et al.*, 2017).

Se recomienda el uso de reguladores de crecimiento y podas, así como manejo integral del cultivo, como una estrategia para la producción de algunos frutales (Ramírez *et al.*, 2009). Sin embargo, la información sobre el cultivar de mayor plantación del estado de Chihuahua es limitada. Es por ello, que objetivo de este estudio es determinar el comportamiento de los bioreguladores thidiazurion (TDZ), prohexadiona de calcio (PCa) y ácido cloroetilfosfónico (Ethrel) sobre el contenido mineral de la hoja y su respuesta al rendimiento y calidad de la nuez. El conocimiento de la respuesta fisiológica y dosificación de tratamientos puede ser una estrategia de manejo agronómico que impacte en los productores del estado mayor productor del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionó una huerta nogalera ubicada en la colonia "La Merced" en Delicias, Chihuahua, con altitud de 1440 msnm en las coordenadas 28°24'59.9"N 105°37'11.6"O, temperatura y precipitación promedio anual de 17.8 ° C y 366,5 mm respectivamente. Suelo con un pH de 7,2 arcillo-arenoso. La población objeto de estudio fueron 20 árboles de 9 años de edad de la variedad Western Schley. Los tratamientos consistieron en aplicación foliar de biorreguladores TDZ 100 mg L⁻¹, PCa 500 mg L⁻¹, Ethrel 100 mg L⁻¹ y control (agua) durante los meses de abril, mayo, junio y julio, la toma de muestras de folíolos en el mes de agosto y los parámetros de calidad de la nuez en noviembre en el año 2023. Se realizó un análisis foliar y se tomaron lecturas de contenido nutricional en el Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo A.C. Unidad Delicias, C. De acuerdo a las especificaciones establecidas en la norma mexicana (NMX-FF-084-SCFI-2009) se evaluaron los parámetros de porcentaje de rendimiento y almendra. Los resultados fueron analizados utilizando el software estadístico Rstudio versión 3.6.1. Se realizó pruebas de medias e hipótesis, considerando diferencias significativas con P ≤ 0.05 mediante la prueba de rango múltiple de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se muestran a continuación en los Cuadros 1, 2 y 3.

Cuadro 1. Concentración nutrimental de macronutrientes en foliolos de nogal pecanero variedad Western Schley tras aplicación de bioreguladores.

T (mg L ⁻¹)	Macronutrientes (g kg ⁻¹ p. s)				
	N-total	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ⁺
Ethrel (100)	26.15 ± 0.556 a	1.665 ± 0.093 a	20.02 ± 2.201 a	33.95 ± 1.215 b	4.575 ± 0.166 b
PCa (500)	23.15 ± 0.506 b	1.825 ± 0.101 a	19.72 ± 2.762 a	31.17 ± 1.252 a	4.120 ± 0.276 ab
TDZ (100)	22.85 ± 0.568 b	1.850 ± 0.141 a	21.75 ± 2.352 a	31.65 ± 1.580 ab	4.450 ± 0.229 ab
Control	22.96 ± 0.682 b	1.805 ± 0.155 a	19.66 ± 2.733 a	30.92 ± 1.108 a	3.952 ± 0.288 ab

T: Tratamiento, Etherel: Cloroetilfosfónico, PCa: Prohexadiona de calcio, TDZ: Thidiazuron. N-total: Nitrogeno total, P: Fosforo, K: Potasio, Ca: Calcio, Mg: Magnesio. Letras diferentes dentro del cuadro representan diferencias significativas.

La concentración mineral de nitrógeno, el tratamiento Ethrel presenta una diferencia significativa en comparación con los demás tratamientos. Sin embargo, en la concentración mineral de fosforo, no se observan diferencias significativas entre los tratamientos. De manera similar, en la concentración mineral de potasio, tampoco se encuentra diferencias significativas. Por otro lado, en la concentración mineral de calcio, se identificó que el TDZ tiene diferencias significativas respecto a los demás tratamientos. Finalmente, en la concentración mineral de magnesio, se encontró que los tratamientos PCA, TDZ y control presentan diferencias significativas en comparación con el Ethrel.

Cuadro 2. Concentración nutrimental de micronutrientes en foliolos de nogal pecanero variedad Western Schley con aplicación de bioreguladores.

T (mg L ⁻¹)	Micronutrientes (mg kg ⁻¹)				
	Na	Fe ²⁺	Cu ²⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺
Ethrel (100)	0.016 ± 0.0008 a	216.1 ± 6.683 a	6.75 ± 0.9574 a	235.5 ± 1.914 b	34.93 ± 6.683 a
PCa (500)	0.021 ± 0.0014 a	238.2 ± 6.377 b	8.12 ± 0.8165 ab	237.2 ± 2.217 b	41.52 ± 5.311 a
TDZ (100)	0.014 ± 0.0016 a	241.2 ± 10.96 b	9.23 ± 0.8165 b	236.7 ± 3.593 b	40.11 ± 3.287 a
Control	0.017 ± 0.0012 a	226.5 ± 9.123 ab	7.54 ± 0.8165 a	229.2 ± 2.160 a	35.80 ± 6.458 a

T: Tratamiento, Etherel: Cloroetilfosfónico, PCa: Prohexadiona de calcio, TDZ: Thidiazuron. Na: Sodio, Fe: Hierro, Cu: Cobre, Mn: Manganeso, Zn: Zinc. Letras diferentes dentro del cuadro representan diferencias significativas.

Por otro lado, en la concentración mineral de micronutrientes, para el elemento de sodio, no existe diferencia significativa entre tratamientos y con respecto al testigo. Hierro en cambio, la aplicación de PCa y TDZ se agrupa haciéndolos semejantes, y el Ethrel diferente al tratamiento control. Por otra parte, para el elemento de cobre, Ethrel y control se observan diferentes con respecto a TDZ y PCa similar con todos. Para Manganeso cualquier aplicación de bioreguladores es estadísticamente diferente al control, sin embargo, no se observa diferencia estadística significativa para zinc entre tratamientos o con respecto al testigo.

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cuadro 3. Peso de la nuez, porcentaje de almendra y rendimiento en variedad Western Schley en respuesta a la aplicación de bioreguladores.

T (mg L ⁻¹)	Calidad de la nuez		
	Peso de la nuez g	Porcentaje de almendra %	Rendimiento kg árbol ⁻¹
Ethrel (100)	6.21 ± 0.49 a	59.13 ± 1.22 b	11.87 ± 3.19 b
PCa (500)	6.03 ± 0.48 a	59.39 ± 1.25 ab	11.23 ± 3.24 b
TDZ (100)	6.18 ± 0.44 a	59.57 ± 1.28 ab	11.98 ± 3.12 b
Control	5.93 ± 0.38 a	58.68 ± 1.11 a	10.12 ± 2.57 a

T: Tratamiento, Ethrel: Cloroetilfosfónico, PCa: Prohexadiona de calcio, TDZ: Thidiazuron. Letras diferentes en el cuadro representan diferencias significativas

En cuanto al peso de la nuez, no se encontraron diferencias significativas en gramos entre los tratamientos. Sin embargo, al analizar el porcentaje de almendra, se observa que el tratamiento Ethrel presenta diferencia estadística significativa a comparación del tratamiento control, mientras que PCa y TDZ se muestran similares a los demás. Por otro lado, se observa que la aplicación de cualquier bioregulador aumenta el rendimiento del cultivo, con respecto al control y muestra diferencia estadística significativa. En algunos estudios, se investigó el efecto de PCa en manzanos (*Malus domestica*) variedad Golden Delicious este tratamiento logró reducir la longitud de los brotes en un 40-43% y la de los entrenudos en un 30%, sin alterar el número de nudos. Los resultados mostraron que no tuvo un impacto negativo en el crecimiento del tronco, floración, rendimiento del desarrollo del fruto, además de mejorar el tamaño de la fruta. Los autores concluyeron que la aplicación de PCa es útil para controlar el crecimiento vegetativo sin afectar la calidad (Atay y Koyuncu, 2017). Por otra parte, se realizó una investigación de aplicación del bioregulador Ethrel en arándanos (*Vaccinium corymbosum*). Este bioregulador aumentó significativamente el porcentaje de frutos maduros recolectados. Se necesitó una concentración de 240 mg kg⁻¹ para la variedad Weymouth y 1920 ppm para la Blueray, es decir que la concentración es diferente para cada variedad. Como resultado se obtuvo que las bayas tratadas eran más pequeñas y menos ácidas que las del grupo control (Belmonte-Ureña *et al*, 2020). Del mismo modo en un estudio realizado para la variedad Western Schley de nogal pecanero tras la aplicación foliar de ácido giberélico (GA₃) 50 mg L⁻¹, PCa en 500 mg L⁻¹ y TDZ 10 mg L⁻¹ donde los resultados indicaron que no hubo cambios significativos en los niveles de nutrientes como nitrógeno, potasio y carbohidratos entre los ciclos agrícolas. Los árboles tratados con GA₃ lograron reducir la alternancia en la producción, manteniendo rendimientos consistentes pero las aplicaciones se hicieron un año antes del análisis. Además, los tratamientos no impactaron el peso de las nueces ni el porcentaje de grano, lo que sugiere que la alternancia podría estar influenciada por las reservas de carbohidratos y las giberelinas (Orozco-Meléndez *et al*, 2021).

En otros experimentos, se estudió el impacto de TDZ 0, 20, 40 y 60 mg L⁻¹ y aminoetoxivinilglicina (AVG) 60 mg L⁻¹ en el cuajado y la producción de peras (*Pyrus communis*) variedad Hosui y Packham's Triumph en un huerto en São Joaquim, SC. Los hallazgos indicaron un aumento progresivo en el cuajado, la cantidad de frutos por árbol y el rendimiento con TDZ, sin perjudicar la calidad del fruto (Pasa *et al*, 2017).

División 4

CONCLUSIÓN

Las aplicaciones de los bioreguladores en este estudio modificaron el contenido mineral de la hoja, así como a los parámetros de calidad de la nuez, lo cual se refleja en la comercialización de la nuez, haciendo de este una estrategia factible para el manejo agronómico del nogal pecanero cv. Western Schley. Se recomienda ahondar sobre estos tratamientos y acumular datos para evaluar la alternancia de este frutal

BIBLIOGRAFÍA

- Atay, A. N., & Koyuncu, F. (2017). Impact of repeated yearly applications of prohexadione-calcium on vegetative and reproductive growth of 'Golden delicious' /m. 9 apple trees. *Journal of Horticultural Research*, 25(1), 47-54.
- Belmonte-Ureña, L. J., Garrido-Cardenas, J. A., & Camacho-Ferre, F. (2020). Analysis of world research on grafting in horticultural plants. *HortScience*, 55(1), 112-120.
- Martínez-González, M. E., Balois-Morales, R., Alia-Tejagal, I., Cortes-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A., & López-Gúzman, G. G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(SPE19), 4075-4087.
- Ojeda-Barrios, D. L., Castillo-González, J., Hernández-Rodríguez, A., Abadía Bayona, J., Sánchez, E., Parra-Quezada, R., ... & Sida-Arreola, J. A. P. (2019). Zinc nutritional status of pecan trees influences physiological and nutritional indicators, the metabolism of oxidative stress, and yield and fruit quality.
- Ojeda-Barrios, D. L., Sánchez-Chávez, E., Sida-Arreola, J. P., Valdez-Cepeda, R., & Balandran-Valladares, M. (2016). The impact of foliar nickel fertilization on urease activity in pecan trees. *Journal of soil science and plant nutrition*, 16(1), 237-247.
- Orozco-Meléndez, L. R., Rodríguez, Cruz-Álvarez, O., Mendoza, A. B., Calderón-Jurado, M., & Ojeda-Barrios, D. L. (2021). Does the application of growth biorregulators improve the foliar concentration of nutrients, non-structural carbohydrates and yield in pecan? *Ciência e Agrotecnologia*, 45, e004721.
- Pasa, M. S., Silva, C. P., Carra, B., Brighenti, A. F., Souza, A. L. K., & Petri, J. L. (2017). Thidiazuron (TDZ) increases fruit set and yield of 'Hosui' and 'Packham's Triumph' pear trees. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 89, 3103-3110.
- Ramírez, H., Méndez-Paredes, O., Benavides-Mendoza, A., & Amado-Ramírez, C. (2009). Influencia de prohexadiona-Ca y promotores de oxidación sobre el rendimiento, capsaicina y vitamina C en chile jalapeño. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 15(3), 231-236.
- Randall, J. J., Rascon, A., Heerema, R. J., & Potter, M. T. (2015). Molecular mechanisms of pecan flower induction.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2024). Atlas Agroalimentario del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México, DF
https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2024/AtlasAgroalimentario-2024
- Smith, M. W., Rohla, C. T., & Goff, W. D. (2012). Pecan leaf elemental sufficiency ranges and fertilizer recommendations. *HortTechnology*, 22(5), 594-599.

BIOSÓLIDOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, PARA PRODUCCIÓN DE MAÍZ (*Zea mays* L.) UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE

Pedro Alberto Rojas Rojas^{1*}; Heidi M. Medina Montenegro¹; Martha L. Gutiérrez Pérez¹; Cristóbal Chaidez Quiroz²

¹Universidad Tecnológica de Culiacán. Carr. A Imala Km. 2.5, Culiacán, Sinaloa, México. C.P. 80014.

²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C. Carr. Culiacán-Eldorado Km. 5.5, Culiacán, Sinaloa, México. C.P. 80000

*ingpedro_rojas@hotmail.com

RESUMEN

México cuenta con 8,081,068 ha sembradas de maíz. Sinaloa ocupa el primer lugar en producción de granos con altos niveles de agroquímicos, pero la producción sustentable de granos consiste en generar bio agro producción in-situ para reducir costos con máximo rendimiento y libre de enfermedades de las plantas. Los fertilizantes convencionales obtienen altos rendimientos en comparación con otras opciones sustentables, pero el suelo se ve afectado, se debe analizar para suministrar elementos necesarios, por lo que debe tener una buena humedad y al menos un nivel de fertilizantes químicos de Nitrógeno de 450 unidades para obtener 9 ton/ha. Los biosólidos son biofertilizantes seguros para el medio ambiente y la salud humana, los productores pueden utilizar este tipo de abonos en combinación con fertilizantes químicos, para reducir la tasa de aplicación, siempre que sean de buena calidad, libres de metales pesados y enfermedades. El experimento se realizó en la Universidad Tecnológica de Culiacán, con cuatro tratamientos combinados que contenían un total de N:430, P:60, K:80, al tratamiento "LOM10" se le agregaron 10t de humus de lombriz, al tratamiento "BIO10" se le agregaron 10t de biosólido y un tratamiento "TEST" fue un manejo comercial. Los resultados muestran que "BIO10" tuvo un mayor rendimiento, desarrollo, vigor y color de las plantas, "LOM10" obtuvo el grosor del tallo, "TEST" solo obtuvo una mejor área foliar. Se concluyó que "LOM10" podría usarse como fertilizante, aumentando el rendimiento del maíz por encima del tratamiento comercial en condiciones sustentables.

PALABRAS CLAVE

Lodos; Biofertilizante; Carbono; Humus de lombriz.

INTRODUCCIÓN

Cultivos como frijol, maíz, sorgo y garbanzo son de importancia socioeconómica en Sinaloa, con una superficie sembrada de 27,753,271.85 ha, a nivel nacional y un valor de producción de 38.8 millones de dólares, Sinaloa sembró 538,971 ha de maíz, es primer lugar nacional en superficie, rendimiento y rentabilidad. El clima, los suelos irregulares, las malas prácticas agrícolas, los materiales mal adaptados, los insumos innecesarios y otros factores limitan el potencial productivo. Con una conversión sustentable, los productos bio agropecuarios in situ, reducen costos, un nivel adecuado

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

de nitrógeno según Díaz-Valdez, et al. (2014) maíz requiere de 477 kg de N para un rendimiento de 9.9 ton/ha.

Como rendimiento máximo, también tasa de N:430, fue de 9.4 ton/ha, coincide con Sifuentes-Ibarra et al. (2015) aplicaron N:430, P:60, K:80. Por otra parte (Negrin y Jiménez, 2012) evaluaron el efecto de los “biosólidos” y obtuvieron 9 ton/ha en maíz, concluyendo que los “biosólidos” son seguros para el ambiente y la salud humana en los EE.UU. Utilizados en conjunto con fertilizantes, reducen la dosis de fertilizantes químicos. (Ozores y Méndez, 2010), utilizaron un biosólido en el cultivo de ajo en combinación con la fertilización química. aplicaron 25 ton de biosólidos, obtuvieron calidad similar a 170 kg/ha de N y 32 kg/ha de S, libre de *E. coli* y *Salmonella* sp. en los bulbos (Grosso, 2014), obtuvieron biosólido al 70% con Urea al 30%, resultando niveles adecuados para EPA, en tratamientos prebióticos de activación del microbioma reportan captura de carbono de la atmósfera mejorando la salud del suelo y reduciendo metales (Fernández de las Nieves, 2022.). Por todo lo anterior el objetivo del presente trabajo fue evaluar el rendimiento de maíz tratado con biosólidos para determinar la viabilidad de su uso en la agricultura de Sinaloa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en la Universidad Tecnológica de Culiacán, Sinaloa, México, con coordenadas (24°86'21, 107°34'51). La temperatura media anual oscila en 24.7 °C, y la precipitación pluvial en 683 mm. Para cada ciclo agrícola se utilizó el híbrido “P3265w” de la empresa Pioneer®, se repitió el experimento con biosólidos en los años 2020, y 2021. Para determinar la dosis y beneficio de uso de este material proveniente del desecho del tratamiento de aguas residuales, la siembra se estableció de 80 mil plantas por hectárea. En todos los ciclos. En 2020 se establecieron cuatro tratamientos: testigo químico 450 N, 25 t de biosólido “temperizado” o seco, 50 t de biosólido seco y 50 t de biosólido húmedo. El año 2021 se aplicaron tres tratamientos: Tratamiento testigo “TEST” 450N, 10 t humus de lombriz “LOM10”, 10 t Biosólido seco “BIO10”, en ambos experimentos fue un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones de cada tratamiento con 10 plantas de maíz como réplicas por tratamiento, la superficie evaluada fue de 5 mt del surco central, más dos surcos para efecto de borde, distribuidos a una distancia de 0.8 mt entre surcos, tratamientos con un total de 28.8 m² por tratamiento total.

El primer año se estableció un tratamiento tradicional de 450 unidades de nitrógeno como testigo comercial, de acuerdo al análisis de suelo, se aplicó en la marca 50% kg de N h⁻¹, a los 30 días de la siembra se complementó con 25% de N (durante el desarrollo vegetativo) y los restantes 25% de N en el floración, la fuente de nitrógeno fue Urea (N 46%), en el caso de manejo de biosólidos correspondió a la incorporación de 50 t h⁻¹ de producto seco en la marca, que aportó de acuerdo al análisis 513 kg de N h⁻¹, 205 de P, 110 de K, el segundo tratamiento de 25 t h⁻¹ de Biosólido seco que aportó 205 kg de N h⁻¹, 82 de P y 22 de K, y 50 toneladas biosólido húmedo, como prueba para descartar el largo proceso de temperización y determinar posible uso inmediato del material húmedo, los tratamientos recibieron fertilización en el momento de la preparación del suelo.

El tratamiento “LOM10” recibió además 10 ton/ha de lombricomposta, aportando N:450, y el tratamiento “BIO10” recibió 10 ton/ha de biosólido, que aportaron N:450.

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

El tratamiento "TEST" que aportaron N:450 en forma de urea. Se analizó el contenido de clorofila foliar con un equipo Medidor de clorofila Konica Minolta SPAD 502DL Plus, altura de planta con flexómetro, diámetro de tallo con vernier digital, peso de raíz, peso de mazorca báscula digital Ohaus Scout SJX622N/E, número de líneas de granos, granos por hilera, peso de 100 granos, densidad y peso de 100 granos, y rendimiento. El índice de área foliar (IAF) se calculó con la fórmula: $IAF=IA/P$: donde IA= área foliar modelo (m²) (IA= Largo x Ancho x 0,75), y P= área ocupada por la planta en m². Los datos se analizaron estadísticamente utilizando SAS. Tukey (0,05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del ciclo 2020 mostraron parámetros de crecimiento de maíz como diámetro tallo, altura y área foliar fueron de menor a mayor en testigo, 25 t seco, 50 t húmedo y 50 t seco respectivamente. una respuesta similar en peso de mazorca se observa que el tratamiento 50 t seco fue el mayor lo que discrepa de Díaz-Valdez, *et al.* (2014) quienes determinaron que con 450N se tendría el mayor rendimiento, en este caso el biosólido rebasó al tratamiento químico.

Cuadro 1. Análisis de características fenológicas, rendimiento de los tratamientos 2021.

Variable	Biosólido (BIO10)	Lombricomposta (LOM10)	Testigo (TEST)
Clorofila NDVI	51.1a*	39.6 b	39.7 b
Altura m	3.18 ab	3.23 a*	3.04 c
Grosor de tallo mm	13.3 a*	12.9 ab	12.6 b
Peso mazorca gr	174 ab	192 a*	172 ab
Peso raíz gr	57 a*	47.9 c	37.6 d
Granos por línea	29.2 a*	28.2 a	19 b
Líneas de grano	16.4a	15.6 a	15.2 a
Peso de 100 granos gr	46.5 a	48.5 a	33.7 b
Largo de hoja cm	89.6 ab	90.6 ab	92.3 a*
Ancho de hoja cm	5.5 b	6.2 ab	6.4 a*
Área foliar cm ²	324 b	366 ab	383 a*
Kg maíz ha	9,913	10,145	6,729

*Datos comparados en SAS que muestran una diferencia significativa con la prueba de Tukey 95%.

Los resultados 2021 para clorofila de hoja arrojó el "BIO10" como el mejor ya que se obtuvo un mayor desarrollo, vigor y color de la planta, concuerdan con Díaz-Valdez, *et al.* (2014) quienes obtienen el mejor resultado. Para altura de planta hubo diferencia estadística en tratamientos para "LOM10", el grosor del tallo para "BIO10" una mejor robustez, también el peso de mazorca, lo cual coincide con Sifuentes-Ibarra *et al.* (2015) quienes comentan que un riego eficiente incrementó el peso de las raíces y una mejor ganancia de nutrientes, el "TEST" fue el más bajo en todos los parámetros, por lo que según (Ozores y Méndez, 2010) los biosólidos se pueden combinar para reducir las dosis de fertilizantes químicos, en granos por línea y líneas por mazorca no hubo diferencia significativa, y podemos considerar que se debe a que el genotipo es el mismo, en el peso total de 100 granos de maíz por mazorca todos superaron al "TEST" como lo menciona (Grosso, 2014) que fertilizar 25 ton de biosólidos aportó lo mismo que N:175, (Cuadro 1).

División 4

CONCLUSIONES

El tratamiento "BIO10" cuyo costo es cero por su origen, es un desecho de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Culiacán, obtiene el mejor rendimiento del maíz, los parámetros analizados fueron mayores los tratados con estos "biosólidos", muy superior al testigo comercial e incluso al tratamiento con lombricomposta, concluimos por la literatura consultada como suficiente evidencia que no hay problemas de contaminación microbiológica ni de metales pesados, este proyecto se presenta como una solución sustentable para el entorno de contaminación por químicos en Sinaloa, además con mejores ingresos para el agricultor.

BIBLIOGRAFÍA

- Díaz Valdés, Tomás, Partidas Ruvalcaba, Leopoldo, Suárez Fernández, Yolanda E., Lizárraga Jiménez, Ramón, y López López, Ángel. 2014. Uso eficiente del agua y producción óptima en maíz, con el uso de cuatro dosis de nitrógeno. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(1), 32-36.
- Fernández de las Nieves, I. 2022. Informe de ensayo, basado en métodos de RMN avanzados y catalizadores basados en metales. Universidad de Almería. España. FQM-376.
- Grosso, L., Salusso, F., Ramos, D., Crespi, R. y Pugliese, M. 2014. Respuesta de un cultivo de ajo regado con efluentes urbanos tratados, aplicación de biosólidos y fertilización líquida. *Horticultura Argentina* 33(81):5-13.
- Negrin, B., A. y Jiménez, P., Y. 2012. Evaluation of the agronomic effect of biosolids from a wastewater treatment by anaerobic digestion of livestock waste in bean (*Phaseolus vulgaris* L) crop. *Cultivos Tropicales*, 33(2), 13-19.
- Ozores-Hampton, M. y Mendez, J. 2013. Uso de biosólidos en producción de hortalizas. Universidad de Florida. IFAS. Extensión. Publicación HS 1183. Topics: Horticultural Sciences/Biosolids/Vegetable Production
- Sifuentes-Ibarra, E., Macías-Cervantes, J., Ruelas-Islas, J. R., Preciado-Rangel, P., Ojeda-Bustamante, W., Inzunza-Ibarra, M. A., y Samaniego-Gaxiola, J. A. 2015. Mejoramiento del grado de uso del nitrógeno en maíz mediante técnicas parcelarias de riego por superficie. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(8), 1903-1914.

CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA EN LA PRODUCCIÓN AGROECOLÓGICA DE DURAZNO CRIOLLO EN URUACHI, CHIHUAHUA

Juan Manuel Herrera-Lazo^{1*}; Teresita de Jesús Ruíz-Anchondo¹; Rafael Ángel Parra Quezada²; Armando Quintero Ramos³; Ana María de Guadalupe Arras Vota¹; Ricardo Beltrán Chacón⁴

¹Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Av. Pascual Orozco s/n, Campus 1, Santo Niño, Chihuahua, Chihuahua, México. C. P. 31160. ²Extensión Cuauhtémoc-Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Av. Presa de la Amistad # 2015, Cuauhtémoc, Chihuahua, México. C. P. 31510. ³Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias Químicas, Circuito Universitario s/n. Campus Universitario #2, Chihuahua, Chihuahua, México. C.P.31125. ⁴Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C., CIMAV, Chihuahua, Chihuahua, México. C. P. 31136
*Autor para correspondencia: juan.hl@chihuahua2.tecnm.mx

RESUMEN

La calidad del durazno (*Prunus persica* L. Batch) es influenciada por las condiciones edafo-climáticas en los sitios de producción. Por lo tanto, el objetivo del estudio fue realizar la caracterización climática, y factores abióticos que impactan la calidad del durazno criollo amarillo (DCA) producido en la Sierra Tarahumara en cuyo caso se presenta, la comunidad de Rocoroybo, Uruachi. Se tomaron variables como la precipitación pluvial, promedio de temperaturas máximas y mínimas, temperatura ambiente (Tamb), humedad relativa (HR), horas luz (HL) y horas frío (HF), grados días acumulados (GDA), integral térmico eficaz (ITE), integral térmico activo (ITA) y radiación solar de onda corta (RSOC). Además, se evaluaron características del fruto como peso, tamaño, color, firmeza, pH, sólidos solubles (SST), acidez titulable (AT), índice de madurez (SST/AT), características que permitirán determinar su calidad. Se seleccionaron en 2023 muestras aleatorias del DCA en la localidad de Rocoroybo. Los resultados indican que la región presenta un clima templado subhúmedo con una precipitación anual promedio de 787 mm, con temperaturas promedio: máxima 31.39 °C, mínima 11.29 °C y ambiente 12.85 °C. El DCA pesó 62.28 g, tuvo un diámetro de 48.99 mm y una firmeza de 4.6 kg/cm², con 13.32 °Brix, su acidez 0.750 fue alta y su relación SST/AT de 17.92 resultó agridulce. El pH fue de 4.83, el color fue más intenso con °Hue de 76.78. La caracterización edafoclimática muestra como el suelo y el clima impactan la calidad del DCA en Chihuahua, además de identificar el mesoclima de zonas frutícolas potenciales.

PALABRAS CLAVES

Agroecología, Firmeza, Grados brix, *Prunus persica*.

INTRODUCCIÓN

En el municipio de Uruachi, en la Sierra Tarahumara del estado de Chihuahua, que limita con los municipios de Moris, Ocampo, Maguarichi, Guazapares y Chínipas, así como con el estado de Sonora, cuenta con una extensión de 3,058.3 km² y está a 373 km al suroeste de la capital del estado.

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

La cabecera municipal está a 333 km de la capital, y Rocoroybo a 19.9 km al norte del municipio de Uruachi. La precipitación pluvial varía de 670 a 1,129 mm. Los datos de altimetría con un alto rango de altitudes, que van desde 200-1,000 msnm en la parte occidental del municipio, colindando con Sonora altitudes medias entre 1,000 y 2,000 msnm en la mayoría del municipio y lugares muy altos arriba de 2,000 msnm en la parte noreste del municipio, la temperatura media anual es de 21°C.

El municipio cuenta con una gran variabilidad de suelos. Entre los más comunes están el Cambisol y Leptosol, siendo el Fluvisol el menos común. También se encuentran el Regosol y Phaeozem en algunas localidades del municipio. De acuerdo con los tipos de suelo presentes, el municipio, tiene un bajo potencial para la agricultura, ya que la mayoría de los suelos son delgados y con baja fertilidad.

El durazno se produce durante todo el año, acumulando HF entre 0 y 7.2°C. Los genotipos criollos mexicanos requieren entre 250 y 650 HF. En Chihuahua se cultivan 2,520 ha de durazno con una producción de 30,394 t, no existen datos registrados sobre el durazno criollo (SIAP, 2024). Los duraznos criollos, cultivados en huertos traspatio y bajo condiciones de temporal, enfrentan un gran problema con la cantidad de frutos que se desperdician. Aunque algunos se usan para conservas, así como compostaje, su diversidad genética ofrece oportunidades para mejorar la calidad de la fruta. Sin embargo, la falta de información sobre el manejo postcosecha limita su aprovechamiento. El municipio de Uruachi, ocupa el lugar 9 en marginación estatal, enfrenta alta marginación y baja productividad agropecuaria, con poca información disponible sobre el sector en la Sierra Tarahumara (Jurado *et al.*, 2022). El objetivo de la presente publicación fue caracterizar los parámetros climáticos, físicos y químicos con el fin de evaluar la calidad del DCA en la comunidad de Rocoroybo, Uruachi. Los resultados proporcionados beneficiaran a los productores del sector frutícola con información relevante del fruto para su industrialización, transformación y la creación de nuevos productos con valor agregado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y características geográficas del área de estudio en Rocoroybo, Uruachi

Se utilizó la estación meteorológica ubicada en Moris (28°8'50.38' 108°31'19.66'), que se encuentra a 57.9 km de distancia de Rocoroybo (Figura 1). Se calcularon los promedios de los datos climáticos de los últimos 5 años registrados desde 2018 al 2022 de distintas base de datos (Conagua y NOAA).

División 4

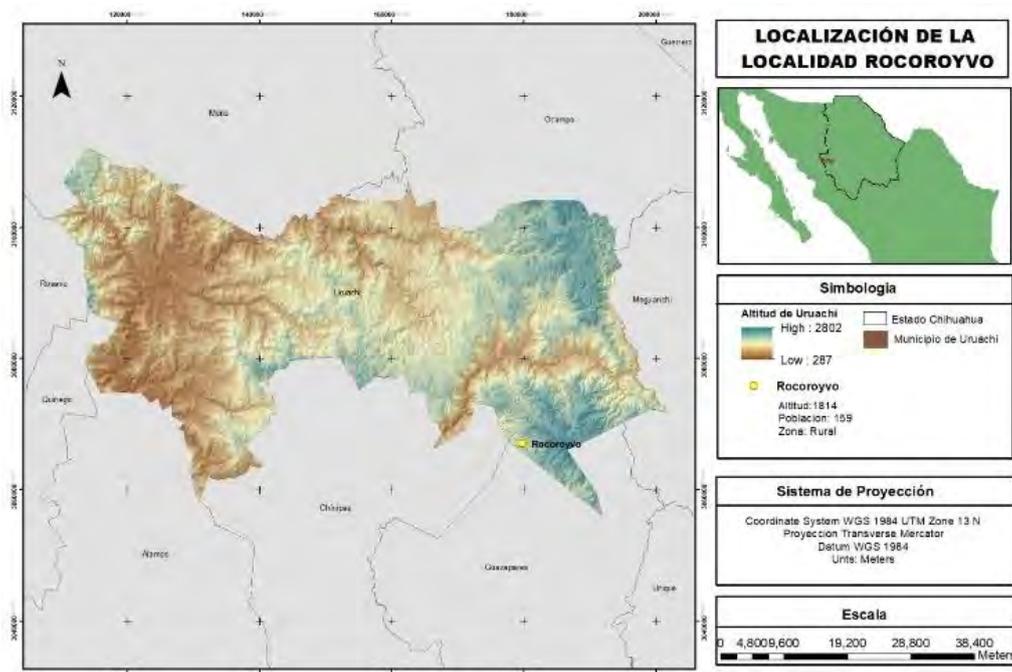


Figura 1. Localización de Rocoroybo en el municipio de Uruachi, Chihuahua.

Recolección de muestras y diseño de muestreo

El 29 de septiembre de 2023 se recolectaron 50 duraznos del DCA. Las muestras se recolectaron en Rocoroybo, Uruachi (27.687156°N, -108.246467°O), 1809.4 ± 30 msnm y se trasladaron al laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas en la Universidad Autónoma de Chihuahua para su análisis.

Peso del fruto

Se crearon cinco grupos de DCA, y en cada grupo se incluyeron cinco duraznos. Se pesó cada durazno usando una báscula digital Truper BASE-5EP con capacidad de 5000 g y precisión de 0.1 g.

Diámetro ecuatorial

Se midió el diámetro ecuatorial de cada durazno con un calibrador vernier digital con un rango de medición de 0-150 mm y precisión de ± 0.2 mm.

Firmeza

Se utilizó un penetrómetro analógico para frutas Wilson FT 327 para medir la firmeza de los duraznos, con un rango de medición de 0-10 kg/cm² y precisión de ± 0.2 kg/cm². Se realizaron dos pruebas por durazno en cada mejilla opuesta y el promedio de las mediciones se utilizó como resultado. La firmeza se reportó en kg/cm².

Contenido de azúcar

Se maceraron 5 frutos por repetición y se extrajo el jugo. Luego, se midió el contenido de azúcar con un refractómetro digital con compensación automática de temperatura (ATC) y un rango de medición de 0-32% (modelo PN 90681). Se aplicaron gotas de jugo en el prisma del refractómetro, se registró la lectura en %Brix, y el análisis se realizó según la metodología A.O.A.C. (1990).

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Índice de color de la piel del durazno

Se midió el color de la piel del durazno usando el método CIELAB con un colorímetro Minolta CR-400/410. Los parámetros de color medidos fueron L^* , a^* , y b^* , y se calcularon el Croma (C^*) y el Hue ($^{\circ}H$).

Acidez titulable

Se tomaron 10 ml del jugo de 5 frutos, se agregaron 4 gotas de fenolftaleína como indicador y se tituló con 0.1 N de hidróxido de sodio (NaOH) hasta el cambio de color. La relación azúcar/acidez es un parámetro importante en la evaluación de la calidad de las frutas.

Análisis de pH

Se usó un medidor pH Marca Denver Instrument Modelo UB-5 Ultrabasic, con una precisión de 0.005 pH, para medir acidez o alcalinidad en las muestras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del análisis de datos obtenidos mediante la estación meteorológica a lo largo de varios años, se determinó que el clima en Rocoroyvo, Uruachi, es templado subhúmedo, clasificado como tipo Cw según la clasificación climática de Köppen, este tipo de clima se caracteriza por lluvias en verano.

La caracterización climática del sitio de estudio mostró una precipitación promedio anual de 787 mm, con un rango de 608 a 985 mm, y un promedio de 59 días de lluvia al año (16.16% del tiempo). Se registraron temperatura máxima promedio de 30.63°C, mínima de 11.85°C y ambiente de 13.13°C, con 12.15 horas luz diarias en promedio, con una temperatura media anual de 21.33°C y humedad relativa promedio de 54.52%. Los datos completos se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Variables climáticas registradas en Rocoroybo del periodo 2018-2022 (NOAA, 2024)

Año	Precipitación (mm)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tamb (°C)	GDA	Ta (°C)	ITE	HF	HL	HR (%)	RSOC
2022	608.5	32.73	12.69	13.08	15.71	22.71	15.71	581	12.15	54.69	21.83
2021	695.49	31.55	11.76	13.18	14.66	21.66	14.66	784	12.15	51.69	21.42
2020	835.25	31.61	10.17	12.11	13.89	20.83	13.83	808	12.15	51.5	21.26
2019	985.13	30.73	11.08	13.1	13.91	20.91	13.91	888	12.15	58.19	20.89
2018	812.57	30.35	10.76	12.8	13.56	20.55	13.55	559	12.15	56.56	21

El Cuadro 2 presenta una comparación de parámetros fisicoquímicos del DCA. El DCA tuvo un peso promedio de 62.28 g, similar a los 63.43 del durazno amarillo criollo en Tlaxcala. Su diámetro promedio fue de 48.99 mm, comparado con 47.17 mm y 53.1 mm de las variedades amarillo criollo y Escarcha (Vázquez-Cuecuecha *et al.*, 2023).

La firmeza fue de 4.6 kg/cm², en comparación a 3.3 kg/cm² y 1.27 kg/cm² para clon Victoria y Desert Gold (Zegbe-Domínguez *et al.*, 1999).

El DCA presentó 13.32 °Brix, de acuerdo con los 14.6 °Brix de Victoria, y superiores a 10.53-12.75 °Brix de la variedad Ana (Meraz *et al.*, 2020). Su acidez fue de 0.75, comparada con 0.25 y 0.35 de amarillo criollo y Escarcha (Vázquez-Cuecuecha *et al.*, 2023). La relación SST/AT de 17.92 clasifica al DCA en el rango de frutos agridulces, según Nowicka y colaboradores (Nowicka *et al.*, 2019). El pH del DCA fue de 4.83, similar al amarillo criollo (4.5) y Escarcha (4.3), con un °Hue mayor de 76.78 comparado con 75 para Victoria (Meraz *et al.*, 2020).

División 4

Cuadro 2. Comparación del DCA con otras variedades de durazno.

Parámetro	DCA (Rocoroybo)	Amarillo criollo (Tlaxcala)	Escarch a	Victori a	Ana	Desert Gold	Referencia
Peso (g)	62.28	63.43	-	-	-	-	(Vázquez- Cuecuecha <i>et al.</i> , 2023)
DE (mm)	48.99	47.17	53.1	55.9	-	-	(Zegbe- Domínguez <i>et al.</i> , 1999)
Firmeza (kg/cm ²)	4.6	-	-	3.3	-	1.27	(Meraz <i>et al.</i> , 2020)
°Brix	13.32	10.53	11.43	14.6	10.53- 12.75	-	(Meraz <i>et al.</i> , 2020)
AT	0.750	0.25	0.35	-	-	-	(Vázquez- Cuecuecha <i>et al.</i> , 2023)
SST/AT	17.92	46.4	33.67	-	-	-	(Meraz <i>et al.</i> , 2020)
pH	4.83	4.5	4.3	-	-	-	(Meraz <i>et al.</i> , 2020)
°Hue (color)	76.78	-	-	75	-	-	(Meraz <i>et al.</i> , 2020)

CONCLUSIONES

El clima templado subhúmedo de Rocoroyvo, puede considerarse óptimo para la producción de durazno criollo, adaptado a las condiciones edafoclimáticas. Con una precipitación adecuada y temperaturas moderadas, favorece el desarrollo del DCA, lo que influye en su calidad. A pesar de las condiciones climáticas y la baja fertilidad de los suelos, el DCA presentó valores de SST y AT que lo clasifican como un fruto agridulce. Su firmeza y color intenso lo hacen atractivo para su aprovechamiento industrial y comercial. La caracterización del DCA contribuirá a la creación de productos con valor agregado. Se requieren más estudios del DCA para evaluar el impacto postcosecha en la calidad del fruto.

BIBLIOGRAFÍA

- Jurado, G. P., Lara, C. R., Royo, M. H., Alvarez, A., Ochoa, J. M., & Sosa, G. (2022). *Diagnóstico Técnico-Productivo del PRODETER "Uruachi" en la Sierra Tarahumara de Chihuahua: Vol. Publicación Especial Núm. 14*. Campo Experimental La Campana-CIRNOC-INIFAP. Aldama, Chihuahua.
- Meraz, V. M., Zegbe, J. A., Montes, M. R. F., & Aguilera, A. J. M. C. (2020). Caracterización de genotipos de durazno como alternativa para ampliar la oferta de comercialización en fresco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(7), 1661-1667. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i7.2089>
- NOAA, U. D. of C. (2024). *ESRL Global Monitoring Laboratory – Global Radiation and Aerosols*. <https://gml.noaa.gov/grad/solcalc/calcdetails.html>
- Nowicka, P., Wojdylo, A., & Laskowski, P. (2019). Principal component analysis (PCA) of physicochemical compounds' content in different cultivars of peach fruits, including qualification and quantification of sugars and organic acids by HPLC. *European Food Research and Technology*, 245, 929-938. <https://doi.org/doi.org/10.1007/s00217-019-03233-z>

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- SIAP. (2024). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera | Gobierno | gob.mx. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola>
- Vázquez-Cuecuecha, O. G., García-Gallegos, E., & Chávez-Gómez, J. A. (2023). *Caracterización física y química de los frutos de tres variedades de Prunus Persica L. Batsch en Tlaxcala*. Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i5.3197>.
- Zegbe-Domínguez, J. A., Rumayor-Rodriguez, A. F., Reveles-Torres, L. R., & Perez-Barraza, M. H. (1999). «Victoria» a native clingstone peach (*Prunus persica* L.) clone for Zacatecas. *Rev. Fitotec. Mex.*, 22, 227-235.

División 4

El Papel de los Suelos en el Sostenimiento de la
Sociedad y el Medioambiente

ESTIMACIÓN DE LA RESPIRACIÓN DEL SUELO CON LA TECNOLOGÍA NIR Y LA QUIMIOMETRÍA

Andrea Mejía-Martínez¹; Armando Guerrero-Peña²

¹Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Suelos, km 38.5 carr. México-Texcoco Apartado Postal 45.

²Colegio de Postgraduados – Campus Tabasco. Laboratorio Agroindustrial, Suelos, Planta y Agua. Perif. Carlos A. Molina S/N km 2.5 carret. Cárdenas - Huimanguillo.

Autor de correspondencia: garmando@colpos.mx

RESUMEN

Para medir la respiración la Red Mundial de Laboratorios de Suelos se armonizó el método GLOSOLAN-SOP-18 “*Soil respiration rate*”, en el cual el suelo se somete a un proceso de incubación durante tres días, en un sistema cerrado, donde el CO₂ emitido durante la mineralización del material orgánico reacciona con hidróxido de sodio. La espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) es una técnica basada en la interacción materia-energía; donde es posible estudiar propiedades físicas, químicas y biológicas sin provocar modificaciones en ellas y el tiempo de análisis es de minutos. En el presente trabajo, fueron estudiadas muestras de suelo de la región de Los Ríos, Tabasco, México bajo la hipótesis de que los espectros del NIRS proporciona suficiente información para establecer modelos de medición de respiración del suelo, con resultados similares a los obtenidos con el método de referencia. Con los resultados obtenidos se demostró que la NIRS proporciona suficiente información para establecer modelos de medición de respiración del suelo, con resultados similares a los obtenidos con el método de referencia.

PALABRAS CLAVE

Actividad microbiana del suelo; Regresión por mínimos cuadrados parciales; Mineralización del carbono del suelo.

INTRODUCCIÓN

La respiración del suelo es de interés para los científicos que estudian la dinámica de la atmosfera y el funcionamiento del sistema terrestre, debido a que la respiración del suelo está asociada con los procesos como la mineralización y aportación de nutrientes y tiene una participación crítica en la regulación del CO₂ atmosférico y la dinámica climática del sistema terrestre (Luo y Zhou, 2006).

La Red Mundial de Laboratorios de Suelos armonizo el método GLOSOLAN-SOP-18 “*Soil respiration rate*” (GLOSOLAN, 2023), en el cual el suelo se somete a un proceso de incubación durante tres días, en un sistema cerrado, donde el CO₂ emitido durante la mineralización del material orgánico, reacciona con una solución alcalina (NaOH) estandarizada (ver la reacción). La cantidad de CO₂ adsorbido es equivalente a la cantidad de NaOH consumido. Para la determinación el carbonato es precipitado con cloruro de bario y el NaOH remanente titulado con ácido clorhídrico estandarizado.



En el método armonizado por la GLOSOLAN para medir la respiración se requiere tres días de incubación cuando la muestra de suelo es recientemente tomada, o hasta 13 días cuando es una muestra de suelo almacenada por meses. Esto significa que para la obtención del dato de respiración se requiere días o más de una semana.

Una de las tendencias de la Química Analítica es resolver el problema planteado con el mejor esfuerzo posible, con métodos que no destruyen la muestras, no generan residuos de laboratorio y el tiempo de análisis es de minutos; con resultados similares a los métodos convencionales (Guerrero-Peña *et al.*, 2023). La espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) es una alternativa para lo anterior, ya que es una técnica basada en la interacción materia-energía; donde es posible estudiar propiedades físicas, químicas y biológicas sin provocar modificaciones en ellas. Los espectros que se obtienen son interpretados mediante técnicas quimiométricas.

En el presente trabajo, muestras de suelo de la región de Los Ríos, Tabasco, México fueron procesadas bajo la hipótesis de que los espectros NIR proporciona suficiente información para establecer modelos de medición de respiración del suelo, con resultados similares a los obtenidos con el método de referencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de Muestreo. El estudio se realizó con un diseño descriptivo, retrospectivo, prospectivo, transversal y no experimental (Méndez-Ramírez, Namihira, Moreno y Sosa, 2014), en la zona de los Ríos en Tabasco, México, está integrada por tres municipios de Balancán, Emiliano Zapata y Tenosique, y ocupa el 24.7% del estado de Tabasco); de acuerdo con Aceves-Navarro y Rivera-Hernández (2019) el clima dominante es cálido húmedo, con una temperatura promedio de 27 °C y una precipitación promedio de 1800 mm distribuidos a lo largo del año. Salgado-García *et al.* (2017) mencionan que el paisaje es de terrazas costeras y montañas Kárticas. El Cambisol es uno de los suelos que mayor superficie agropecuaria ocupa en la zona de estudio.

Muestreo de Suelos. Las muestras proceden de 48 sitios de muestro de dos hectáreas cada uno de ellos. Sitios seleccionados con base en la propuesta de Ramírez-García *et al.* (2022) cuando estudió los cambios de uso del suelo. El muestreo fue realizado con un diseño probabilístico sistemático en dos direcciones semi-alineado en zigzag, con 15 sub muestras por muestra compuesta y a una profundidad de muestreo de 30 cm y se llevó 1 kg de muestra al laboratorio.

Las muestras de suelo se secaron al aire y a temperatura ambiente y se molieron y se tamizaron a través de una malla número 10 (2 mm) para la determinación de la respiración del suelo con el método GLOSOLAN-SOP-18 "Soil respiration rate" (GLOSOLAN, 2023) y la obtención de los espectros con el espectrofotómetro de infrarrojo cercano (NIRS).

Respiración del suelo. Para medir la respiración se utilizó el método GLOSOLAN-SOP-18, armonizado por la Red Mundial de Laboratorios de Suelos (GLOSOLAN, 2023). El método se fundamenta en la captura de CO₂ con una solución alcalina y la titulación del exceso de hidróxido de sodio con ácido clorhídrico.

Debido a que los suelos fueron colectados meses antes, se procedió a su reactivación; para ello se colocaron en un frasco de 100 mL con tapa ancha, 20 g de suelo (seco, molido y tamizado a 2 mm) y se les agregó agua hasta alcanzar la capacidad de campo. Las muestras permanecieron durante 10 días a una temperatura de 25 °C. La humedad se mantuvo durante los 10 días controlando el peso.

Después de la activación del suelo, se procedió a la incubación para medir la respiración. En un frasco de 1000 mL con boca ancha se colocaron dos frascos de 100 mL: un frasco con 1 g de suelo y otro con 20 mL de NaOH 0.05 M, inmediatamente se procedió a cerrar el frasco de 1000 mL y sellarlo con Parafilm. La incubación se realizó a una temperatura de 25 °C durante tres días. En la incubación se incluyeron blancos de reactivos.

Luego de tres días se abrió cada frasco y se adicionaron 5 mL de BaCl (0.5 M) y tres gotas de indicador fenolftaleína. Se adicionó HCl 0.05 M (estandarizado) y con agitación suave se realizó la titulación hasta el cambio de color de rojo a incoloro. Se registró el consumo de HCl y se procedió al cálculo con la ecuación siguiente:

$$\text{Respiración del suelo (mg CO}_2\text{/g suelo seco)} = \frac{(B-S) \times E}{W}$$

donde

B = volumen de HCl usado en la titulación del blanco (mL).

S = volumen de HCl usado en la titulación de la muestra (mL).

W = peso de suelo seco (g)

E = CO₂ equivalente (en este caso 1:1, factor de conversión debido al HCl 0.05 M).

Análisis de los Suelos y Obtención de Espectros NIR. Se utilizó un espectrofotómetro marca Foss (modelo Versatile Agri Analyzer 6500 System II Vertical Type 461008). El equipo cuenta con una celda de cuarzo de 24 cm³, para llenarse con 50 g de suelo

El rango espectral fue de 400 a 2498 nm, con intervalos de registro cada dos nanómetros, lo que produce un espectro de 1050 datos. El espectrofotómetro cuenta con detectores de silicio y PbS, con los cuales se obtiene este rango espectral.

Para la obtención de los modelos de medición de la respiración de los suelos se utilizó una regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS, siglas en inglés). Para lo cual se utilizó el programa Pirouette 4.11 de Infometrix.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respiración del suelo. En la Figura 1 se presentan las estadísticas de la respiración de los suelos estudiados.

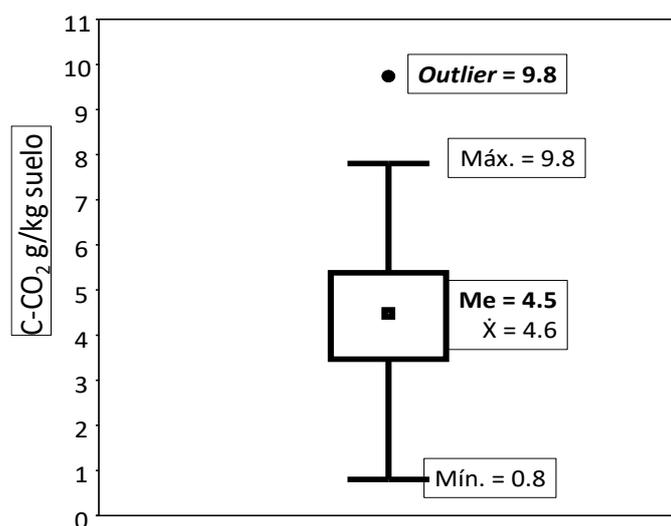


Figura 1. Presentación de la estadística descriptiva con un diagrama de caja y bigote.

Los valores de respiración del suelo tuvieron un promedio de 4.58 (mg CO₂/g de suelo seco), una desviación estándar de 1.67, con un valor mínimo de 0.80, el valor máximo fue 9.75, con un rango de 8.95. Los datos presentan distribución normal basado en los valores del coeficiente de asimetría (0.57) y la curtosis (1.09), además de que los valores de la media y la mediana están muy cercanos; cuando se incluye un valor identificado como atípico en el diagrama de caja y bigote (9.75 mg CO₂/g de suelo seco). Este valor atípico no se eliminó, solo se verificó (por repetición del análisis) que el dato fuera correcto; su inclusión contribuye a que el rango del modelo de medición sea más amplio.

Espectros NIR. En la Figura 2 se presentan los espectros de las 48 muestras de suelo de la región de los Ríos. En general los espectros NIR presentan una estructura similar, a excepción de la muestra con una tasa de respiración de 8.95 mg CO₂/g de suelo seco, cuyo espectro se presenta separado del grupo en la parte inferior de la figura.

La diferencia espectral y la tasa de respiración confirma que se trata de una muestra diferente al grupo, pero que no se debe eliminar ya que no afecta la capacidad de modelación, y a su vez es necesaria para incluir suelos que por su naturaleza puede presentar en la aplicación futura del modelo de medición. Adicional se repitieron los análisis para comprobar que el dato es correcto.

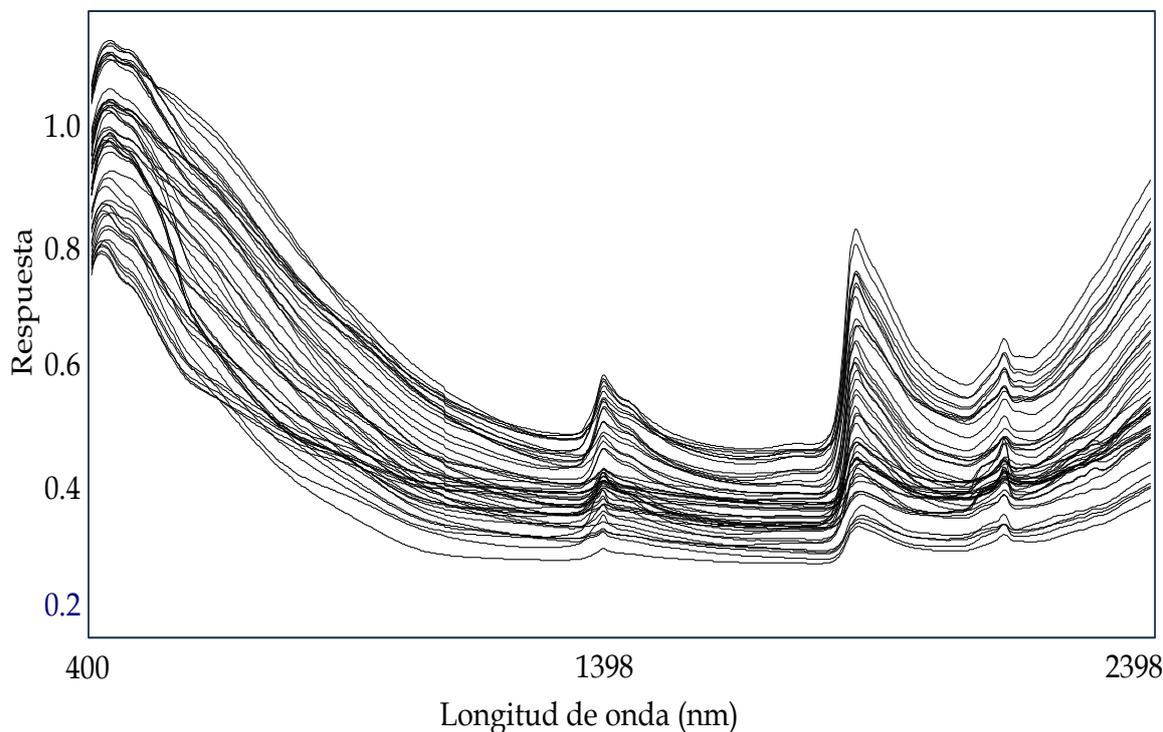


Figura 2. Huellas espectrales NIR de las muestras de suelo.

Estadísticos de la validación. El modelo de medición (PLS) seleccionado se construyó con los espectros de las 48 muestras de suelo más los valores de la respiración ($\text{mg CO}_2/\text{g}$ de suelo seco); la matriz de datos espectrales fue de 50400 (1050×48), más los 48 valores de referencia (variable dependiente). Los datos se transformaron mediante: *normalize (1.000)*, *divide by 1-norm*, *log10*, *1st derivative* y *2nd derivative*. En la construcción del modelo de medición se utilizaron seis factores.

En la Figura 3 se presenta la correlación entre los valores obtenidos con el método de referencia (GLOSOLAN, 2023) y el valor de la respiración estimado por el modelo de medición PLS seleccionado; lo cual, junto con la validación del modelo el error estándar de calibración fue de 0.2470, el error estándar de validación cruzada de 2.5020 y la r^2 de calibración de 0.9904, se confirma lo observado en la Figura 3. El coeficiente de correlación es mayor a lo establecido por Saha (2017) para considerar el modelo como excelente para hacer mediciones.

El límite para considerar un tamaño de muestra grande es que sean 30 o más (Martín, 2000). Al ser 48 muestras las que se incluyeron en la construcción del modelo de medición de la respiración podemos concluir que la variable respiración de suelo puede modelarse. Lo anterior es importante porque ahora se debe aumentar la capacidad del modelo para su aplicación en muestras de otras regiones que presenten suelos con características diferentes a las que actualmente se consideraron.

División 4

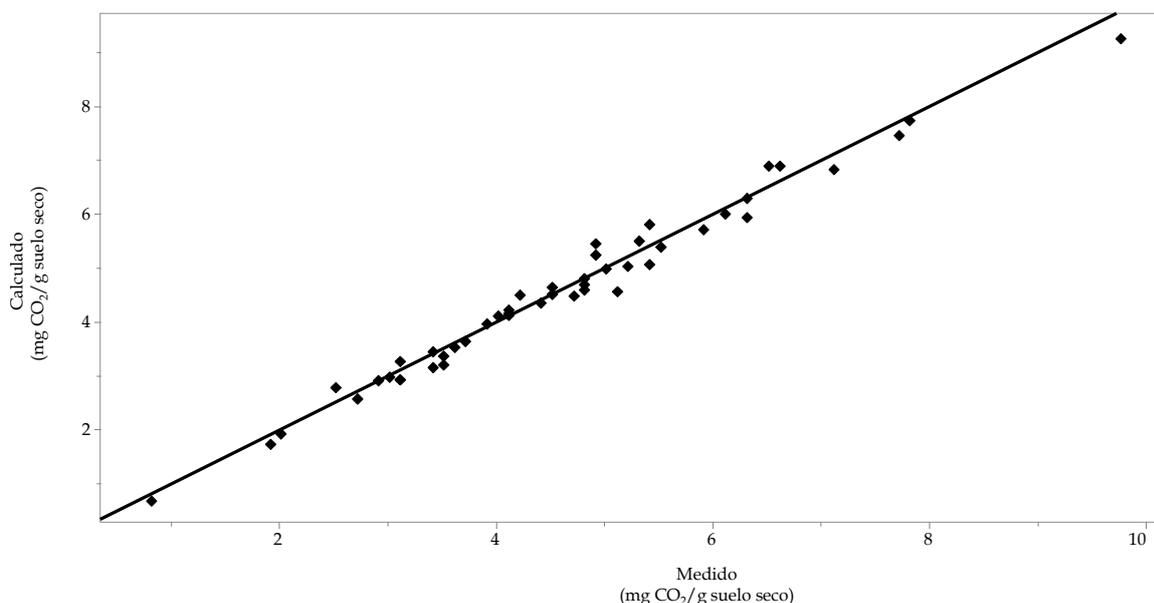


Figura 3. Comparación de los valores medidos y los calculados por el modelo de medición de la respiración de los suelos de la región de Los Ríos, Tabasco, México.

CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos se demostró que la tecnología NIR proporciona suficiente información para establecer modelos de medición de respiración del suelo, con resultados similares a los obtenidos con el método de referencia. Lo anterior fue demostrado con los estadísticos (coeficiente de correlación) y la representación gráfica de la tasa de respiración.

BIBLIOGRAFÍA

- GLOSOLAN. 2023. Standard operating procedure for soil respiration rate. Global soil laboratory network (GLOSOLAN-FAO). Roma, Italia. 16 pp. Fecha de consulta: 8 de agosto de 2024. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cc4082en>.
- Luo, Y. y X. Zhou. 2006. Importance and Roles of Soil Respiration. *Soil Respiration and the Environment*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-088782-8.X5000-1>
- Martín, A., P. J. 2000. *Quimiometría Alimentaria*. Ediciones Universidad Autónoma de Madrid. 298 pp.
- Pirouette Infometrix, *Comprehensive Chemometrics Modeling Software*, 2007.
- Saha U. D., Endale, P. G., Tillman, W. C., Johnson, J., Gaskin, L., Sonon, H., Schomberg, Yang Y. 2017. Analysis of various quality attributes of sunflower and soybean plants by Near Infrared Reflectance Spectroscopy: Development and Validation Calibration Models. *American Journal of Analytical Chemistry* 8: 462-492. DOI: 10.4236/ajac.2017.87035.

CLASES DE AGREGADOS DE SUELOS EN EL BOSQUE DE CHAPULTEPEC, CIUDAD DE MÉXICO

Barrientos Ojeda Berenice^{1,2}; Vela Correa Gilberto²; Vázquez Morillas Alethia³; Diaz Ortega Jaime⁴

¹Maestría en Ecología Aplicada; ²Laboratorio de Edafología y Absorción Atómica, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco; ³Laboratorio de Tecnologías Sustentables, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco; ⁴Instituto de Geología, UNAM.

Autor para correspondencia: 2222801687@alumnos.xoc.uam.mx

RESUMEN

Los suelos urbanos en la Ciudad de México (CDMX) han sido poco estudiados, disminuyendo la calidad de los servicios ambientales a los que tiene derecho cada habitante. El Bosque de Chapultepec (BCh) es uno de los Bosque Urbanos más importantes, sin embargo, se conoce muy poco sobre la salud de sus suelos. Por esta razón el objetivo de este trabajo fue determinar las clases porcentuales de agregados en cada sección del BCh. Se tomaron 10 muestras de suelo a una profundidad de 0-20 cm, estas fueron tamizadas y clasificadas en Macro (MA), Meso (ME) y Micro (MI) agregados. Los resultados sugieren que en la 1ra sección se encuentran los suelos más sanos, seguido de 3ra y 2da. Se recomienda seguir haciendo estudios de monitoreo para mantener y mejorar la salud de este lugar.

PALABRAS CLAVES

Servicios ambientales; Bosques Urbanos; Salud de Suelos.

INTRODUCCIÓN

La Ciudad de México (CDMX) tiene dos tipos de uso de suelo principales. El suelo de conservación que representa más del 50% de la ciudad, y el suelo urbano donde se concentra la mayoría de la población, demandando áreas de esparcimiento o verdes, con servicios ambientales de calidad a cada habitante. Unas de las áreas que el gobierno considera prioritarias es el Bosque de Chapultepec (BCh) debido a que es uno de los tres principales Bosques Urbanos de la CDMX (Gobierno CDMX, 2024). Según la Ley Ambiental y de Protección a la Tierra en la Ciudad de México (2000) el BCh se considera como un área verde, que se subdivide en: Áreas de Valor Ambiental, Barrancas y Parques.

El BCh es uno de los sitios más emblemáticos de la CDMX porque en el han acontecido importantes momentos de la historia de México. Esta zona fue uno de los principales manantiales de Tenochtitlan. Desde 1381 abasteció de agua dulce a la ciudad y durante el proceso de conquista española, representó un lugar estratégico por lo accidentado de sus paisajes. Algunas imágenes antiguas muestran que el área no estuvo conformada como un bosque natural sino artificial, ya que la alta erosión impedía el establecimiento de especies en sus barrancos y lagos (Plan Maestro Integral, 2020). Razón por la que uno de los recursos más susceptibles son los suelos, los cuales recientemente han comenzado a ser estudiados como medio para conocer el estado de

División 4

salud de este recurso y de la vegetación del lugar. A su vez estos se conforman por unas subunidades conocidas como agregados, que han sido poco estudiados. Por esta razón el objetivo de este trabajo fue determinar la distribución de los agregados del suelo del BCh.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para conocer la distribución de agregados se tomaron 10 muestras de suelos a una profundidad de 0-20 cm, las cuales fueron recolectadas los días 10, 11 y 12 de octubre de 2022 en el Bosque de Chapultepec, Ciudad de México en tres de las secciones que integran este bosque. Los sitios estuvieron distribuidos de la siguiente manera: cuatro se ubicaron en la 1ra Sección, tres en la 2da. Sección y tres en la 3ra Sección, las muestras se procesaron en el Laboratorio de Edafología y Absorción Atómica de la UAM Xochimilco, donde se secaron y determinaron con base en la NOM 021 (SEMARNAT, 2000), la estabilidad de agregados en seco de Yoder (1936), y se estimó la distribución de macro (MA), meso (ME) y microagregados (MI) de suelo (Barrales-Brito *et al.*, 2021). Posteriormente se graficó su distribución porcentual.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la 1ra Sección del BCh predominan los macroagregados (Figura 1), seguidos de los meso y micro agregados, esto habla de una buena distribución de las partículas y suelos en buen estado de conservación con respecto a los agregados que lo conforman. Es importante destacar que esta zona del bosque, aunque es la más visitada, también es la más monitoreada, en la que los programas de saneamiento ambiental han disminuido su deterioro, provocado por el intenso tránsito de visitantes.

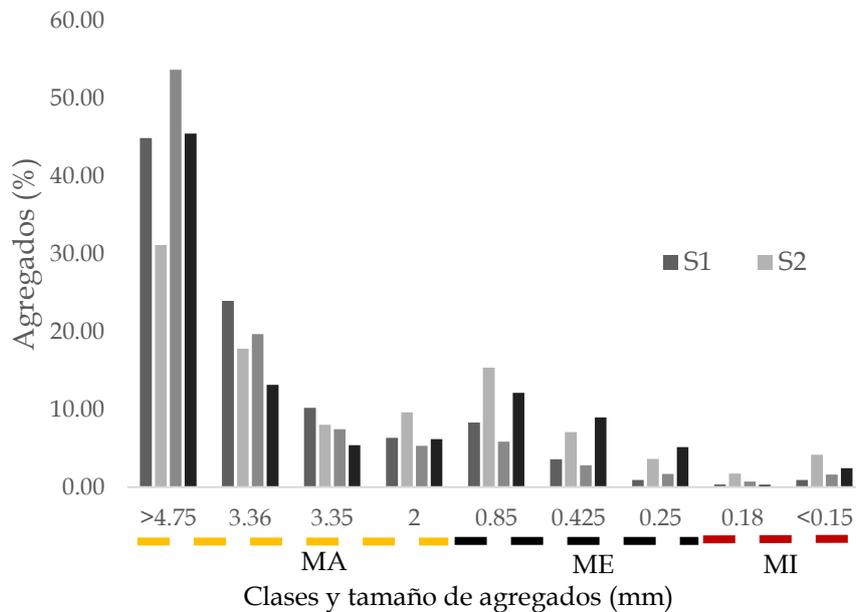


Figura 1. Agregados del suelo en la 1ra Sección del Bosque de Chapultepec.

En la 2da Sección del BCh (Figura 2) la distribución cambia, los agregados aumentan y disminuyen en cada categoría (MA, ME, MI). Es importante señalar que hay

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

predominancia de agregados >4.75 mm de diámetro en todos los sitios. El sitio 6 muestra una mayor variabilidad, atribuible a la reciente reforestación que se había realizado en el lugar, lo cual modifica las condiciones en las que se estaba desarrollando el suelo.

Lo señalado anteriormente concuerda con lo descrito por Tisdall y Oades (1982), quienes propusieron que los agregados se forman de manera jerárquica que suele ir de menor a mayor, es decir, los MI van formando ME y a su vez MA, todo esto comúnmente estará determinado por algo conocido como cementantes. En términos simples se habla de tres grupos: transitorios (materiales orgánicos lábiles), temporales (raíces e hifas persistentes) y persistentes (materiales húmicos asociados hierro amorfo, aluminio y aluminosilicatos) Morell *et al.* (2009).

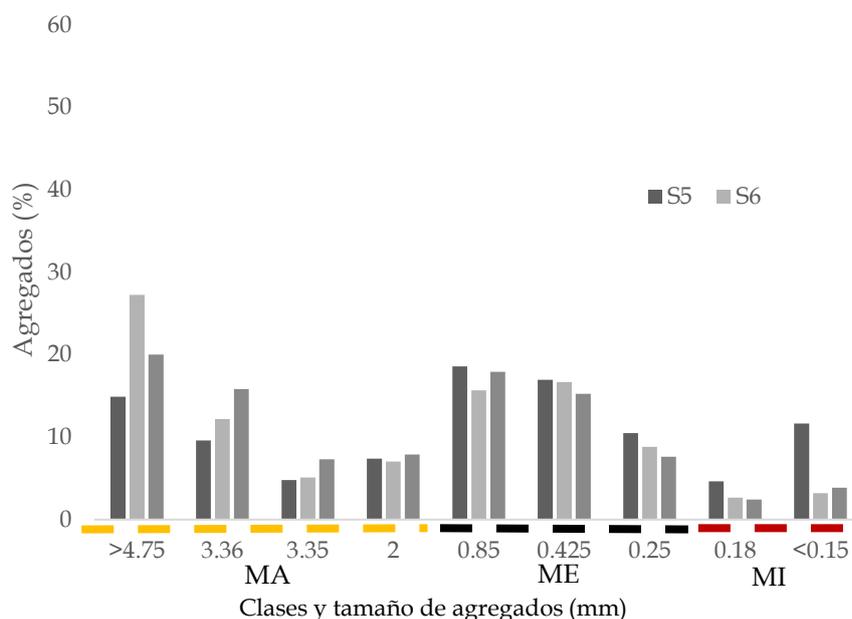


Figura 2. Agregados del suelo en la 2da. Sección del Bosque de Chapultepec.

Los agregados de la 3ra Sección, se caracterizan por tener tamaños heterogéneos, muy similares a los que se observan en la segunda sección. Sin embargo, en el sitio 8 (MA) y 9 (ME) es probable que este efecto sea consecuencia del manejo en la 3ra. Sección del BCh, está área no suele ser tan visitada y es poco manejada, teniéndolo en el olvido, dejando en un estado pausado, que no permite que mejoren sus condiciones fitosanitarias y de salud de suelo.

Por lo que sería recomendable en esta y la 2da. Sección realizar estudios más detallados para mejorar la distribución de agregados. Para determinar este tipo efectos sobre el suelo, Sánchez- Hernández *et al.* (2005) realizaron un experimento con una mezcla lombricomposta de cachaza y estiércol bovino a un suelo vertisol y encontró que el fraccionamiento por tamaños de agregados en húmedo indica que hay una mayor cantidad de macroagregados estables en los suelos que recibieron dosis mayores de la enmienda.

División 4

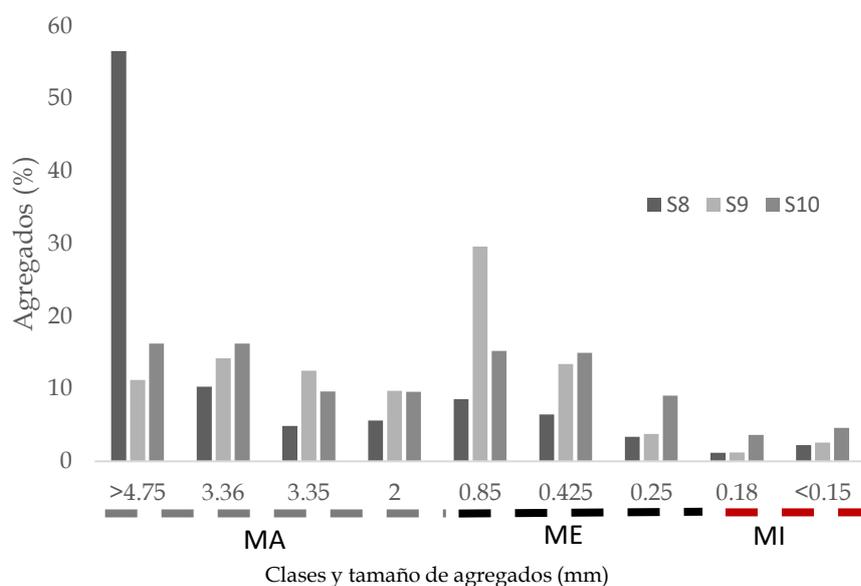


Figura 3. Agregados del suelo en la 3ra Sección del Bosque de Chapultepec.

CONCLUSIONES

La distribución de los agregados es más homogénea en la 1ra Sección, y puede considerarse como un indicador de salud del suelo, ya que en esta se presenta la mayor cantidad y tamaño de macroagregados en comparación con los suelos de la 3ra y 2da. Sección donde al parecer están menos conservadas y los programas de mantenimiento y manejo son menos frecuentes.

REFERENCIAS

- Barrales-Brito, E., Paz-Pellat, F., Velázquez-Rodríguez, A. S., Hidalgo-Moreno, C. y Etchevers-Barra, J. D. (2021). Distribución de agregados y carbono orgánico asociado de los suelos con relación a diferentes tipos de usos de suelo y profundidades. *Terra Latinoamericana*. 39: 1-22.
- Gobierno CDMX. 2024. Zonas Prioritarias para el Ordenamiento Territorial. <https://ipdp.cdmx.gob.mx/zonasprioritarias#:~:text=Zonas%20Prioritarias%20para%20el%20Ordenamiento%20Territorial%201.%20ZP,atenci%C3%B3n%20de%20asentamientos%20humanos%20en%20situaci%C3%B3n%20de%20irregularidad>
- Ley Ambiental de Protección a la Tierra en la Ciudad de México (2000). *México, DF, Gobierno del Distrito Federal*. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial.
- Morell, F.; Hernández, A.; Borges, Y.; Marentes, F. L. (2009). La actividad de los hongos micorrízicos arbusculares en la estructura del suelo. *Cultivos Tropicales*. 30(4).
- Plan Maestro Integral. Bosque de Chapultepec Naturaleza y Cultura. 2020. *Gobierno Federal*. Cultura.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 antes NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación.
- Tisdall, J. M.; Oades, J. M. (1982). Organic matter and water stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*. 33: 141-163.
- Yoder, R.E. (1936). A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *J. Am. Soc. Agric.* 28: 337-351.



División 4

El Papel de los Suelos en el Sostenimiento de la
Sociedad y el Medioambiente

COMPUESTOS BIOACTIVOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN FLORES COMESTIBLES DE ALGUNOS CULTIVARES DE DURAZNO Y POLINIZADORES DE MANZANO

Marisela Calderón-Jurado¹; Oscar Cruz-Álvarez¹; Porfirio Juárez-López²; Ofelia Adriana Hernández-Rodríguez¹; Ángel Rafael Parra-Quezada²; Irán Alía Tejacal²; Dámaris Leopoldina Ojeda-Barrios¹

¹Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Avenida Universidad y Avenida Pascual Orozco s/n, Universidad, 31110 Chihuahua, Chih.

²Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Av. Universidad 1001, 62209 Cuernavaca, Morelos, México. Autor de correspondencia: dojeda@uach.mx

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar el contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en flores comestibles de algunos cultivares de durazno (July flame, Cary mac y Fair time) y polinizadores de manzano (Manchurian y Jhon Downy), para generar información básica y promover su consumo en fresco. La colecta de muestras se realizó mediante un muestro aleatorio simple por cultivar de durazno y polinizador de manzano. Para ello se realizó un muestreo aleatorio simple con tres unidades de muestreo por cultivar de durazno y cinco por polinizador de manzano, mediante un análisis estadístico anidado. Se cuantificó el contenido de antocianinas totales (AnT), fenoles totales (FT), flavonoides totales (TFI) y capacidad antioxidante (CA). Se encontraron diferencias entre especies para fenoles totales (entre 73.23 ± 1.94 y 86.65 ± 1.18 mg GAE/g⁻¹) y flavonoides totales (TFI) (5.29 ± 0.10 y 7.99 ± 0.3 mg QE 100 g⁻¹). La CA mostró variación estadística entre especies solo con los métodos ABTS y FRAP. Estos resultados sugieren profundizar en el estudio de las flores de durazno y manzano, incluyendo su perfil fitoquímico en diversas condiciones de manejo agronómico

PALABRAS CLAVE

Florifagia; *Malus doméstica*; *Prunus persica*; Frutales caducifolios; Alimento funcional.

INTRODUCCIÓN

El consumo de flores de plantas cultivadas y silvestres representa una práctica ancestral en múltiples culturas de Mesoamérica, practica que ha sido revalorizada por los beneficios a la salud y aportes de color en la preparación de platillos de alto gourmet. En general, las flores son una fuente importante de nutrientes minerales (Ca²⁺, P, Fe²⁺, K⁺ y Na⁺) y compuestos fitoquímicos, incluyendo vitaminas, fenoles, carotenoides, antocianinas, entre otros (Rivera-Espejel *et al.*, 2019; Skrajda-Brdak *et al.*, 2020). Además, permite diversificar el aprovechamiento e incrementar el valor de las especies, incluyendo aquellas subutilizadas o en riesgo de extinción como producto de las actividades antropogénicas.

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Por otro lado, las especies de frutales caducifolios (durazno, manzano, peral, entre otros) poseen inflorescencias con colores atractivos que fluctúan entre blanco, rosado y rojo, pero son escasas las investigaciones relacionadas con su contenido de antocianinas, fenoles, flavonoides y la capacidad antioxidante, parámetros muy apreciados por los potenciales consumidores (Göttingerová et al., 2020). El objetivo de esta investigación fue evaluar el contenido de algunos compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en pétalos durazno [*Prunus persica* (L.) Batsch] y manzano [*Malus sylvestris* (L) Mill. Var. *domestica* (Borkh) Mansf.] provenientes de huertas ubicadas la zona frutícola del noroeste del estado de Chihuahua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio fue realizado en el ciclo primavera-verano de 2022 en la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), México. El experimento comenzó con la colecta (25 de marzo) de inflorescencias de durazno [*Prunus persica* (L.) Batsch] ('July Flame', 'Cary Mac' y 'Fair Time') en árboles de ocho años establecidos sobre portainjertos nativos, marco de plantación de 6 x 6 m (360 trees ha⁻¹) y ubicados en Casas Grandes, Chihuahua, Mexico (30°20'03.7"N;108°07'13.5"O; 1569 MSNM). Asimismo, se colectaron inflorescencias de árboles de manzano [*Malus sylvestris* (L) Mill. Var. *Domestica* (Borkh) Mansf.] (5 de abril) con función de polinizadores ('Manchurian' y 'Jhon Downy') establecidos en el "Campo C", Cuauhtémoc, Chihuahua, México (28°24'27"N;106°52'59"O; 2050 MSNM), respectivamente. En ambos casos, para la cosecha de las inflorescencias se consideró la parte media de la copa del árbol y puntos cardinales. Para ello se aplicó un muestreo aleatorio simple con tres unidades de muestreo por cultivar de durazno y cinco por polinizador de manzano. Las muestras fueron transportadas al laboratorio Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas en la Universidad Autónoma de Chihuahua, donde fueron separadas del receptáculo, anteras y estambres, dejando solo los pétalos, enseguida fueron liofilizados en un liofilizador (Biobase®, USA) a 80 °C durante 24 h y finalmente fueron molidas para su fácil manejo.

En este trabajo se determinó en las flores de durazno y manzano, el contenido antocianinas totales, fenoles totales, flavonoides totales y capacidad antioxidante (ABTS, FRAP, DPPH, CAT), usando los métodos indicados en la figura 1. Además, el valor de la capacidad antioxidante total (CAT) se determinó sumando los valores obtenidos de FT y FIT, así como de los métodos FRAP, ABTS+ y DPPH (Benítez-Estrada et al., 2020).

Los datos fueron analizados con un modelo anidado, donde el factor de jerarquía superior fue la especie y como factor de jerarquía inferior el cultivar o polinizador. Los datos fueron validados con las pruebas de Levene y Shapiro Wilks ($p \leq 0.05$). El análisis estadístico consistió en un análisis de varianza y la separación de medias para los datos de durazno y manzano fue realizada con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) y prueba "T", respectivamente. Todos los análisis fueron realizados con en el software de análisis estadístico (SAS / STAT) versión 9.3.

División 4

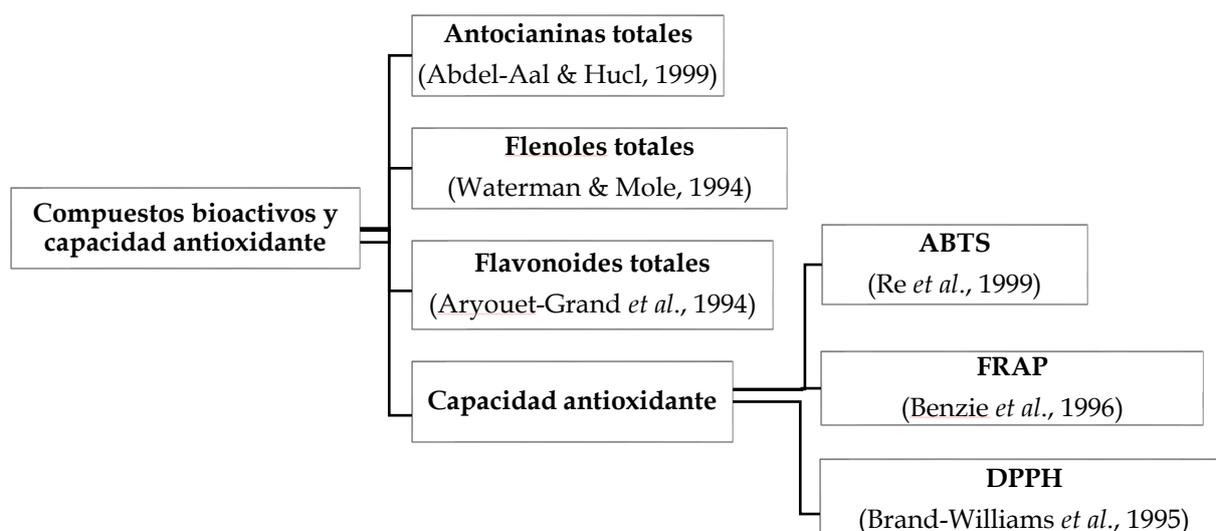


Figura 1. Métodos para determinar el contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en flores de durazno y manzano.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuadro 1. Contenido de antocianinas, fenoles, flavonoides totales y actividad antioxidante en flores comestibles de durazno y manzano provenientes de huertas de la zona frutícola del estado de Chihuahua.

Durazno-cultivar	AnT	FT	FIT	Capacidad Antioxidante			
				ABTS	FRAP	DPPH	TAC
July flame	0.02±0.001a	86.65±1.66a	10.01±0.0004a	9.03±0.002a	0.24±0.009a	9.05±0.001a	115.33±0.78a
Cary Mac	0.01±0.0002a	85.76±3.29a	10.01±0.0003b	9.03±0.001a	0.25±0.006a	9.04±0.002a	114.11±3.28a
Fair time	0.01±0.001a	84.65±3.29a	10.01±0.001ab	9.03±0.002a	0.23±0.011a	9.05±0.002a	112.99±1.13a
CV (%)	6.66	2.12	0.002	0.006	3.75	0.02	1.58
Manzano-polinizador							
Manchurian	0.03±0.0008 ^a	82.47±3.90 ^a	10.01±0.004 ^a	9.03±0.004 ^a	0.24±0.005 ^a	9.05±0.002 ^a	110.86±3.90 ^a
Jhon Downy	0.03±0.0006 ^a	66.83±3.1 ^b	10.01±0.001 ^a	9.03±0.004 ^a	0.22±0.001 ^b	9.05±0.002 ^a	95.21±3.13 ^b
CV (%)	2.23	4.74	0.003	0.05	1.72	0.02	3.43
E	**	**	**	ns	*	*	**
C(E)	Ns	**	**	ns	*	*	**

Valores medios ± desviación estándar (n=3 y 5, respectivamente). Valores con la misma letra dentro de cada columna para cultivares de durazno y los polinizadores de manzano no difieren estadísticamente ($p \leq 0,05$; prueba de Tukey y prueba "T", respectivamente). ns: no significativo; *, ** significativo al 5 % y 1% respectivamente. Los datos son expresados en peso seco. AnT: Antocianinas totales (mg cianidina-3-glucósido 100 g⁻¹); FT: Flenoles totales (mg GAE 100 g⁻¹); FIT: Flavonoides totales (mg QE 100 g⁻¹); ABTS (Ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (mg⁻¹ 100 g⁻¹); FRAP: Poder antioxidante reductor del ion férrico (mg 100 g⁻¹); DPPH: Radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (mg 100 g⁻¹); TAC: Capacidad de antioxidante total (mg 100g⁻¹); CV: Coeficiente de variación; E: especie.

Las flores de durazno y manzana difieren en contenidos de fenoles totales (73.23 mg GAE g⁻¹ durazno y 86.65 mg GAE g⁻¹ manzana) y flavonoides totales (TFL) (5.29 mg QE 100 g⁻¹ durazno y 7.99 ± 0.3 mg QE 100 g⁻¹ manzana). Estudios previos sobre flores de algunos cultivares de chabacano (*Prunus armeniaca* L.) realizados por Göttingerová et

División 4

al. (2020), reportan un amplio rango de valores para el contenido de fenoles totales (FT) (entre 404.08 y 768.45 mg GAE 100/g) y para flavonoides totales (FIT) (entre 198.76 y 538.11 mg QE 100 g⁻¹). Sin embargo, valores más bajos son reportados en cultivares de chabacano “Blenheim” (13.40 mg 100 g⁻¹) y “Vestar” (28.41 mg/100 g⁻¹), donde sobresalen aquellas flores con pétalos blancos. La capacidad antioxidante mostró variación entre especies con los métodos ABTS (64.64 y 75.03 μmol TE (equivalentes de Trolox) /g⁻¹) y FRAP (130.48 y 153.21 μmol Fe²⁺/g⁻¹), mientras que con DPPH los valores fueron similares estadísticamente. En otros frutales, incluyendo granado, se han reportado resultados similares con 65 % (DPPH), según Janarny et al. (2021). Los resultados de este estudio superan los valores publicados de capacidad antioxidante en flores de papaya, plátano y mahua (Janarny *et al.*, 2021). Sin embargo, los valores obtenidos con los métodos FRAP y ABTS no superaron los encontrados en flores comestibles de árboles frutales como el almendro, chabacano, manzano, granado y naranjo agrio (Kandylyis *et al.*, 2022). Los hallazgos de este estudio sugieren que los pétalos de flores de durazno y manzano pueden ser consumidas como producto en fresco y contribuir en la ingesta de fitoquímicos con alta actividad biológica y actividad antioxidante.

CONCLUSIONES

Los frutales caducifolios, incluyendo durazno y manzano presentaron variación significativa para fenoles, flavonoides totales, capacidad antioxidante, mientras que los flavonoides solo presentaron significancia entre los cultivares o polinizadores. Los resultados de este estudio permiten dilucidar la presencia significativa de compuestos bioactivos con alta actividad biológica y antioxidante, conjunto de propiedades ampliamente valoradas por los consumidores que buscan incluir en su dieta ingredientes novedosos para consumo en fresco.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Aal, E. S. M. & Hucl, P. (1999). A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chemistry*, 76(3), 350-354.
- Aryouet-Grand, A., Vennat, B., Pouratt, A., & Legret, P. (1994). Standardisation dun extra it de propolis at identification des proncipaux constituents. *Journal de Pharmacie de Belgique*, 49, 462-468.
- Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Analytical biochemistry*, 239(1), 70-76.
- Benítez-Estrada, A., Villanueva-Sánchez, J., González-Rosendo, G., Alcántar-Rodríguez, V. E., Puga-Díaz, R., & Quintero-Gutiérrez, A. G. (2020). Determination of the total antioxidant capacity of food and human plasma by photochemiluminescence: Correlation with spectrophotometric (FRAP) and fluorometric (ORAC) assays. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23(1), 1-9.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., & Berset, C. L.W.T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30.

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Göttingerová, M., Kumšta, M. & Nečas, T. (2020). Health-benefitting biologically active substances in edible apricot flowers. *HortScience*, 55(8), 1372-1377. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15038-20>.
- Janarny, G., Ranaweera, K.K.D.S., & Gunathilake, K.D.P.P. (2021). Antioxidant activities of hydro-methanolic extracts of Sri Lankan edible flowers. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 35, 102081.
- Kandyliis, P. (2022). Phytochemicals and antioxidant properties of edible flowers. *Applied Sciences*, 12(19), 9937.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Rivera-Espejel, E., Cruz-Alvarez, O., Mejía-Muñoz, J.M., García-Mateos, M. R., Colinas-León, M.T. & Martínez-Damián, M.T. (2019). Physicochemical quality, antioxidant capacity and nutritional value of edible flowers of some wild dahlia species. *Folia Horticulturae*, 31(2), 331-342. <https://doi.org/10.2478/fhort-2019-0026>
- Skrajda-Brdak, M., Dąbrowski, G., & Konopka, I. (2020). Edible flowers, a source of valuable phytonutrients and their pro-healthy effects—A review. *Trends in Food Science & Technology*, 103, 179-199. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.016>
- Waterman, P. G., & Mole, S. (1994). *Analysis of phenolic plant metabolites*. Blackwell Scientific: USA.
- Zulueta, A., Esteve, M. J., & Frígola, A. (2009). ORAC and TEAC assays comparison to measure the antioxidant capacity of food products. *Food Chemistry*, 114(1), 310-316.

División 4

CONCENTRACIÓN MINERAL EN FLORES COMESTIBLES DE DALIA NANOFORTIFICADAS CON ZINC

Orlanda Tanahiri Garcia-Gonzalez¹; Oscar Cruz-Álvarez¹; María Teresa Martínez-Damian²; Ofelia Adriana Hernández-Rodríguez¹; Rafael Ángel Parra-Quezada¹; Damaris Leopoldina Ojeda-Barrios¹

¹Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, 31350, México

²Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia, 56230, México. *Autor de correspondencia: dojeda@uach.mx

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar los cambios en la concentración de nutrientes minerales en flores comestibles de dalia cv Yarezi. Las plantas se establecieron en un diseño experimental completamente al azar con 4 repeticiones, donde un conjunto de 3 plantas fue considerado como unidad experimental. Los tratamientos consistieron en la aspersión foliar de 50 mg kg⁻¹ de ZnO NPs, ZnSO₄ y un testigo (sin Zn). Los datos fueron analizados con un análisis de varianza y para la separación múltiple de medias con la prueba de Tukey (p≤0.05). Se encontró que la aspersión foliar de 50 mg kg⁻¹ de ZnO NPs incremento de forma significativa los valores de concentración de K⁺ y Fe²⁺ con valores de 24.5 ± 0.99 g kg⁻¹ y 71.9 ± 1.9 mg kg⁻¹, respectivamente. Además, los tratamientos con Zn mejoraron los valores de Zn (62.92 ± 3.1 y 67.9 ± 2.9 mg kg⁻¹) en los tejidos de las inflorescencia. La nanobiofortificación con Zn ofrece la oportunidad de mejorar la disponibilidad de nutrientes clave en la alimentación humana, incluyendo el Zn. Además, coadyuva a promover y diversificar el aprovechamiento de las flores de dalia, un recurso fitogenético endémico y microendémico de México.

PALABRAS CLAVE

Dahlia x hortorum; Florifagia; Alimento funcional; Macronutrientes; Micronutrientes.

INTRODUCCIÓN

La dalia (*Dahlia x hortorum*) es una planta ornamental conformada por 43 especies, de las cuales 35 son endémicas y microendémicas de México, donde es una de las plantas con mayor versatilidad para su ornamental, incluyendo flor de corte, maceta y como un elemento estructural en el diseño y construcción de jardines donde sobresalen sus inflorescencias con amplia diversidad de formas, tamaños y colores brillantes (Reyes-Santiago *et al.*, 2018). Por otro lado, existen registros paleobotánicos y orales donde múltiples poblaciones establecidas en Mesoamérica previo a la conquista española complementaban su dieta con el consumo de inflorescencias y raíces tuberosas de la planta de dalia (Rivera-Espejel *et al.*, 2019a), órganos de la planta que se caracterizan por su contenido de inulina, vitaminas (B2, B6, B7 y E), fibra, proteína, nutrientes minerales (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, P y Zn²⁺) y fitoquímicos (antocianinas, fenoles, flavonoides, entre otros) con alta actividad biológica y antioxidante (Rivera-Espejel *et al.*, 2019b; Hernández-Epigmenio *et al.*, 2022).

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

En los últimos años, se ha demostrado que la falta de crecimiento y desarrollo cognitivo en los niños se vincula a la deficiencia de micronutrientes, incluyendo vitaminas y minerales como el Zn (Cakmak y Kutman, 2018). Esto ha propiciado preocupación a nivel mundial, para ello, se ha buscado incrementar su contenido mediante la biofortificación, es decir, la adición de los nutrientes minerales de interés para que sean absorbidos y permitan incrementar su disponibilidad en los cultivos y plantas, al ser consumidas (Preciado-Rangel et al., 2021). Sin embargo, se requieren emplear métodos y fuentes de fertilizantes que permitan mejorar la disponibilidad y absorción de los nutrientes, donde una estrategia es la aspersión foliar de nanopartículas (partículas ≤ 100 nm) (Bautista-Diaz et al., 2021). Asimismo, los fertilizantes clasificados como nanopartículas (NPs) como el óxido de zinc (ZnO) se destacan por su mayor superficie específica, relación superficie-volumen y cinética de liberación controlada (Zulfiqar et al., 2019). Estas propiedades fisicoquímicas contribuyen a mejorar su eficiencia (absorción y translocación) y en consecuencia pueden ser suministrados en bajas concentraciones y menor número de aplicaciones con resultados similares o superiores a los obtenidos por fertilizantes convencionales (Rossi et al., 2019). Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es evaluar la respuesta de la nanofertilización foliar con zinc en flores y raíces tuberosas comestibles de dalia y su respuesta en concentración mineral.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental y material vegetal

Este estudio se llevó cabo durante 2023 en la Universidad Autónoma Chapingo ($19^{\circ}29'23''N$; $98^{\circ}53'37''O$; 2,246 m) con temperatura y precipitación media anual de $15.6^{\circ}C$ y 608 mm, respectivamente. El material vegetal consistió en plantas de dalia (*D. x hortorum*) cv Yaretzi provenientes de raíces tuberosas del año previo, para ello fueron trasplantadas en campo abierto en contenedores de 5 L rellenas de turba peat moss. El riego se realizará con una solución nutritiva de Hogland, de 1-2 veces por semana con un gasto de $0.5-3.5$ L planta⁻¹, dependiendo del estado fenológico y las condiciones climáticas. El aporte de nutrientes se realizó mediante una solución nutritiva (mmol): 6 NH_4NO_3 , 1.6 K_2HPO_4 , 2.4 K_2SO_4 , 4.0 $CaCl_2 \cdot 2H_2O$, 1.4 $MgSO_4$ y (μ mol) 5 Fe-EDDHA, 2 $MnSO_4 \cdot H_2O$, 1 $ZnSO_4$, 0.25 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, 0.3 NH_4 , 6 $Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ y 0.5 H_3BO_3 .

Se establecerá un diseño completamente al azar con 4 repeticiones, donde un conjunto de tres inflorescencias fue considerado como una unidad experimental. Los tratamientos consistirán en la aplicación foliar de 50 mg L⁻¹ de ZnO NPs y $ZnSO_4$. Asimismo, se contó con un control (sin Zn^{2+}). Los tratamientos fueron aplicados en crecimiento vegetativo, previo a la apertura de floración y en plena floración. En todos los tratamientos se agregaron 100 μ L de Silwet® L-77 (coadyuvante a base de trisiloxano). La solución se aplicará con un atomizador de 500 mL, cubriendo la planta, con el cuidado suficiente para no derramar producto en el contenedor y evitar contaminación de las raíces.

El corte de las inflorescencias fue realizado en agosto de 2020, para ello se consideró la apertura total del capítulo con los estambres expuestos y con tallo de 15 cm, los cuales fueron colocados en cajas de poliestireno para su transporte al laboratorio de usos múltiples y fisiología de frutales. Previo al análisis estadístico, se verificó la

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

homogeneidad de varianza en los datos para ello se empleó la prueba de Levene ($p \leq 0.05$) (Sokal y Rohlf, 1995). Se realizó un análisis de varianza y una comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). En todos los casos se empleó el programa de análisis estadístico SAS versión 9.0.

Concentración de nutrientes minerales

Las inflorescencias fueron lavadas con agua del grifo, agua destilada, HCl 4N y luego se enjuagaron con agua desionizada. Las muestras se escurrieron y se colocaron en una estufa de secado Heratherm VCA 230® (Thermo Scientific, USA) a 70°C por 24 h. Las muestras fueron homogeneizadas en un molino Willey R-TE-650/1 con malla de 1 mm (Tecnal, Piracicaba, Brasil) y se colocará en recipientes herméticos hasta su análisis. Se tomará 1 g de muestra seca para determinar mediante digestión triácida (HNO_3 , HClO_4 y H_2SO_4 en la proporción 10: 1: 0.25) y con un espectrofotómetro de absorción atómica Thermo Scientific Analysis 3000 (Thermo Scientific, USA) (Acevedo-Barrera *et al.*, 2022). La concentración de P-total se determinó con el método colorimétrico Vanadato de amonio-molibdato y la concentración de nitrógeno total fue determinada por el método micro-Kjeldahl. La concentración de B se determinó por un método colorimétrico utilizando el reactivo azometil H para un extracto de cenizas vegetales. Los resultados de la concentración de macronutrientes y micronutrientes son expresados en g kg^{-1} y mg kg^{-1} , respectivamente.

Análisis estadístico

Previo al análisis estadístico, los datos serán sometidos a pruebas de homogeneidad de varianza con la prueba de Levene y cuando se detecte heterogeneidad, se transformarán con \log^{10} (Sokal y Rohlf, 1995). Se realizará un análisis de varianza y una comparación de medias con la prueba Tukey ($p < 0.05$). En todos los casos se utilizará el software de análisis estadístico SAS versión 9.3 (SAS Institute Inc., Carolina del Norte, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La biofortificación se encuentra entre las estrategias de bajo costo y con mayor éxito para lograr una mayor acumulación de nutrientes minerales en los cultivos y una mejora significativa en la alimentación de sectores vulnerables de la población, incluyendo niños y ancianos. En este estudio, la aplicación de nanopartículas de Zn (NPs ZnO) favoreció un incremento en la concentración de K^+ ($24.5 \pm 0.99 \text{ mg kg}^{-1}$) con respecto al testigo (Cuadro 1). Estos resultados superan los 11.2 ± 0.01 , 11.3 ± 0.01 y $11.2 \pm 0.01 \text{ mg kg}^{-1}$ de K^+ reportados para para pétalos de durazno cv July Flame, Cary Mac y Fair Time, respectivamente (Calderón-Jurado *et al.*, 2023), donde no encontraron variación estadística. Sin embargo, estos mismos autores reportan valores similares para manzano Manchurian ($21.5 \pm 0.06 \text{ mg kg}^{-1}$) y John Downie ($22.0 \pm 0.12 \text{ mg kg}^{-1}$). Al respecto, las funciones fisiológicas básicas del cuerpo humano requieren la ingesta de múltiples nutrientes minerales, incluyendo P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Na^{2+} , entre otros (Skrajda-Brdak *et al.*, 2020), donde las flores comestibles se caracterizan por un contenido variable, pero con bajo valor calórico. La variación entre resultados puede atribuirse a la especie, cultivar y el método extracción.

Por otro lado, el análisis estadístico reveló una mejora significativa en la concentración de Fe^{2+} con la aspersión de Zn en forma de nanopartícula, mientras que el Zn se incrementó con la aspersión foliar de ambas fuentes de Zn (ZnO NPs y ZnSO_4).

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

La disponibilidad de información vinculada con la nanonofortificación de estructuras florales es nula y la información generada es para cultivos básicos, incluyendo maíz, frijol, trigo y maíz (Cakmak y Kutm, 2018; Bautista-Diaz et al., 2021). Sin embargo, estos resultados preliminares ofrecen un amplio panorama sobre el impacto positivo de la nanobiofortificación para incrementar la disponibilidad de nutrientes minerales clave en la alimentación humana, sobre todo en especies herbáceas y sus estructuras florales. Al respecto, Santos et al. (2021) reportan variación altamente significativa en la concentración de Fe^{2+} y Zn^{2+} para flores de café, donde observaron un amplio efecto del cultivar, atribuido a su variable capacidad de absorción y translocación de nutrientes.

Cuadro 1. Concentración de nutrientes minerales en flores de dalia (*Dahlia × hortorum*) cv Yarezi con aplicaciones foliares de zinc.

Macronutrientes (g kg^{-1})	Testigo	ZnO NPs	ZnSO ₄
N-total	23.6 ± 1.02 a	24.7 ± 0.31 a	22.9 ± 0.3 a
P	2.5 ± 0.09 a	2.7 ± 0.11 a	2.8 ± 0.2 a
K ⁺	21.2 ± 0.11 b	24.5 ± 0.99 a	22.3 ± 0.1 b
Ca ²⁺	4.4 ± 0.01 a	4.51 ± 0.01 a	4.54 ± 0.01 a
Mg ²⁺	3.5 ± 0.02 a	3.5 ± 0.02 a	3.6 ± 0.03 a
Micronutrientes (mg kg^{-1})			
Fe ²⁺	65.75 ± 2.8 b	71.9 ± 1.9 a	67.75 ± 2.8 b
Cu ²⁺	24.75 ± 1.3 a	25.1 ± 0.9 a	24.91 ± 1.1 a
Zn ²⁺	59.25 ± 3.1 b	67.9 ± 2.9 a	62.92 ± 3.1 a
Mn ²⁺	5.51 ± 0.09 a	5.45 ± 0.01 a	5.49 ± 0.07 a
B	14.26 ± 0.67 a	13.89 ± 0.54 a	14.01 ± 0.61 a
Na ⁺	10.06 ± 0.03 a	9.87 ± 0.04 a	10.01 ± 0.09 a

Valores medios ± desviación estándar (n=4). Medias con la misma letra dentro de cada fila no difieren estadísticamente ($p \leq 0,05$; prueba de Tukey). Todos los datos se expresan en peso seco. ZnO NPs: nanopartículas de óxido de zinc (100 mg L^{-1}); ZnSO₄: sulfato de zinc (100 mg L^{-1}).

CONCLUSIONES

La aspersión foliar de ZnO NPs (50 mg kg^{-1}) incremento de forma significativa los valores de K⁺ y Fe²⁺, mientras que en general los tratamientos con Zn mejoraron la concentración de Zn (62.92 ± 3.1 y $67.9 \pm 2.9 \text{ mg kg}^{-1}$) en los tejidos de las inflorescencias. La biofortificación de flores comestibles ofrece la oportunidad de incrementar la disponibilidad de nutrientes minerales clave para alimentación humana, así como promover y diversificar el aprovechamiento de las flores de dalia, un recurso fitogenético endémico y microendémico de México.

BIBLIOGRAFÍA

Acevedo-Barrera, A. A., Cruz-Alvarez, O., Hernández-Rodríguez, O.A., Benavidez-Mendoza, A., Orozco-Melendez, L. R., Soto-Caballero-Mendoza, M.C., ... & Ojeda-Barrios, D.L. (2022). Do foliar applications of nickel increase urease activity and nutrient levels in pecan leaflets? *Plant, Soil and Environment*, 68(3), 129-136.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Bautista-Díaz, J., Cruz-Alvarez, O., Hernández-Rodríguez, O. A., Sánchez-Chávez, E., Jacobo-Cuellar, J. L., Preciado-Rangel, P., ... & Ojeda-Barrios, D. L. (2021). Zinc sulphate or zinc nanoparticle applications to leaves of green beans. *Folia Horticulturae*, 33(2), 365-375.
- Cakmak, I., Kutman, U.A., 2018. Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. *European Journal of Soil Science*, 69 (1), 172-180.
- Hernández-Epigmenio, F., García-Mateos, M.R., Sosa-Montes, E., Mejía-Muñoz, J.M., Fernández-Pavia, Y.L., Cruz-Álvarez, O., & Martínez-Damián, M.T. (2022). Phenolic profile and nutritional value of *Dahlia x hortorum* flowers. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 28(3), 161-174.
- Preciado-Rangel, P., Campos-Ortiz, A., Chávez, E. S., Reyes-González, A., Ruiz-Espinoza, F., Ojeda-Barrios, D., & Hernández-Montiel, L. (2021). Zinc biofortification improves yield, nutraceutical quality and antioxidant capacity in lettuce. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(3).
- Reyes-Santiago, J., Islas-Luna, M. A., Macías-Flores, R. G., & Castro-Castro, A. (2018). *Dahlia tamaulipana* (Asteraceae, Coreopsidae), a new species from the Sierra Madre Oriental biogeographic province in Mexico. *Phytotaxa*, 349(3), 214-224.
- Rivera-Espejel, E.A., Cruz-Alvarez, O., Mejía-Muñoz, J.M., García-Mateos, M.R., Colinas-Leon, M.T., & Martínez-Damián, M. T. (2019a). Physicochemical quality, antioxidant capacity and nutritional value in tuberous roots of some wild dahlia species. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(3), 813-820.
- Rivera-Espejel, E.A., Cruz-Alvarez, O., Mejía-Muñoz, J.M., García-Mateos, M.R., Colinas-León, M.T., & Martínez-Damián, M.T. (2019b). Physicochemical quality, antioxidant capacity and nutritional value of edible flowers of some wild dahlia species. *Folia Horticulturae*, 31(2), 331-342.
- Rossi, L., Fedenia, L.N., Sharifan, H., Ma, X., Lombardini, L., 2019. Effects of foliar application of zinc sulfate and zinc nanoparticles in coffee (*Coffea arabica* L.) plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135, 160-166.
- Santos, M.M.D., Silva, C.A.D., Oza, E.F., Gontijo, I., Amaral, J.F.T.D., & Partelli, F.L. (2021). Concentration of nutrients in leaves, flowers, and fruits of genotypes of *Coffea canephora*. *Plants*, 10(12), 2661.
- Skrajda-Brdak, M., Dąbrowski, G., & Konopka, I. (2020). Edible flowers, a source of valuable phytonutrients and their pro-healthy effects—A review. *Trends in Food Science & Technology*, 103, 179-199.
- Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (1995). *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. New York, USA: W. H. Freeman and Company.
- Zulfiqar, F., Navarro, M., Ashraf, M., Akram, N. A., & Munné-Bosch, S. (2019). Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations. *Plant Science*, 289, 110270.

División 4

CONSORCIOS DE RIZOBACTERIAS PARA LA PROMOCIÓN DE CRECIMIENTO EN PLANTAS DE CHILE (*Capsicum annuum* L.) Y LECHUGA (*Lactuca sativa* L.)

Franco Ignacio Bugueño Guerrero¹; Marco Polo Carballo Sánchez^{2*}

¹Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Tarapacá. Arica, Chile.

²Laboratorio de Microbiología de Suelos, Posgrado en Edafología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México.

*Autor de correspondencia: carballo.marco@colpos.mx

RESUMEN

El uso de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, de manera individual o en consorcio, resultan una alternativa viable para mejorar las condiciones de cultivo de hortalizas como el chile y la lechuga. En este trabajo se establecieron experimentos con el objetivo de determinar efectos benéficos en los parámetros biométricos de los cultivos. Se cultivaron en macetas individuales con tezontle como sustrato, solución nutritiva Steiner y se inocularon en dos ocasiones durante el experimento. Los resultados muestran que no hay diferencias en el contenido de nitrógeno, pero en los parámetros de área foliar y peso seco total sí existen diferencias, siendo el tratamiento del consorcio el que tiene los mejores resultados. En las micrografías se observan las diferencias entre la colonización microbiana nativa en las plantas control y las inoculadas con el consorcio, mostrando una mayor cantidad de células y de estructuras bacterianas relacionadas con biopelículas en los tratamientos del consorcio. El uso de consorcios microbianos para promover el crecimiento vegetal resulta una alternativa que se puede considerar para el establecimiento de una agricultura sostenible.

PALABRAS CLAVE

Capsicum annuum; *Lactuca sativa*; Rizobacterias; Consorcio microbiano; Hidroponia.

INTRODUCCIÓN

La seguridad alimentaria es una prioridad para las naciones del mundo, ya que la población humana aumenta y demanda más productos agrícolas, aunque para lograrla existen complejos retos en la actualidad, como el hecho de que los suelos agrícolas están degradados y han perdido fertilidad, algunos han perdido la vocación agrícola y existe menos espacio para cultivar. Otros factores son la escasez de agua para riego, la sequía, los cambios en el clima que producen estrés en los cultivos, el aumento en el costo de los fertilizantes, plagas y enfermedades, entre otros eventuales problemas que puedan surgir en el futuro. Una alternativa para mitigar estos problemas es el manejo agronómico responsable y el uso de alternativas biológicas como son las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, las cuales promueven el desarrollo de las plantas al incentivar la incorporación de nutrientes por diversos mecanismos, la producción de reguladores de crecimiento, antibióticos y sideróforos, además de tener un metabolismo versátil (Mohanti *et al.* 2021).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

El chile (*C. annuum*) junto con la lechuga (*L. sativa*) son hortalizas de importancia mundial debido a la relevancia comercial y culinaria que poseen. Por su parte, el chile es fundamental en la cocina mexicana y de otros países, caracterizado por sus propiedades bioactivas benéficas derivadas de sus capsaicinoides. En cambio, la lechuga posee características sensoriales como su sabor tenue y la sensación de frescura al consumirla, lo que repercute en una versatilidad para su preparación. Debido a que la lechuga es una planta de ciclo corto, también es un organismo modelo para la investigación científica. De acuerdo con los datos del SIAP (2024), la producción de lechuga en todo México durante el año 2022 fue de 547 mil toneladas, siendo Guanajuato, Zacatecas y Aguascalientes los estados que más producción tuvieron. Por otro lado, la producción de chile verde en todo México durante el año 2022 fue de 2.92 millones de toneladas, siendo Chihuahua, San Luis Potosí, Zacatecas y Sinaloa los estados que más producción tuvieron.

El objetivo del trabajo fue estudiar el crecimiento de estas hortalizas mediante la inoculación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, individuales y en consorcio, para mejorar sus parámetros biométricos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y condiciones de crecimiento

El experimento fue establecido en invernadero con un total de 30 plantas por tratamiento. Se sembraron en almácigo con sustrato estéril compuesto de turba y perlita en relación 2:1 respectivamente las semillas certificadas de chile jalapeño (*C. annuum*) variedad Cheetah, con germinación mayor al 90% (Agriseeds, E.E.U.U.) y las de lechuga italiana variedad Starfighter la marca Rijk Zwaan® (Holanda), con un porcentaje certificado de germinación mayor al 90%. El riego se realizó de manera manual con agua en baja concentración de sales y después de 3 semanas se aportó solución nutritiva Steiner en una concentración gradual iniciando desde el 5 hasta el 45% al final del experimento. Las plantas se trasplantaron a la octava semana y la cosecha a la décima tercera semana.

Inoculación de las plantas

Se utilizaron las cepas C56 (*Achromobacter xylosoxidans*), JLB4 (*Achromobacter pokkalii*) y AV5 (*Bacillus pumilus*), las cuales pertenecen a la colección del Laboratorio de Microbiología de Suelos. Estas cepas fueron cultivadas en caldo nutritivo por 48h, las células fueron centrifugadas, se descartó el caldo y fueron resuspendidas en agua destilada. Para las plantas se realizaron 2 inoculaciones de 5 mL de una suspensión de células con una cuenta de 10^8 células por ml determinadas con una cámara de Neubauer, con un intervalo de tiempo de 1 mes entre inoculación. En lechuga la primera inoculación se realizó en almácigo a los 15 días después de la siembra y en las plantas de chile fue a los 45 días después de la siembra. Se inocularon las 3 cepas de manera individual y en consorcio, al mezclar un volumen igual de suspensión de células de las 3 cepas.

Parámetros biométricos

Se determinó el parámetro de peso seco total de la siguiente manera: se colocaron en bolsas de papel la parte radical y aérea de las plantas, se secaron en la estufa de aire forzado a 70°C por 72 horas y se determinó el peso seco en una balanza analítica.

División 4

El área foliar de las hojas fue determinada con un integrador LICOR (LI 3000, Inc, Lincoln, NE, EE. UU.). Para esto, las muestras de hoja en fresco se recubrieron con hojas de plástico transparente.

Para el parámetro de contenido de nitrógeno, las muestras secas de parte aérea del procedimiento anterior fueron molidas, sometidas a digestión y se realizó un análisis elemental con ICP-Masas, de acuerdo con el método de Alcántar y Sandoval. (1999).

Análisis estadístico

Los experimentos se llevaron a cabo con un diseño completamente al azar. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) con la prueba de post-hoc de Tukey en el programa estadístico SAS versión 9.0. Para la variable de área foliar, la cual no cumple con la distribución normal, se analizaron con un código de R; se usaron los paquetes FSA y RCompanion para realizar las pruebas de Kruskal-Wallis y prueba post-hoc de Dunn.

Microscopía Electrónica

Las muestras de raíz de chile y lechuga fueron sumergidas en una solución de glutaraldehído, posteriormente sometidas a un tren de deshidratación en soluciones de etanol. Se llevó a cabo un secado con CO₂ supercrítico de las muestras y éstas fueron recubiertas con oro. Las muestras fueron observadas en un microscopio electrónico de barrido y se obtuvieron imágenes representativas de la colonización microbiana.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se puede observar en la figura 1 A) que no existen diferencias significativas en el contenido de nitrógeno, esto debido a que no hubo déficit de este elemento en las soluciones nutritivas. Sin embargo, en la figura 1 B) se observa que los tratamientos de consorcio en ambas plantas tienen un aumento del área foliar que es significativamente mayor que los demás. En la figura 1 C) se observa que los tratamientos con mayor peso seco son los correspondientes al tratamiento de consorcio, tanto de chile como de lechuga. El área foliar es un parámetro relacionado directamente con la fisiología, es fundamental para que se lleve a cabo la fotosíntesis ya que en la superficie de las hojas se lleva a cabo la captura de luz solar y dióxido de carbono. Un factor relacionado con el aumento de área foliar es el contenido de nitrógeno, ya que al aumentar su concentración se incrementa la síntesis de clorofila, y, en consecuencia, también el área de las hojas (Khosro *et al.* 2023). Este efecto está relacionado con la acción del consorcio de microorganismos para el aprovechamiento del nitrógeno por parte de las plantas, ya que de manera individual no tienen diferencia e incluso pueden ser menores al control.

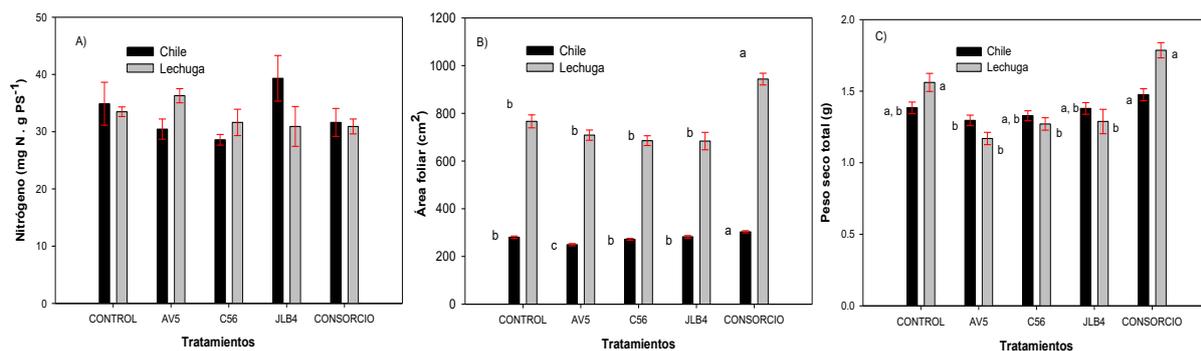


Figura 1. Parámetros biométricos de plantas de chile y lechuga, donde A): Nitrógeno total en biomasa seca, B): Área foliar y C): Peso seco total. Medias \pm EE con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$). Para área foliar de lechuga, Medianas+EE con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Dunn, $a \leq 0.05$).

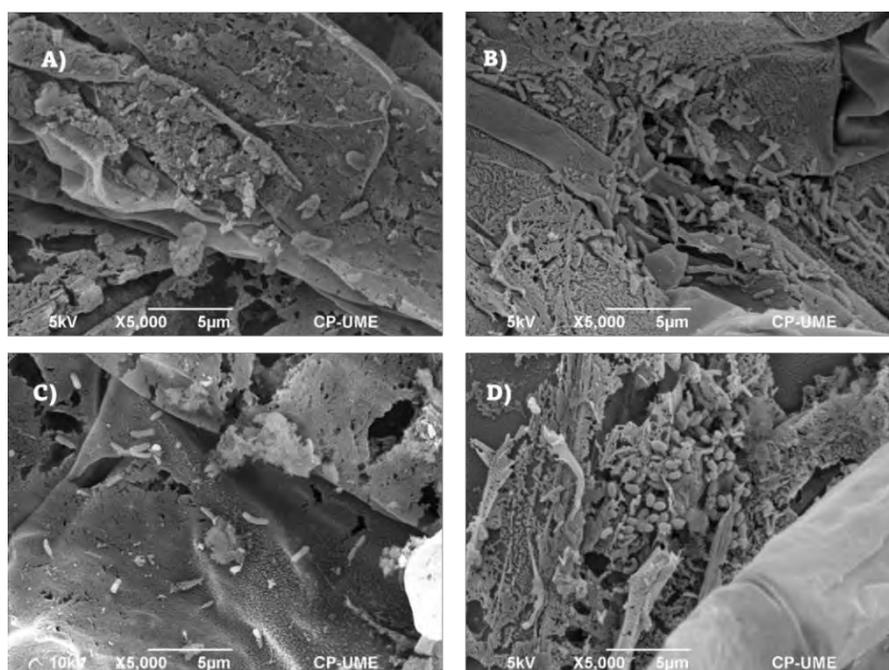


Figura 2. Micrografías SEM de la raíz de plantas, donde A): Control de lechuga, B): Consorcio de lechuga, C): Control de chile, D): Consorcio de chile.

En la figura 2 se puede observar la colonización microbiana, en el caso de A) y C) de bacterias nativas con escasas células y en el que sólo se observan estructuras vegetales. En cambio, en las figuras B) y D) relacionadas con los tratamientos de consorcios microbianos se observan poblaciones abundantes con diversas morfologías y estructuras relacionadas con la actividad microbiana. Estas estructuras son matrices biopoliméricas para la formación de biopelículas (Gamez *et al.* 2019), las cuales favorecen la supervivencia de microorganismos asociados a la rizósfera de la planta que se beneficia de esta interacción.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

CONCLUSIONES

La inoculación de plantas de chile y lechuga con rizobacterias en consorcio aumenta los parámetros de área foliar y peso seco total, comparado con el control y las bacterias de manera individual. Al observarse las raíces en las micrografías, también aumenta la población microbiana en los tratamientos de consorcio si se compara con el control. Se requieren más estudios relacionados con genes y metabolitos para determinar factores que promuevan la interacción de bacterias en consorcio al colonizar la raíz de las plantas con las que son afines.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento del proyecto de Investigación e Incidencia Orientado a Fortalecer las Estrategias Nacionales de Suelo para la Agricultura Sostenible COLPOS-SADER (CONV_ENASAS_2024_15) y al Campus Montecillo por las facilidades para la realización de los experimentos del presente trabajo, especialmente al Biól. Simón Morales, del área de Microscopía Electrónica.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcántar, G.G. y Sandoval, V.M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación especial No. 10 de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C. Chapingo, México. 156 p
- Gamez, R., Cardinale, M., Montes, M., Ramirez, S., Schnell, S., & Rodriguez, F. (2019). Screening, plant growth promotion and root colonization pattern of two rhizobacteria (*Pseudomonas fluorescens* Ps006 and *Bacillus amyloliquefaciens* Bs006) on banana cv. Williams (*Musa acuminata* Colla). *Microbiological research*, 220, 12-20. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.11.006>
- Khoso, M. A., Wagan, S., Alam, I., Hussain, A., Ali, Q., Saha, S., ... & Liu, F. (2023). Impact of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on plant nutrition and root characteristics: Current perspective. *Plant Stress*, 100341. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100341>
- Mohanty, P., Singh, P.K., Chakraborty, D., Mishra, S. & Pattnaik, R. (2021) Insight Into the Role of PGPR in Sustainable Agriculture and Environment. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 5:667150. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.667150>

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA DE LAS CUENCAS SAN FERNANDO-SOTO LA MARINA A TRAVÉS DE UN SIG

Mariela Estefanía Nava Vélez¹; René Ventura Houle¹;
Glenda Nelly Requena Lara¹

¹Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria,
Tamaulipas, México, C.P. 87000. nava.velez.mariela@gmail.com

RESUMEN

Las características del suelo son fundamentales para la planificación y administración hídrica, y en conjunto se utilizan para determinar el número de curva de una cuenca hidrológica; en este caso, de la Región Hidrológica Núm. 25 "San Fernando - Soto la Marina", en el centro de Tamaulipas. Los suelos se clasificaron según las categorías hidrológicas del suelo de USDA y se procesaron en conjunto con la vegetación y uso del suelo de INEGI, empleando un sistema de información geográfica (SIG). Las regiones serranas, tanto en la Sierra Madre Oriental, como en la de San Carlos y la de Tamaulipas, obtuvieron las mayores tasas de infiltración, baja escorrentía superficial y escasa erosión hídrica. Esta información es básica para la planificación del desarrollo sostenible y la gestión del agua en zonas marginadas, pero de alta importancia biocultural y

PALABRAS CLAVE

Clasificación hidrológica; Cuenca hidrológica; Edafología; Impacto ambiental; Sistemas de información geográfica.

INTRODUCCIÓN

El número de curva y las propiedades del suelo juegan roles cruciales en la organización y realización de proyectos, así como en la gestión del agua (Stefanidis *et al.*, 2024). Es una herramienta utilizada para estimar el escurrimiento superficial y evaluar cómo un terreno responde a diferentes niveles de precipitación (Deshpande y Dhorde, 2023). Este valor es fundamental para diseñar sistemas de drenaje efectivos, prevenir inundaciones y gestionar recursos hídricos de manera eficiente (Anvigh *et al.*, 2024). Basado en características como el tipo de suelo, el uso del suelo y la cubierta vegetal, el número de curva ayuda a prever cómo el agua se moverá a través de una superficie, permitiendo tomar decisiones informadas sobre el diseño y la construcción (Doost *et al.*, 2024). Por otro lado, el suelo es un componente esencial en numerosos aspectos de la ingeniería y la agricultura (Derpsch *et al.*, 2024). Las propiedades del suelo, como su textura, estructura, permeabilidad y capacidad de retención de agua influyen directamente en la estabilidad de las construcciones, la productividad agrícola y la eficacia de los sistemas de drenaje (Rathi *et al.*, 2024). Conocer la composición y las características del suelo permite adaptar sus enfoques para maximizar la sostenibilidad y minimizar el impacto ambiental (Philippot *et al.*, 2024). Es decir, tanto el número de curva como las propiedades del suelo son elementos

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

fundamentales que influyen en la planificación y ejecución de proyectos relacionados con la gestión del agua y el uso del suelo (Acuña-Alonso *et al.*, 2024). Una comprensión profunda de estos aspectos no solo optimiza el diseño y la funcionalidad de las infraestructuras, sino que también promueve prácticas más responsables y sostenibles en el manejo de recursos naturales (Imran *et al.*, 2024). Es interesante conocer esta información en zonas marginadas, pero de alta importancia biocultural, como el caso de la región mezcalera en la Sierra de San Carlos (RMSSC), la cuál es provista por los recursos hídricos de la región hidrológica No. 25, y la que no cuenta con cauces superficiales de importancia para el desarrollo de sus actividades económicas, por la que la población se abastece principalmente de pozos. Por lo anterior, se estableció como objetivo el evaluar el número de curva de las cuencas San Fernando-Soto la Marina, Tamaulipas basado en uso de suelo, tipo de vegetación y edafología de la región utilizando sistemas de información geográfica.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio abarca la Región Hidrológica Núm. 25 San Fernando - Soto la Marina, situada mayormente en el centro del estado de Tamaulipas, aunque su porción noroeste y occidente pertenecen al estado de Nuevo León. Esta región está formada por los ríos Soto la Marina y San Fernando y comprende 16 municipios tamaulipecos, seis de los cuales corresponden a la RMSSC (Méndez, Burgos, Cruillas, San Nicolás, Jiménez y San Carlos) e incluye la capital estatal (Victoria). Los cauces más relevantes son los ríos San Fernando y el Soto la Marina, que tienen una longitud en conjunto de 2,805.75 km.

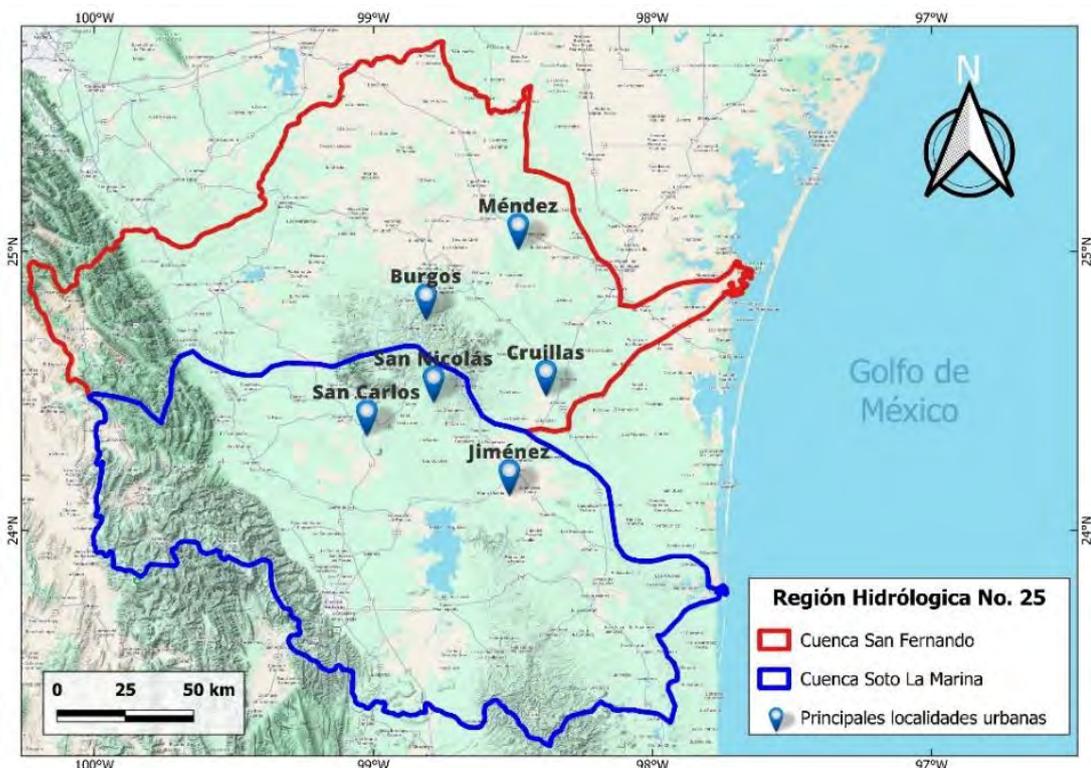


Figura 1. La Región Hidrológica Núm. 25.

División 4

El Papel de los Suelos en el Sostenimiento de la Sociedad y el Medioambiente

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Se utilizó la cartografía digital de la Serie VII para vegetación y uso de suelo, así como la serie III de edafología del INEGI, utilizando el *software* QGIS para procesar la información. Se reclasificó el tipo de suelo de acuerdo con las cuatro categorías del Servicio de Preservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Los tipos de suelo con escasa capacidad de escorrentía y una alta tasa de infiltración comprenden la categoría A; los que cuentan con un moderado índice de infiltración moderada y una escorrentía también moderada se categorizan como B o C; y los que presentan alta capacidad de escorrentía y muy baja tasa de infiltración son los tipo D. Por su parte, a los datos de vegetación y uso de suelo se le agregó el uso de la tierra y la condición hidrológica. Se unieron ambas capas (edafológica y uso de suelo) para calcular el área, así como también se le agregó el atributo de curvas de nivel con la ponderación correspondiente de acuerdo con las clasificaciones hidrológicas del suelo de la USDA para realizar una multiplicación de campos (número de curva * área) para luego aplicar la siguiente fórmula:

$$CN = \frac{\sum NCi * Ai}{\sum Ai}$$

Donde:

CN es el número de curva total

NCi es el número de curva establecido para cada parámetro

Ai es el área calculada de cada parámetro

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvo que en las cuencas San Fernando-Soto la Marina predominan los suelos A, B y D, es decir; que cuentan con altas, moderadas y muy bajas capacidades de infiltración, respectivamente. Los mayores números de curva (oscilando entre los 94 - 80) se observaron en el tipo de suelo vertisol con una vegetación predominante de mezquital xerófilo y matorral espinoso; así como los usos de suelo de asentamientos humanos, desprovisto de vegetación y agricultura; a diferencia de lo reportado por Jabri y Hessane (2022) donde solo se presentaron números de curva de 89-68 en suelo desprovisto de vegetación. De acuerdo con Bravo-Peña *et al.* (2020), las escorrentías elevadas, en terrenos de infiltraciones bajas y laderas suaves resultan en números de curva altos; es el caso de las regiones más planas, particularmente en el noroeste de la RH. Por su parte, los números de curva bajos indican tasas de infiltración altas, baja escorrentía superficial y escasa erosión hídrica, como sucede en las regiones serranas, tanto en la Sierra Madre Oriental, como en la de San Carlos, al centro y la de Tamaulipas, al sur de la RH. Por último, en el caso de las cuencas de estudio se obtuvo un NC promedio de 68.81, valores similares se reportan en la cuenca del río Mapuey, Venezuela ya que la mayoría de los suelos se encuentran dentro del grupo hidrológico B (Quiñonez, 2022).

División 4

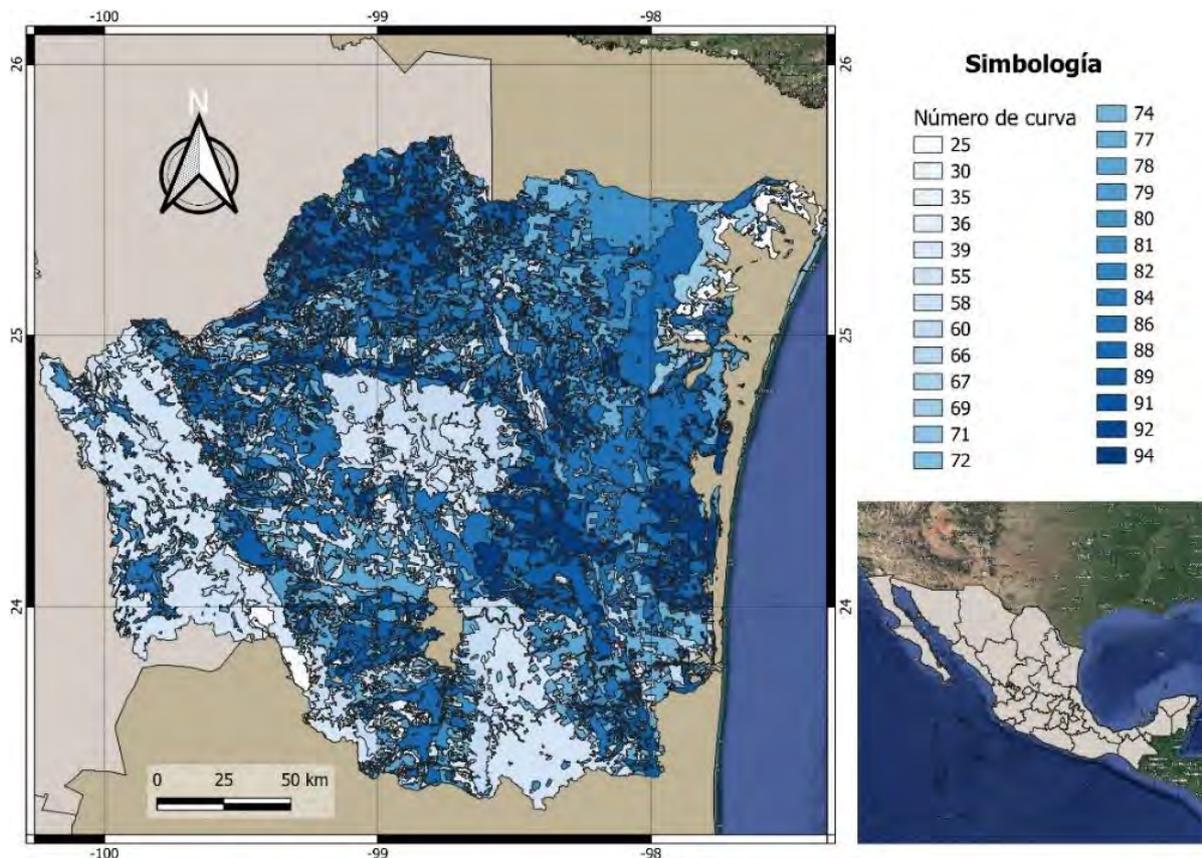


Figura 2. Representación cartográfica del número de curva en las cuencas San Fernando-Soto la Marina.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los datos de vegetación y uso de suelo, así como también de edafología, se logra obtener información para la determinación del número de curva CN. Asimismo, las cuencas presentan mayor escorrentía, es decir, menor infiltración en suelos con actividad antropogénica y vegetación xerófila. Este análisis es útil para la planificación y gestión hidrológica, del uso del suelo, gestión de cuencas y la implementación de prácticas de conservación del agua, especialmente necesarias en una región que está atrayendo en interés en su desarrollo por su cultura e identidad ligadas con su producción tradicional de mezcal, como ocurre en la Sierra de San Carlos y sus municipios.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña-Alonso, C., Álvarez, C., Bezak, N., & Zupanc, V. (2024). Modelling the impact land use change on flood risk: Umia (Spain) and Voglajna (Slovenia) case studies, *Ecological Engineering*, 200, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107185>
- Anvigh, R. M., Figueredo, J., & Macedo, J. (2024). Designing Sustainable Drainage Systems as a Tool to Deal with Heavy Rainfall-Case Study of Urmia City, Iran, *Sustainability*, 16, 1-30. <https://doi.org/10.3390/su16177349>

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Bravo-Peña, L. C., Reyes-Gómez, V. M., Moreno-Murrieta, R. L., Alatorre-Cejudo, L. C., Torres-Olave, M. E., Granados-Olivas, A., & Fuentes-Hernández, H. A. (2020). Cambios del uso del suelo e impactos en la escorrentía potencial de la cuenca Chuviscar-Sacramento (Chihuahua, México). Modelización con el método de número de curva, *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 26, 69-91. <http://dx.doi.org/10.21138/GF.669>
- Derpsch, R., Kassam, A., Reicosky, D., Friederich, T., Calegari, A., Basch, G., González-Sánchez, E., & Rheinheimer, D. (2024). Nature's laws of declining soil productivity and Conservation Agriculture, *Soil Security*, 14, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2024.100127>
- Deshpande, G., & Dhorde, A. A. (2024). Validating the Curve Number estimation approaches: A case study of an urbanizing watershed from Western Maharashtra, India, *Modeling Earth Systems and Environment*, 10, 1615-1629.
- Doost, Z. H., Alsuwaiyan, M., & Yaseen, Z. M. (2024). Runoff Management based Water Harvesting for Better Water Resources Sustainability: A Comprehensive Review, 5(1), 1-45. doi:10.51526/kbes.2024.5.1.1-45
- Imran, M., Hou, J., Wang, T., Li, D., Gao, X., Noor, R. S., Jing, J., & Ameen, M. (2024). Assessment of the Impacts of Rainfall Characteristics and Land Use Pattern on Runoff Accumulation in the Hulu River Basin, China, *Water*, 16, 1-25. <https://doi.org/10.3390/w16020239>
- Pilippot, L., Chenu, C., Kappler, A., Rilling, M. C., & Fierer, N. (2024). The interplay between microbial communities and soil properties, *Nature Reviews Microbiology*, 22, 226-239.
- Quiñonez, E. (2022). Determinación del número de curva (CN) a partir de imágenes satelitales, cuenca Río Mapuey, Municipio Ezequiel Zamora, Estado Cojedes, *Revista Científica VIPICREA*, 3, 1-14.
- Stefanidis, S., Proutsos, N., Alexandridis, V., & Mallinis, G. (2024). Ecosystem Services Supply from Peri-Urban Watersheds in Greece: Soil Conservation and Water Retention, *Land*, 13, 1-18. <https://doi.org/10.3390/land13060765>

División 4

DIVULGACIÓN DE COLECCIONES DE SUELOS MEDIANTE CÓDIGOS QR

**Gabriel Alejandro Hernández Vallecillo¹; Sandra Monserrat Barragán Maravilla¹;
Patricio Sánchez Guzmán¹**

¹Colegio de Postgraduados. Carr. México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56264.
Correo de autor de correspondencia: gabovalle16@gmail.com

RESUMEN

El avance de la tecnología como los códigos QR ha permitido mejoras en el almacenamiento y transferencia de información, que desde el ámbito educativo es una excelente herramienta que sirven de apoyo o complemento en la docencia en esta nueva era digital. El objetivo de este trabajo es generar códigos QR de la información edafológica de suelos descritos en varias partes del país, con la finalidad de que el público tenga acceso a estas bases de datos. A partir del año 2022, para cada monolito del suelo que se elabora en el Museo nacional de Suelos-México, se generó una base de datos con la descripción del perfil de suelo, análisis químicos, físicos, su clasificación científica y algunas fotografías. Desde entonces a la fecha, se han generado 41 códigos QR que corresponden a siete colecciones de suelos. Dichas colecciones se han realizado en colaboración con diferentes instituciones educativas, de investigación y gubernamentales. De esta manera, la información es de libre acceso y no es necesario tener el monolito de suelo de forma física. El público universitario es el que mejor recepción ha tenido, debido a la familiaridad con que utilizan las herramientas tecnológicas actuales. Asimismo, es una forma de almacenar información y llegar a otros públicos interesados, como productores, investigadores y docentes. Usar con códigos QR, permite, entre otras cosas, reconocer la importancia de contar con bases de datos de los suelos de nuestro país, que sirva para dar un uso o manejo adecuados.

PALABRAS CLAVE

Monolitos; Digitalización; Museo; Información; Tecnología.

INTRODUCCIÓN

La tecnología ha incidido en diferentes ámbitos y la parte de educación y enseñanza no es la excepción, provocando mejor y mayor acceso a la información, así como conexión entre materiales digitales y tradicionales (Herrera y Fennema, 2011). El almacenamiento de datos en servidores y la transferencia de información en tiempo real es posible gracias al avance de los dispositivos electrónicos. La tecnología de códigos QR surgió en Japón por la empresa Denso-Wave, después de los códigos de barras. Su creación también es conocido como Bidi o código bidimensional y es de acceso libre (Izquierdo, 2013).

Los códigos QR funcionan de la siguiente manera: el usuario crea contenido digital, por ejemplo, folletos, cuestionarios, entradas digitales y transacciones bancarias, etc. Posteriormente, lo almacena en la nube y lo vincula mediante una dirección URL al

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

código QR, el acceso se obtiene al leer los códigos mediante un dispositivo móvil con cámara y conexión a internet. Con ello, el acceso a la información tiene mayor alcance (Álvarez *et al.*, 2016). Esta herramienta no tiene costo extra, en comparación con el diseño y creación de un sitio web.

Por otra parte, cuando se realiza la extracción y preparación de un monolito de suelo para su exhibición como parte de una Colección de Suelos, se obtiene información del sitio y descripción del perfil de suelo, análisis químicos y físicos, climograma, fotos, mapa de localización, su clasificación científica y un enlace de Google maps que lleva al punto exacto donde se obtuvo la información, esta información resulta en una base de datos para cada ejemplar. Sin embargo, el acceso a dicha información se ve limitada por el traslado de los ejemplares o del público a los sitios donde se localizan las colecciones; o bien, se pierden los datos cuando el ejemplar se deteriora.

En este sentido, el objetivo de este trabajo es dar a conocer el uso de los códigos QR enlazados al acervo de información de diferentes ejemplares de monolitos de suelos que comprenden siete colecciones de suelo, realizadas por el Museo Nacional de Suelos de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Desde el año 2022 a la fecha, se han elaborado 41 monolitos de suelo, que corresponden a siete colecciones de suelos, que se han preparado en colaboración con diversas instituciones educativas, de investigación o gubernamentales.

La información de cada uno de los monolitos recolectados se organizó, se capturó o digitalizó para generar un PDF por cada uno de los ejemplares. Posteriormente, los archivos se guardaron en el Drive del correo del Museo Nacional de Suelos (MNS) y se les asoció una dirección URL a través de un código QR. Una vez que se obtienen los códigos QR, se colocan en los monolitos y se elaboran trípticos y carteles que contienen una breve información relacionada al museo, a los suelos y a la colección.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Hasta el momento, se han recolectado ejemplares de Cuatro Ciénegas, San Luis Potosí, Querétaro, Nuevo León, Estado de México y Ciudad de México, generado siete folletos para las siguientes colecciones: "VI International Soil Classification Congress", "Suelos Volcánicos", "Suelos Técnicos", "Monolitos de Suelos Salino-Sódicos", "Foro de Suelos y Exposición de Suelos en el Senado de la Republica", "Colección de Suelos Agrícolas del municipio de Temascalcingo" y "Colección de Suelos del Estado de México".

La principal utilidad de los QR es complementar la información que se les proporciona a los estudiantes, productores y público en general y que el acceso sea gratuito. De tal manera que el alcance de las colecciones ha llegado a 764 personas, en Ferias de Ciencias, foros, capacitaciones a productores, congresos nacionales e internacionales, y en el MNS (Figura 1). La mayoría del público son estudiantes de diversas carreras relacionadas con las Ciencias del Suelo o que en su plan de estudios tienen la asignatura de edafología. Por ejemplo, agronomía, biología, ciencias ambientales, manejo de recursos naturales, ingeniero en recursos naturales, ciencia de la tierra y geohistoria, entre otras.

División 4



Figura 1. Exposiciones de colecciones de suelo en diferentes instituciones educativas y con productores.

La información proporcionada mediante los códigos, así como la localización de los sitios de muestreo ha servido principalmente para la difusión de la importancia del recurso suelo y un complemento en la enseñanza en diferentes niveles educativos. Los estudiantes de nivel superior son los que más interactúan con esta tecnología (Hernández-Moreno, 2020), ya que gracias a las visitas que se reciben en el MNS la difusión es más rápida y llega a más público. La principal intención de la implementación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) es utilizarse como complemento en la enseñanza y difusión de la ciencia, ya que es de suma importancia adentrarse en las nuevas formas de socialización que se han generado en los últimos años (Arteaga, 2016).

División 4

CONCLUSIONES

La implementación de las diferentes herramientas tecnológicas como los códigos QR, permite un mayor alcance en cuanto a la distribución de la información, ahorro económico al no tener que cubrir costos de impresión y dominio web, sobre todo, es un complemento importante para la enseñanza en esta era digital.

El tener la información edafológica en plataformas de almacenamiento y georreferenciada es importante para generar bases de datos que complementen la información proporcionada por las autoridades. La digitalización de la información facilita la tarea de preservar el trabajo e investigación generada en las diferentes instituciones dedicadas al estudio del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Hernández-Moreno, L. A., López-Solórzano, J. G., Villanueva-Chi, C. I., 2020. Códigos QR en actividades académicas de nivel superior. *Vinculatégica Efan*. Volumen 6, numero 2, pp. 1818-1828.
- Arteaga, F. (2016). QR académico: una propuesta didáctica emergente con apropiación de la cultura juvenil. *Enl@ce: Revista Venezolana de Información, Tecnología y conocimiento*, Mayo-Agosto, 40-55
- Herrera, S. y Fennema, M. (2011). Tecnologías móviles aplicadas a la educación superior. *Actas del XVII congreso argentino de ciencias de la computación*, 620-630. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/18718>
- Izquierdo, A. (2013). Códigos QR flexibles: un proyecto con dispositivos móviles para el trabajo de calentamiento en educación física. *EmásF: Revista Digital de Educación Física*. <http://emasf.webcindario.com>

EL SUELO, FACTOR CLAVE PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA EN ZEGACHE, OAXACA

Patricio Sánchez-Guzmán¹; Verónica Mariles-Flores²;
Miguel Ángel Cano García²

¹Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Postgrado en Edafología. Campus Montecillo.
sanchezp@colpos.mx

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental "Valles Centrales de Oaxaca"

RESUMEN

La producción agrícola de subsistencia tiene un papel fundamental en la sociedad y uno de los cultivos de mayor arraigo es el maíz. La región de los "Valles Centrales de Oaxaca" no es la excepción. El producto obtenido no solamente se utiliza para el consumo de la población local (elaboración de tortillas y totopos), sino que representa ingresos importantes para las familias de los productores ya que el costo de la semilla de "maíz bolita" supera hasta en 10 veces el precio comercial en la región. Los rendimientos de este cultivo han sido afectados al paso del tiempo por el uso intensivo de la tierra, la competencia con otros cultivos como el agave para la producción de mezcal y la degradación química y física de los suelos, que finalmente se manifiesta en áreas no aptas para la agricultura y se convierten en áreas destinadas a la ganadería extensiva o bien se consideran tierras sin uso. El objetivo del estudio radica en caracterizar física y químicamente a las distintas tierras de la región, evaluar su estado y proponer un manejo agronómico que permita garantizar la producción de alimentos a largo plazo. Los resultados muestran que el diagnóstico oportuno de las características menos favorables y su propuesta de manejo agronómico garantizan la sostenibilidad del sistema productivo en la región de estudio.

PALABRAS CLAVE

Clasificación de tierras; Manejo agronómico; Productividad; Propiedades del suelo.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el servicio de información agroalimentaria y pesquera la región de los Valles Centrales de Oaxaca es la principal productora de maíz en el estado; en ella se cultivan más de 157 200 hectáreas que representa el 30% de la superficie cultivada a nivel estado; su rendimiento medio es de 1.2 toneladas por hectárea y un valor de producción de 4 900 pesos por unidad de superficie (SIAP, 2023). Por otra parte, los principales suelos que se reportan en la zona de estudio corresponden con Luvisols (85%), Regosols (10%) y Fluvisols (5%) de acuerdo con la carta edafológica escala 1:250 000 hoja Zaachila E14-12 (INEGI, 2007).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

A pesar de que el rendimiento del cultivo está por debajo de la media estatal (1.5 ton ha^{-1}), el valor de la producción del “maíz bolita” se incrementa hasta en 10 veces ya que por su sabor y consistencia muy particular se destina casi en su totalidad a la elaboración de productos comestibles como los totopos y tortillas (tlayudas) y en el mercado local el costo de 1 kg de semilla llega a tener un valor de hasta 30 o 40 pesos. Por esta razón, la conservación del sistema productivo adquiere suma relevancia tanto en el aspecto económico, como social.

MATERIALES Y MÉTODOS

La comunidad de Santa Ana Zegache se localiza al Noroeste de la cabecera Distrital que es Ocotlán de Morelos. Tiene una superficie de 2680 ha, que se destinan en su mayoría a las actividades agrícolas y ganadería extensiva. El clima de la región se considera como un semiseco con lluvias en verano, con una precipitación pluvial media anual de 735 mm y una temperatura media de 19.7°C y una elevación de 1490 msnm. El relieve se constituye por una planicie rodeada de lomeríos con pendientes suaves y medias y una geología dominada por rocas ígneas extrusivas, areniscas y sedimentos aluviales (INEGI, 2004).

La información edafológica oficial se encuentra únicamente a escala 1:250 000 y constituye un problema, pues en ella no se refleja la variabilidad edafológica, razón por la cual se generó un mapa de clases de tierras con un enfoque participativo a través de un estudio etnoedafológico (Ortiz *et al.*, 1990) y posteriormente se realizó su clasificación científica (WRB, 2022). Finalmente se evaluaron las propiedades de cada una de las clases de tierras y se realizó una recomendación de manejo agronómico acorde con éstas, para garantizar la sustentabilidad del sistema de producción de maíz bolita en la zona de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la zona de estudio existen 7 clases de tierras distintas. La pendiente del terreno varía del 45% en la zona de montaña hasta el 1% en la cercanía de las corrientes fluviales (Figura 1). En la parte más alta del municipio se ubican las tierras pedregosas, donde lo limitado de la profundidad y su pedregosidad superficial mayor al 50% son factores condicionantes para que en éstas no se desarrolle la agricultura y el uso preferente sea la ganadería extensiva. En la parte intermedia (zona de lomeríos) se encuentran suelos profundos de coloraciones rojizas, dedicados a la agricultura de temporal, en donde los granos básicos como maíz y trigo presentan poco éxito pues una de sus principales limitantes es su fertilidad natural. Estos suelos se originan a partir del intemperismo de areniscas, cuyo principal mineral constituyente es el cuarzo. En la parte baja, los suelos se forman a partir de la acumulación de sedimentos procedentes del desborde de los arroyos son los más profundos de la zona; es posible encontrar suelos dominados por la fracción arena (tierra arenosa y tierra gris) y arcilla (tierras negras, y tierras roja/negra) y se presenta en la porción oriente del municipio; mientras que en la parte occidental se encuentran las tierras formadas a partir del desbordamiento del Río Atoyac cuyos sedimentos presentan texturas franco limoso (tierra de Yocuela).

División 4

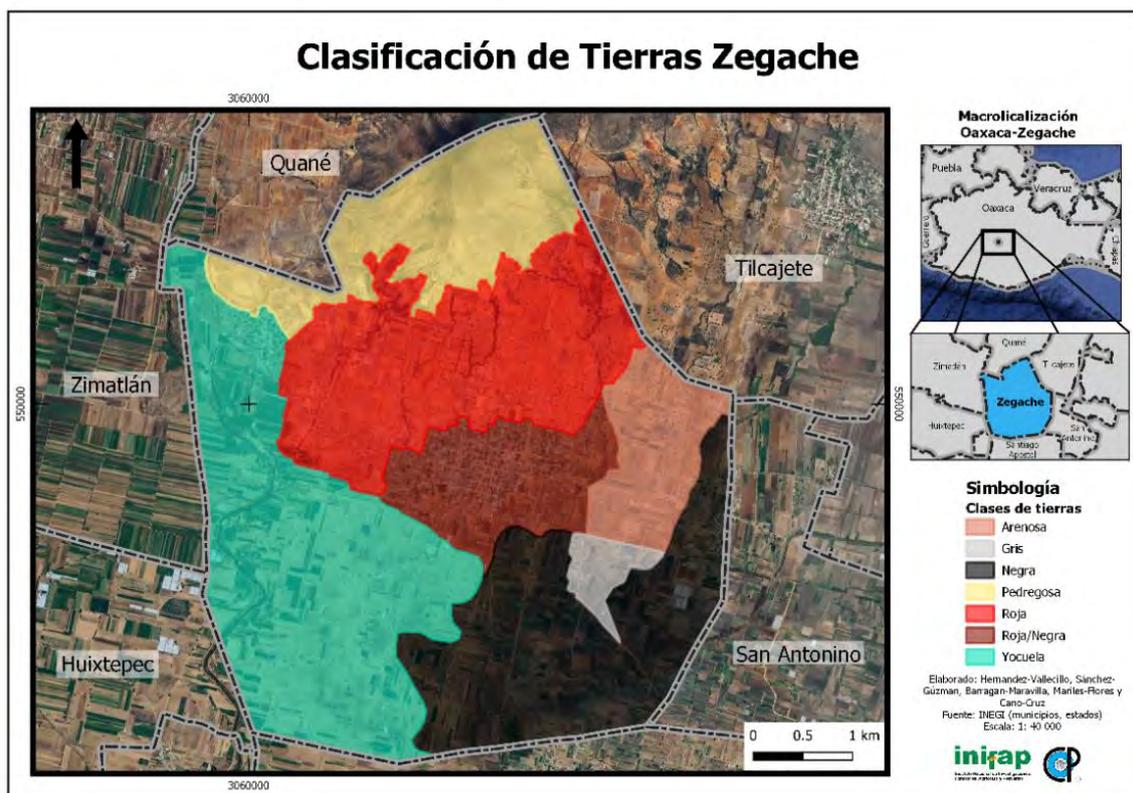


Figura 1. Distribución espacial de las Clases de Tierra en Zegache, Oaxaca.

De acuerdo con la superficie ocupada (Cuadro 1), la Tierra de Yocuela es la dominante, ocupa una tercera parte de la superficie total: son profundas (>150 cm), una elevada fertilidad natural y texturas medias que favorecen el desarrollo de los cultivos. Las tierras Negra y Roja/Negra se caracterizan por presentar suelos dominados por partículas finas y juntas ocupan otra tercera parte de la superficie estudiada. Las Tierras rojas ocupan una quinta parte de la superficie del municipio y sus principales características son sus tonalidades rojizas y su textura dominada por la fracción arena, ambas heredadas del material parental (arenisca) y como consecuencia es el cuarzo el mineral abundante. Las tierras gris y arenosa ocupan una décima parte del área; se formaron por acumulación de sedimentos procedentes de las corrientes fluviales, pero a diferencia de aquellas de texturas finas, en éstas la deposición de partículas más gruesas sugiere que se encuentran en áreas donde las corrientes eran más turbulentas.

Cuadro 1. Superficie ocupada por clase de tierra en Santa Ana Zegache.

Clase de tierra	Uso	Superficie (ha)	%
Arenosa	Agrícola	177.1	6.6
Gris	Agrícola	44.6	1.7
Negra	Agrícola	533.9	19.9
Pedregosa	Pastoreo	349.5	13.0
Roja	Agrícola	569.6	21.3
Roja/Negra	Agrícola	237.7	8.9
Yocuela	Agrícola	767.9	28.6
Total		2680.3	100

División 4

La descripción de los perfiles representativos de suelos en cada una de las clases de tierras permite conocer a detalle sus características o propiedades distintivas. Esa caracterización sumada a los datos analíticos de cada uno de los horizontes que constituyen el suelo permite además de clasificar científicamente a los suelos, realizar la evaluación del sistema productivo asociado con el cultivo de maíz en la región (Cuadro 2).

Al respecto de la clasificación de suelos, los factores de formación de suelos que mayor influencia tienen en la zona de estudio son la geología, el relieve y el clima. La geología tiene amplia influencia en la zona de areniscas, pues el bajo intemperismo de sus minerales condiciona la presencia de suelos con texturas gruesas y poca o nula presencia de materiales secundarios que pudieran dar origen a otros procesos evolutivos en los suelos (Cambisols). El relieve tiene influencia en toda la parte baja de la zona, donde la acumulación de partículas finas (limos y arcillas) transportadas por corrientes fluviales y su posterior deposición dan como resultado la presencia de Vertisols y Fluvisols; la ocurrencia de ambos grupos de suelos, obedecen a las características particulares del relieve y la distancia a partir de las corrientes fluviales. La ocurrencia de Luvisols y Acrisols, como lo reportan Vazquez-Rasgado y Ramírez-Ortiz, no es factible ya que se requiere un régimen altamente lixivante para que ocurra el lavado de bases y arcillas que son típicos de esos grupos de suelos.

Para garantizar la sustentabilidad del sistema se proponen dos escenarios: 1) Adicionar una capa de 6 cm de enmiendas orgánicas en la superficie del suelo, repetir la adición a los 10 años y 2) adicionar una capa de 3 cm de enmiendas orgánicas en la superficie del suelo y repetir la adición cada 5 años.

Con uso del software "Soil Water Characteristics" se puede estimar el comportamiento de algunas propiedades hidrológicas en función de las propiedades del suelo como textura, contenido de materia orgánica y densidad aparente que conociendo las cantidades adicionadas de enmiendas orgánicas es posible determinar el cambio en sus propiedades en la parte superficial (Cuadro 3).

Cuadro 2. Clasificación Científica de los suelos agrícolas y sus características.

Clase de tierra	Clasificación de Suelos (WRB 2022)	Dureza *	Drenaje **	Fertilidad ***
Negra	Pellic Vertisols (Calcaric, Gleyic, Grumic)	★★★★★	★★★★★	★★★★★
Roja/Negra	Chromic-Pellic Vertisols (Calcaric, Grumic)	★★★★★	★★★★★	★★★★★
Roja	Fragic Rhodic Cambisols (Arenic, Ochric)	★★★★★	★★★★★	★★★★★
Arena	Pantofluvic Eutric Fluvisols (Arenic)	★★★★★	★★★★★	★★★★★
Gris	Pantofluvic Eutric Fluvisols (Loamic)	★★★★★	★★★★★	★★★★★
Yocuela	Pantofluvic Gleyic Eutric Fluvisols (Siltic)	★★★★★	★★★★★	★★★★★

* Evaluada a través de la consistencia de la los agregados.

** Evaluado a través de la permeabilidad y rasgos redoximórficos.

*** Evaluada a partir de datos analíticos de MO, N-total, bases intercambiables y P disponible.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cuadro 3. Modificaciones de las propiedades del suelo para los escenarios planteados.

Variable/Escenario	TN 6 cm	TN 3 cm	TR 6 cm	TR 3 cm	TY 6 cm	TY 3 cm
MO (%)	+8	+4	+9	+5	+9	+5
Da (%)	-16	-9	-15	-8	-16	-9
CC (%)	+3	+1	+42	+22	+17	+8
PMP (%)	+2	+1	+46	+29	+15	+7
Hsat (%)	+17	+6	+30	+13	+45	+23
Kfs (%)	+800	+24	+80	+22	+1223	+461

CONCLUSIONES

La descripción de suelos permite conocer a detalle las características menos favorables para el sistema productivo, y su evaluación permite considerar las prácticas agronómicas a seguir en cada clase de tierra.

La adición de materia orgánica mejora algunas propiedades físicas y de manera considerable las propiedades hidrológicas de los suelos y su efecto es diferencial en función del tamaño de partículas.

BIBLIOGRAFÍA

- Instituto Nacional de Estadística geografía e Informática. (2007). Carta edafológica 1:250 000, Hoja Zaachila (E14-12). México.
- Instituto Nacional de Estadística geografía e Informática. (2004). Síntesis geográfica del estado de Oaxaca. México.
- Ortiz S., C.A., Pájaro H., D. y Ordaz Ch., V.M. (1990). Manual para la cartografía de clases de tierras campesinas. Cuadernos de Edafología. México.
- Saxton, K.E. and Rowls, W.J. (2006). Soil and water Characteristics estimates by Texture and Organic matter for Hydrologic solutions. Soil science society of American Journal 70: 1569-1578.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). Anuario estadístico de la producción agrícola. Valles centrales de Oaxaca. México.
- Vázquez-Rasgado, P.S. y Ramírez-Ortiz, G. (2018). Los suelos de los Valles Centrales de Oaxaca. Revista Mexicana de Agroecosistemas. Vol 5(2): 156-167.

EVALUACIÓN DE BIOESTIMULANTES EN EL CULTIVO DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum*) VARIEDAD SARGENTO BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN EL SUR DE JALISCO

De la Torre Sedano Andrea Liliana; Liliana Carolina Córdova Albores;
Geremias Rodríguez Bautista; Antonio Hilario Lara Rivera;
Nicasio David Sánchez Cruz

¹Departamento de Ciencias Exactas, Naturales y Tecnológicas, CUSUR, Universidad de Guadalajara 49000, Ciudad Guzmán, México. liliana.delatorre@alumnos.udg.mx

RESUMEN

Este estudio se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de 4 productos comerciales bioestimulantes a diferentes dosis divididos en 7 tratamientos, aplicados en el cultivo de jitomate bajo condiciones de invernadero en el sur de jalisco, México. La plántula se trasplantó a los 30 días posteriores a la siembra, a sistema tres bolillo, en 7 surcos divididos con un diseño de bloques al azar y 2 repeticiones, de tal manera, que cada repetición conto con 40 plantas. Las variables respuestas que se evaluaron fueron: agronómicas de crecimiento (Altura de la planta, diámetro del tallo) y de productividad (Peso del fruto, diámetro ecuatorial del fruto, diámetro polar del fruto, grados Brix y total de cosecha) que permitieron evaluar la productividad de cada tratamiento. Los resultados mostraron que existen diferencias significativas entre los tratamientos, de acuerdo con la variable evaluada, sin embargo, se logró observar que los bioestimulantes a base de espirulina mejoró el crecimiento vegetativo de la planta, por otro lado, el uso de Trichoderma y humus de lombriz presentaron buenos resultados para la producción de frutos obteniendo calibres desde M a XL.

PALABRAS CLAVE

Pruebas de bioestimulantes; Producción; Crecimiento.

INTRODUCCIÓN

Uno de los temas importantes por afrontar en los próximos años en la sociedad es abastecer la demanda de alimentos que cada vez se hace más presente y así mismo disminuir el impacto de la agricultura que esto conlleva debido a las malas prácticas en la agricultura. Para abastecer el mercado se ha implementado el uso de los fertilizantes minerales y artificiales para aportar una buena nutrición a los cultivos desde hace años y esto ha facilitado obtener mayor rendimiento de alimentos; sin embargo, la explotación de las minas y los altos costos para la fabricación de los fertilizantes junto con un uso excesivo o ineficiente de su aplicación a los suelos han provocado problemas negativos al ambiente como la eutrofización, contaminación de aguas superficiales y subterráneas y el deterioro de la estructura del suelo.

Una alternativa para ayudar a resolver estas problemáticas es la implementación de bioestimulantes para mejorar la nutrición junto con el fertilizante mineral, balanceando de este modo la nutrición, aportando una estimulación al cultivo para hacer eficiente el fertilizante mineral. De acuerdo a Morales y Gloria (2017) la

División 4

bioestimulación se puede entender como la inducción para promover o retrasar un proceso fisiológico, lo que implica la aplicación de productos con dicho fin, estos son sustancias orgánicas que se utilizan para potenciar el crecimiento y desarrollo de la planta y entregar mayor resistencia a las condiciones de estrés bióticos y abióticos, tales como temperaturas extremas, estrés hídrico por déficit o exceso de humedad, salinidad, toxicidad, incidencia de plagas y/o enfermedades.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se realizó en los meses de agosto 2023 a enero 2024 en el invernadero experimental del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario 293 (CBTA) ubicado en MG52+M8 Parque Industrial Zapotlán 2000, Jalisco. La zona presenta una temperatura anual de 20 °C, con máximo de 30 .0°C y mínima de 10.1 °C. Se utilizaron; Producto experimental Espirulina por Ficocyan Producto comercial Ficocyan Producto comercial Trichozyme a base de Trichoderma y Bacillus. Producto experimental BF4 Foliar y Drench a base de Humus de lombriz y minerales. Plántula de Jitomate variedad Sargento. La toma de datos se realizó semanalmente para las variables altura y diámetro del tallo de la planta y una vez iniciando el periodo de cosechas los datos fueron tomados semanalmente, mientras que las variables peso del fruto, diámetro ecuatorial del fruto, diámetro polar del fruto, grados Brix y total de cosecha. Se evaluaron los tratamientos utilizando un diseño de bloques completos al azar con 7 tratamientos y 2 repeticiones con un total de 14 unidades, con los resultados obtenidos se realizó un ANOVA Simple para cada variable evaluada mediante el paquete estadístico Statgraphics.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de varianza, se detectó significancia estadística ($P < 0.05$) para altura de la planta y diámetro del tallo en la última medición a los 115 días siendo un grupo homogéneo los tratamientos que destacaron para la altura de la planta el T7-Testigo, T1-Espirulina alta, T5-BF4 Foliar y el T3-Ficocyan, mientras que para el diámetro del tallo el grupo homogéneo destaco el T5-BF4 Foliar, T6-BF4 Drench y el T7-Testigo. Resultados obtenidos por Colin (2023), a los 78 días después del trasplante todos los tratamientos rebasaron los 160 cm, pero el que destacó con 180 cm fue el genotipo Sargento F1, comparando con los resultados obtenidos en este experimento; a los 60 días ya alcanzaron una altura entre 171 cm a 187 cm, mientras que el diámetro del tallo de la variedad sargento fue de 14.11 mm en comparación con los resultados del experimento se obtuvo un diámetro final entre 10 a 11.79 mm, siendo este el más alto, de acuerdo con el tratamiento (Tabla 1 y 2).

Tabla 1. Valores promedio de la variable evaluada Altura de la Planta.

TRATAMIENTOS	ALTURA (cm)						
	15 DÍAS	30 DÍAS	45 DÍAS	60 DÍAS	85 DÍAS	100 DÍAS	115 DÍAS
T1 - Espirulina alta	35.06 ^b	86.98 ^{ba}	146.74 ^a	184.31 ^a	213 ^a	227.52 ^b	261.67 ^a
T2 - Espirulina Baja	34.59 ^b	80.11 ^d	137.41 ^b	171.36 ^b	188.86 ^c	200.75 ^c	241.45 ^{cb}
T3 - Ficocyan	31.72 ^c	78.96 ^d	138.34 ^{ba}	174.54 ^b	194.47 ^{cb}	223.20 ^b	252.82 ^{ba}
T4 - Trichozyme	34.65 ^d	84.38 ^{cb}	136.09 ^b	176.62 ^b	200.37 ^b	226.08 ^b	237.14 ^c
T5 - BF4 Foliar	34.65 ^b	86.78 ^{ba}	95.62 ^c	187.35 ^a	218.76 ^a	242.22 ^a	256.77 ^a
T6 BF4 Drench	36.62 ^a	81.52 ^{dc}	140.61 ^{ba}	175.62 ^b	201.81 ^b	221.75 ^b	243.60 ^{cb}
T7-Testigo	35.67 ^{ba}	89.87 ^a	145.09 ^{ba}	187.84 ^a	212.81 ^a	241.37 ^a	264.57 ^a

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Tabla 2. Valores promedio de la variable evaluada Diámetro del Tallo.

TRATAMIENTOS	DIAMETRO DEL TALLO (mm)						
	15 DÍAS	30 DÍAS	45 DÍAS	60 DÍAS	85 DÍAS	100 DÍAS	115 DÍAS
T1 - Espirulina alta	4.61 ^a	7.42 ^{ba}	9.11 ^c	9.41 ^{cb}	11.16 ^a	10.43 ^{cb}	10.83 ^{cb}
T2 - Espirulina Baja	4.54 ^{ba}	4.06 ^d	8.68 ^d	8.63 ^d	8.97 ^d	10.25 ^{cb}	11.11 ^{cb}
T3 - Ficocyan	4.33 ^{cb}	8.04 ^a	10.08 ^a	9.09 ^{dc}	9.73 ^c	10.38 ^{cb}	10.91 ^{cb}
T4 - Trichozyme	4.20 ^c	5.43 ^{dc}	9.32 ^{cb}	9.02 ^{dc}	9.46 ^{dc}	10.08 ^c	10.58 ^c
T5 - BF4 Foliar	4.44 ^{cba}	6.35 ^{cb}	9.41 ^{cb}	9.73 ^{ba}	10.40 ^b	10.58 ^b	11.79 ^a
T6 BF4 Drench	4.67 ^a	6.12 ^{cb}	9.52 ^b	9.01 ^{dc}	9.44 ^{dc}	10.31 ^{cb}	11.27 ^{ba}
T7 - Testigo	4.38 ^{cba}	8.83 ^a	10.03 ^a	10.13 ^a	11.72 ^a	11.57 ^a	11.24 ^{ba}

Para las variables peso del fruto, diámetro del fruto el análisis de varianza, mostraron diferencia significativa estadística ($P < 0.05$) de acuerdo a las semanas de cosecha para peso del fruto la semana 1, 10 y 11, diámetro polar del fruto en las semanas 3, 4 y 5 y diámetro ecuatorial del fruto en la semana 1, 3, 4, 5 y 10. Mientras que la variable grados Brix los tratamientos no presentaron diferencia estadística, siendo los tratamientos T5, T4, T3 y T1 los que se mantuvieron en los grupos homogéneos dependiendo la variable, por lo tanto, los que más destacaron para el desarrollo del fruto son los productos a base de espirulina, trichoderma y humus de lombriz, de tal manera concuerda con los resultados obtenidos por Casanova Chao (2017) donde la aplicación de spirulina A. máxima en jitomate variedad Cid F1 y evaluaron el peso promedio del fruto y no encontraron diferencias significativas, dando como resultados en aplicación foliar de 187.8 g. y en suelo 182.5 g. Briones García y Gorozabel (2022) mencionan que la aplicación de ácidos húmicos en jitomate variedad "riñón" a los 90 días de siembra presentó un diámetro polar en promedio de 8,70 cm, mientras que nuestro tratamiento con Ácidos húmicos se obtuvo un promedio de diámetro polar de 60.69 mm a 68.6 mm.

Tabla 3. Valores promedio de la variable evaluada Peso del fruto.

TRATAMIENTOS	13-nov	15-nov	22-nov	30-nov	04-dic	08-dic	15-dic	21-dic	28-dic	03-ene	11-ene
	PESO DEL FRUTO (g)										
SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8	SEMANA 9	SEMANA 10	SEMANA 11	
T1 - Espirulina alta	115.7 ^b	116.1 ^b	122.7 ^{ba}	132.6 ^a	132.2 ^{ba}	150.8 ^a	147.6 ^b	139.2 ^a	171.7 ^a	156.8 ^a	128.7 ^{cb}
T2 - Espirulina Baja	135.7 ^a	129.6 ^{ba}	120.7 ^{ba}	124.7 ^a	120 ^b	114.5 ^b	151.2 ^b	147 ^a	133.4 ^b	121.4 ^b	122.2 ^c
T3 - Ficocyan	117.6 ^b	128.6 ^{ba}	109.8 ^b	132.2 ^a	128 ^{ba}	131 ^{ba}	175.6 ^a	140.4 ^a	153 ^{ba}	138.8 ^{ba}	126.5 ^c
T4 - Trichozyme	133 ^a	121.7 ^{ba}	122.7 ^{ba}	122.5 ^a	123.2 ^b	132.6 ^{ba}	154.4 ^{ba}	129.8 ^a	144.6 ^{ba}	156.8 ^a	152.5 ^{ba}
T5 - BF4 Foliar	141.3 ^a	121.3 ^{ba}	117.8 ^b	123.0 ^a	132.7 ^{ba}	141 ^{ba}	149.2 ^b	132.6 ^a	161.4 ^{ba}	135 ^b	132.6 ^{cba}
T6 BF4 Drench	113.1 ^b	133.7 ^a	136.7 ^a	123.5 ^a	120.6 ^b	141 ^{ba}	151.8 ^b	142.6 ^a	153 ^{ba}	133.4 ^b	115.6 ^c
T7 - Testigo	115.7 ^b	120.5 ^{ba}	123.1 ^{ba}	130.0 ^a	144.7 ^a	139.2 ^{ba}	161 ^{ba}	141 ^a	140.6 ^{ba}	135 ^b	158.3 ^a

Tabla 4. Valores promedio de la variable evaluada Diámetro polar del fruto.

TRATAMIENTOS	13-nov	15-nov	22-nov	30-nov	04-dic	08-dic	15-dic	21-dic	28-dic	03-ene	11-ene
	DIAMETRO POLAR DEL FRUTO (mm)										
SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8	SEMANA 9	SEMANA 10	SEMANA 11	
T1 - Espirulina alta	66.45 ^{ba}	63.8 ^a	55.9 ^b	69.6 ^a	66.6 ^a	68.2 ^a	67.6 ^a	65 ^a	75.2 ^a	70.3 ^a	67.4 ^a
T2 - Espirulina Baja	67 ^{ba}	67 ^a	58.2 ^b	64.2 ^{cb}	60.3 ^{cb}	62.2 ^b	70 ^a	68.8 ^a	70.8 ^{ba}	65.8 ^b	65.1 ^a
T3 - Ficocyan	68.5 ^a	65.2 ^a	56.3 ^b	56.5 ^d	59.3 ^{dc}	63.4 ^{ba}	66.4 ^a	65.2 ^a	67.22 ^b	66.9 ^{ba}	63 ^a
T4 - Trichozyme	69 ^a	65.7 ^a	67.2 ^a	61.6 ^c	55.2 ^d	61.8 ^b	68.4 ^a	66 ^a	70.1 ^{ba}	70.5 ^a	70.3 ^a
T5 - BF4 Foliar	67.1 ^{ba}	63.7 ^a	55.6 ^b	67 ^{ba}	61 ^b	63.8 ^{ba}	66.8 ^a	63.4 ^a	70.7 ^{ba}	67.5 ^{ba}	62.4 ^a
T6 BF4 Drench	65.8 ^{ba}	66.7 ^a	67.1 ^a	63.3 ^{cb}	57 ^{dc}	64.4 ^{ba}	68.2 ^a	66.8 ^a	70.9 ^{ba}	68.8 ^{ba}	62.9 ^a
T7 - Testigo	63.8 ^b	64.3 ^a	57.1 ^b	66.3 ^{cba}	61.8 ^b	64 ^{ba}	69.2 ^a	65 ^a	69.1 ^{ba}	66.3 ^{ba}	64.6 ^a

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Tabla 5. Valores promedio de la variable evaluada Diámetro ecuatorial del fruto.

	13-nov	15-nov	22-nov	30-nov	04-dic	08-dic	15-dic	21-dic	28-dic	03-ene	11-ene
DIAMETRO ECUATORIAL DEL FRUTO (mm)											
TRATAMIENTOS	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8	SEMANA 9	SEMANA 10	SEMANA 11
T1 - Espirulina alta	55.5 ^b	55.1 ^a	66.1 ^a	60.68 ^a	57.8 ^c	60.4 ^a	58.6 ^a	60.8 ^a	65.2 ^a	62.2 ^a	59.7 ^{ba}
T2 - Espirulina Baja	58.1 ^{ba}	58.1 ^a	65.5 ^a	60.64 ^a	60 ^{cb}	52.7 ^b	62.8 ^a	60.2 ^a	58.2 ^b	57.9 ^b	56.9 ^{ba}
T3 - Ficocyan	56.5 ^b	57.8 ^a	61.4 ^{cba}	53.9 ^c	66.6 ^a	59 ^a	61 ^a	59.8 ^a	61.6 ^{ba}	60.5 ^{ba}	57.7 ^{ba}
T4 - Trichozyme	61 ^a	57.5 ^a	57.3 ^c	56.8 ^{cba}	63.82 ^{ba}	59.2 ^a	62.6 ^a	57 ^a	59.5 ^b	63.8 ^a	62.6 ^a
T5 - BF4 Foliar	58.2 ^{ba}	56.8 ^a	64.7 ^a	55.5 ^{cb}	65.2 ^a	61.4 ^a	61.4 ^a	57 ^a	61.9 ^{ba}	60.2 ^{ba}	55.9 ^{ba}
T6 - BF4 Drench	55.6 ^b	58.3 ^a	59.4 ^{cb}	58.6 ^{ba}	63.87 ^{ba}	59.8 ^a	62.6 ^a	58.2 ^a	62.6 ^{ba}	57.3 ^b	53.7 ^b
T7 - Testigo	56.5 ^b	56.9 ^a	62.1 ^{ba}	58.9 ^{ba}	65.5 ^a	59 ^a	61.8 ^a	59.8 ^a	61.6 ^{ba}	62.9 ^a	58.8 ^{ba}

Tabla 6. Valores promedio de la variable evaluada Grados brix del fruto.

	15-nov	22-nov	30-nov	04-dic	08-dic	15-dic	21-dic	28-dic	03-ene	11-ene
GRADOS BRUX										
TRATAMIENTOS	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8	SEMANA 9	SEMANA 10
T1 - Espirulina alta	4.62 ^a	5.75 ^a	4.75 ^a	5.25 ^a	5.0 ^a	5.25 ^a	4.5 ^a	4.75 ^a	5.0 ^a	5.0 ^a
T2 - Espirulina Baja	5.5 ^a	5.0 ^a	5.0 ^a	5.0 ^a	5.0 ^a	5.25 ^a	4.5 ^a	5.25 ^a	4.75 ^a	4.75 ^a
T3 - Ficocyan	5.12 ^a	5.0 ^a	5.25 ^a	4.75 ^a	4.75 ^a	5.25 ^a	5.25 ^a	4.75 ^a	5.0 ^a	4.75 ^a
T4 - Trichozyme	5.5 ^a	5.0 ^a	4.75 ^a	5.0 ^a	5.25 ^a	5.0 ^a	4.75 ^a	4.75 ^a	4.75 ^a	4.75 ^a
T5 - BF4 Foliar	5.25 ^a	5.0 ^a	4.75 ^a	4.75 ^a	5.0 ^a	5.25 ^a	4.75 ^a	4.5 ^a	4.5 ^a	5.0 ^a
T6 BF4 Drench	5.12 ^a	5.75 ^a	5.25 ^a	5.0 ^a	5.25 ^a	5.0 ^a	5.0 ^a	5.0 ^a	4.75 ^a	5.0 ^a
T7 - Tesigo	4.6 ^a	5.25 ^a	5.5 ^a	5.25 ^a	5.25 ^a	5.0 ^a	5.0 ^a	5.0 ^a	5.5 ^a	5.0 ^a

CONCLUSIÓN

La aplicación de los productos comerciales con espirulina, trichoderma y ácidos húmicos, de los cuales las plantas presentaron comportamiento similar, con pocas diferencias significativas de acuerdo las variables evaluadas y la semana, a excepción de los grados brix.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Educación Tecnológica Agropecuaria y Forestal 293 por brindar las instalaciones, a Ficocyan por donar los productos e insumos para realizar la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Colin Hernandez, Ing. A. & Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. (2023). Evaluación de la adaptabilidad y producción de genotipos de tomate de crecimiento indeterminado bajo condiciones de campo abierto.
- Morales A., Carmen Gloria (2017) *Uso de bioestimulantes en arandanos* [en línea]. Villa Alegre: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Patrick Du. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and Regulation. ScinceDirect.
- Venegas-Vera, J. J., & Pincay-Menéndez, J. D. (2024). Efectos del lixiviado de vermicompost de estiércol bovino, *Trichoderma* spy microorganismo eficiente en crecimiento de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) ensemillero. Journal Scientific.

División 4

EVALUACIÓN DE FUENTES DE FÓSFORO EN EL CULTIVO DE PLANTAS DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum*) INOCULADAS CON RIZOBACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL

Sara Monzerrat Ramírez-Olvera; Guadalupe López-Olvera; Juan José Almaraz-Suárez; Marco Polo Carballo-Sánchez*

Posgrado de Edafología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Autor para correspondencia: carballo.marco@colpos.mx

RESUMEN

El fósforo es un macronutriente necesario para mantener las funciones fisiológicas de la planta. Sin embargo, este elemento se encuentra en formas insolubles que no están disponibles para su absorción por la raíz de la planta y se requieren alternativas para favorecer la disponibilidad de los fosfatos y el uso de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal es una opción. En este trabajo se utilizaron plantas de jitomate como modelo de estudio y tezontle como sustrato. Las fuentes de fósforo utilizadas fue la de fosfato soluble en una solución nutritiva Steiner y roca fosfórica mezclada con el sustrato con una solución nutritiva sin fósforo, se utilizaron tres cepas de rizobacterias con actividad promotora del crecimiento vegetal: BSP, JN24 y JLB4. Los resultados mostraron una menor relación parte aérea-raíz debido al aumento del volumen de raíz con los tratamientos de roca fosfórica, un aumento del índice de clorofila en los tratamientos de roca fosfórica y una disminución del área foliar en los tratamientos de roca fosfórica, comparados con los tratamientos de las cepas BSP y JLB4 con la solución con fósforo soluble. El uso de rizobacterias como inoculantes de cultivos de jitomate junto con una fuente de fósforo insoluble resulta viable para implementarse como prácticas agrícolas.

PALABRAS CLAVE

Arthrobacter; Paenibacillus; Roca fosfórica; Solanum lycopersicum; Hidroponía.

INTRODUCCIÓN

El fósforo es uno de los macroelementos necesarios para las funciones de las plantas, ya que es parte de la estructura de los ácidos nucleicos y de diversas funciones metabólicas realizadas por los fosfatos de adenosina, principalmente. Este elemento se caracteriza por su escasa movilidad en el suelo, debido a que es común encontrarlo en formas no asimilables por las plantas, principalmente por su solubilidad, por lo que una estrategia para mejorar su disponibilidad es mediante la inoculación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) (Tian *et al.*, 2021). Estas bacterias no sólo son capaces de interactuar con las plantas para promover la salud y el crecimiento, sino también para mejorar la solubilidad del fósforo mediante la producción de ácidos orgánicos. Se eligió trabajar con jitomate (*Solanum lycopersicum*) debido a que es un organismo modelo para el estudio de interacciones entre plantas y organismos benéficos, así como por su relevancia comercial y gastronómica en México.

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

El objetivo de este trabajo fue la evaluación de las variables agronómicas de plantas de jitomate inoculadas con RPCV y comparando las fuentes de fósforo (solución nutritiva con fósforo y solución nutritiva sin fósforo, pero con roca fosfórica en el sustrato).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se llevaron a cabo entre los meses de junio-agosto de 2024 en un invernadero en las instalaciones del Colegio de Postgraduados, con una temperatura promedio de 28.5°C y una humedad relativa de 46.5%. Se utilizaron plántulas de tomate de 30 días de edad (*Solanum lycopersicum*), las cuales se trasplantaron a bolsas de polietileno en dos condiciones diferentes: 2 kg de tezontle cribado como sustrato para plantas con fósforo suplementado a partir de una solución nutritiva Steiner y 2 kg del mismo tezontle mezclado con roca fosfórica al 10% para los tratamientos con una solución nutritiva Steiner formulada sin una fuente de fósforo. A los 7 días después del trasplante, las plántulas se inocularon con las siguientes cepas pertenecientes a la colección del Laboratorio de Microbiología de Suelos y cuya capacidad de solubilización de fósforo ya está reportada: *Paenibacillus spp.* BSP, *Arthrobacter enclensis* JN24 y *Arthrobacter pokkali* JLB4. La inoculación se llevó a cabo en la raíz de las plantas con 10 mL de caldo nutritivo con células suspendidas con 48 horas de incubación a 28 °C, con una concentración superior a 10⁸ células por mL de solución, contadas en una cámara de Neubauer. Se cosecharon a los 28 días posteriores a la inoculación y se determinaron las siguientes variables: relación peso seco parte aérea/raíz, índice de clorofila con un medidor SPAD 502 (Minolta, Japón) y área foliar con el equipo Li-Cor 3100C (Li-Cor, Estados Unidos). Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2X4. Y los análisis estadísticos se realizaron con el software SAS 9.0 (The SAS Institute, Estados Unidos).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La variable de la relación del peso seco de la parte aérea y de la raíz por efecto de la fuente de fósforo, fue significativamente inferior para la roca fosfórica respecto al fosfato (Cuadro 2), esto debido al aumento del tamaño de la raíz. En las condiciones de falta de fósforo en la solución nutritiva, la raíz de la planta aumenta su tamaño y ramificaciones con el fin de explorar alguna fuente de fósforo en el sustrato. La roca fosfórica es una fuente de hidroxiapatita, una forma insoluble del fósforo y que es susceptible de ser solubilizada por la acción microbiana. Sin embargo, no se muestra un efecto en este estudio que sea derivado del factor cepa bacteriana (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de significancia de los factores fuente de fósforo, cepa bacteriana, e interacción de factores, en la relación peso seco parte aérea/raíz, índice de verdor y área foliar de plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum*).

Factor	Relación peso seco parte aérea/raíz	Índice de clorofila	Área foliar
Fuente de fósforo	0.0004*	<.0001*	0.0042*
Cepa bacteriana	0.1528ns	0.0135*	<0.001*
Fuente de fosforo*cepa bacteriana	0.6455ns	0.3491ns	0.0004*

Diferencia significativa $p \leq 0.05$ (*); diferencia no significativa (ns).

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

El índice de clorofila es una variable influenciada significativamente por la fuente de fósforo y las cepas bacteriana utilizadas en el experimento (Cuadro 1). Esta es una variable que está relacionada con el contenido de este fotopigmento en la planta, por lo que un aumento en este valor resulta en una planta con una mejor nutrición que mantenga las funciones fisiológicas. Uno de los productos de la fotosíntesis es el ATP, dicha molécula es un fosfágeno que almacena energía en los enlaces entre moléculas de fosfato, por lo que la disponibilidad de este elemento en la planta es necesario para su síntesis. La baja disponibilidad de fósforo disminuye el desarrollo de la planta y el área foliar, los parámetros de intercambio gaseoso, así como una disminución del contenido de ATP y NADH (Kayoumu, 2023). De acuerdo con el cuadro 2, para el índice de clorofila, el aprovechamiento de la roca fosfórica muestra que existe una diferencia significativamente mayor, comparada con la otra fuente de fosfato. Sin embargo, si se observa el Cuadro 3, las cepas bacterianas de manera individual no mostraron una diferencia significativa con respecto al control.

Cuadro 2. Influencia de la fuente de fósforo en el peso seco parte área/raíz, índice de verdor y área foliar plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum*).

Fuente de fósforo	Relación peso seco parte área/raíz	Índice de clorofila (SPAD)	Área foliar (cm ²)
Fosfato	7.38 ± 0.43 a	46.64 ± 0.82 b	758.47 ± 46.15 a
Roca fosfórica	5.29 ± 0.33 b	54.07 ± 0.47 a	670.49 ± 14.02 b

Medias ± EE con letras distintas en cada columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

Por otro lado, el área foliar de las plantas sí muestra efectos derivados, tanto de los factores fuente de fósforo, cepa bacteriana y la interacción de ambos (Cuadro 1), como del suministro con roca fosfórica (Cuadro 2), fue significativamente superior respecto a el fosfato, lo que resulta menor crecimiento de las plantas (Bazhenov *et al.*, 2023).

Además, se puede observar en el Cuadro 3 que para el factor cepa bacteriana, el mejor resultado se obtuvo con la cepa JLB4. Respecto a esta cepa aislada de la rizósfera del jitomate, se ha reportado que tiene una notable capacidad para promover el crecimiento vegetal (Daza-Martínez *et al.*, 2022). Al relacionar las cepas y la fuente de fósforo con el aumento del área foliar, los mejores resultados fueron obtenidos con las cepas BSP y JLB4 con fosfato como fuente. Las bacterias promueven el aprovechamiento de nutrientes por las plantas al alterar la fisiología de la planta completa, especialmente de la raíz, por medio de mecanismos que no se han logrado comprender con suficiente detalle (Khosro *et al.* 2023).

Cuadro 3. Factor cepa bacteriana en el índice de clorofila y área foliar plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum*).

Cepa bacteriana	Índice de clorofila (SPAD)	Área foliar (cm ²)
SCB	51.81 ± 1.03 a	671.48 ± 27.79 bc
BSP	49.34 ± 1.48 ab	775.71 ± 41.39 ab
JN24	48.42 ± 1.27 b	593.76 ± 23.35 c
JLB4	51.77 ± 1.10 a	816.96 ± 60.52 a

Medias ± EE con letras distintas en cada columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). Sin cepa bacteriana SCB, *Paenibacillus spp.* BSP, *Arthrobacter enclensis* JN24 y *Arthrobacter pokkali* JLB4.

División 4

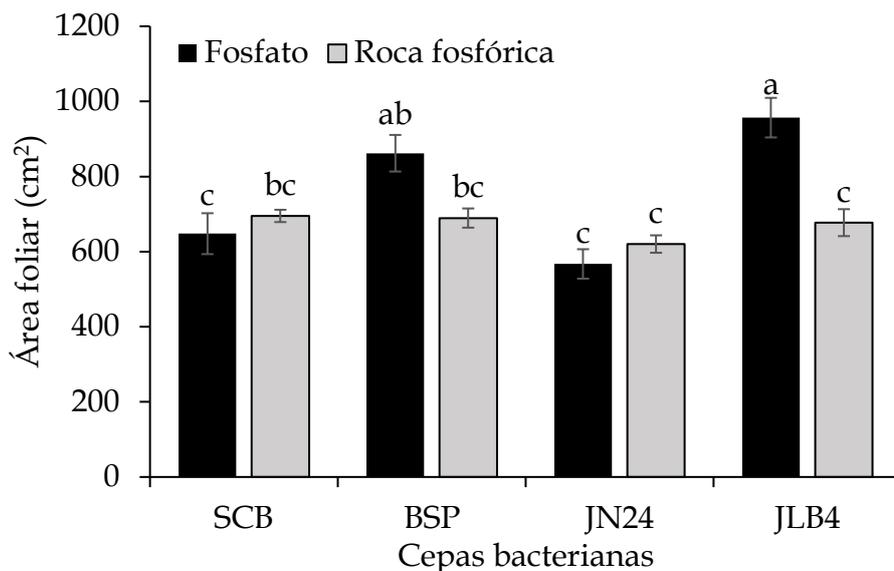


Figura 1. Área foliar de plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum*) suministradas con dos fuentes de fósforo, e inoculadas con cepas bacterianas. Medias \pm EE con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$). Sin cepa bacteriana SCB, *Paenibacillus spp.* BSP, *Arthrobacter enclensis* JN24 y *Arthrobacter pokkalii* JLB4.

CONCLUSIONES

El uso de roca fosfórica con la inoculación de las plantas de jitomate con RPCV favoreció la variable de índice de clorofila, disminuyó la relación de peso seco al aumentar la raíz e influyó en el área foliar. Comparado con el fosfato de la solución nutritiva, ésta también resulta una alternativa viable como fuente de fósforo en los cultivos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento del proyecto de Investigación e Incidencia Orientado a Fortalecer las Estrategias Nacionales de Suelo para la Agricultura Sostenible COLPOS-SADER (CONV_ENASAS_2024_15). También se agradece al Campus Montecillo por las facilidades para la realización de los experimentos del presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bazhenov, M., Litvinov, D., Karlov, G., & Divashuk, M. (2023). Evaluation of phosphate rock as the only source of phosphorus for the growth of tall and semi-dwarf durum wheat and rye plants using digital phenotyping. *PeerJ*, 11, e15972. <https://doi.org/10.7717/peerj.15972>
- Daza-Martínez, Y. M., Almaraz-Suarez, J. J., Rodríguez-Mendoza, M. N., Angulo-Castro, A., & Silva-Rojas, H. V. (2022). Aislamiento de rizobacterias asociadas a tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y su potencial para promover crecimiento vegetal. *Informacion Tecnica Economica Agraria*, 118(3). <https://doi.org/10.12706/itea.2021.036>

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Kayoumu, M., Iqbal, A., Muhammad, N., Li, X., Li, L., Wang, X., Gui, H., Qi, Q., Ruan, S., Guo, R., Zhang, X., Song, M., & Dong, Q. (2023). Phosphorus Availability Affects the Photosynthesis and Antioxidant System of Contrasting Low-P-Tolerant Cotton Genotypes. *Antioxidants*, 12(2), 466. <https://doi.org/10.3390/antiox12020466>
- Khoso, M. A., Wagan, S., Alam, I., Hussain, A., Ali, Q., Saha, S., ... & Liu, F. (2023). Impact of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on plant nutrition and root characteristics: Current perspective. *Plant Stress*, 100341. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100341>
- Tian, J., Ge, F., Zhang, D., Deng, S., & Liu, X. (2021). Roles of Phosphate Solubilizing Microorganisms from Managing Soil Phosphorus Deficiency to Mediating Biogeochemical P Cycle. *Biology*, 10(2), 158. <https://doi.org/10.3390/biology10020158>

División 4

El Papel de los Suelos en el Sostenimiento de la
Sociedad y el Medioambiente

EVALUACIÓN DEL MANEJO DE LABRANZA Y FERTILIZACIÓN EN LA DINÁMICA DEL CARBONO DEL SUELO EN SISTEMA MILPA, QUERETARO

Alejandra Hernández Jiménez^{1,2}

¹Facultad de Ciencias Naturales, Campus Juriquilla, Universidad Autónoma de Querétaro, C.P. 76230, Santiago de Querétaro, Querétaro, México.

²Laboratorio de Conservación y Degradación de los Recursos Edáficos, Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Facultad de Ciencias Juriquilla, Universidad Autónoma de México, C.P.

76230, Santiago de Querétaro, Querétaro, México.

ahernandez74@alumnos.uaq.mx

RESUMEN

La agricultura de conservación mejora las propiedades físicas y químicas del suelo dando como resultado el secuestro de carbono orgánico. Este estudio comparó los sistemas de labranza convencional y labranza mínima con tres tipos de fertilización (lombricomposta, estiércol y fosfato diamónico) durante un ciclo de cultivo de temporal en un sistema milpa del municipio de Querétaro, Qro. Se obtuvo diferencias significativas en la respiración del suelo, contenido de carbono orgánico y nitrógeno en los dos tipos de labranza y épocas del año (secas y lluvias), siendo la fertilización orgánica (lombricomposta) y la labranza mínima los tratamientos con mayor aumento de carbono orgánico. Este estudio muestra la importancia de la adopción de dichas prácticas mejora la dinámica del carbono, mejora su acumulación y de este modo llegar a contribuir a mitigar el cambio climático.

PALABRAS CLAVE

Labranza mínima; Respiración del suelo.

INTRODUCCIÓN

El suelo desempeña un papel fundamental en el ciclo global del carbono, actuando como uno de los mayores reservorios a nivel mundial (Schimel, 1995). El uso y manejo del suelo tienen un impacto significativo en los depósitos y flujos de carbono, por lo que cualquier cambio en la cantidad y la tasa de renovación del carbono almacenado puede alterar la concentración atmosférica de CO₂ y, potencialmente, mitigar los efectos del cambio climático (FAO, 2017). La retención y acumulación de carbono orgánico en el suelo es crucial para mantener la fertilidad y regular el intercambio de CO₂ con la atmósfera (Palm et al., 2014).

Los suelos agrícolas, tienen un gran potencial para almacenar y secuestrar carbono (IPCC, 2014). Sin embargo, las prácticas agrícolas convencionales, como la labranza intensiva y el uso excesivo de fertilizantes químicos, han conducido a la pérdida de carbono orgánico, resultando en la degradación física, química y biológica del suelo, lo que genera problemas no solo ecológicos, sino también sociales y económicos (Lal, 2008).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Estudios han demostrado que la adopción de prácticas enfocadas en la restauración y reducción de la degradación del suelo agrícola, como la labranza mínima y el uso de fertilizantes orgánicos provenientes del reciclaje de residuos locales, mejora la calidad del suelo (Diacono & Montemurro, 2010; Lal, 2008; Robert, 2002). Estas prácticas aumentan la fijación de carbono orgánico, mejoran la fertilidad y las propiedades físicas del suelo, garantizando así la seguridad alimentaria de la región (FAO, 2021). Sin embargo, los efectos de estas prácticas sobre la dinámica del carbono y las propiedades del suelo son específicos del tipo de suelo y del sitio, y la información disponible al respecto es aún escasa.

La degradación del suelo es un problema global crítico que afecta gravemente la producción agrícola y la seguridad alimentaria. Cada año, se pierden entre cinco y siete millones de hectáreas de suelo cultivable debido a las prácticas convencionales de agricultura intensiva, como el monocultivo dependiente de insumos agroquímicos y técnicas de labranza inadecuadas (FAO, 2021).

En el sitio de estudio, una de las principales problemáticas es la erosión hídrica superficial, ocasionada principalmente por prácticas agrícolas inadecuadas, el sobrepastoreo y la deforestación. Además, las condiciones climáticas y sociales, como la baja precipitación, el clima árido debido a la sombra orográfica, altos niveles de pobreza y migración, así como la fuerte dependencia socioeconómica de la producción agrícola local, complican la situación. En este contexto, las prácticas agrícolas sostenibles y la gestión adecuada del suelo emergen como estrategias clave no solo para mejorar la productividad agrícola, sino también para fortalecer la resiliencia de la región ante los desafíos socioeconómicos y ambientales actuales.

El objetivo general de esta investigación es evaluar el impacto de la labranza y la fertilización en un sistema de milpa sobre la dinámica del carbono y su relación con las propiedades del suelo y la producción. Los objetivos específicos incluyen; caracterizar las propiedades del suelo en relación con el manejo de la labranza y fertilización al inicio y al final del ciclo; analizar la dinámica de respiración del suelo en relación con los tratamientos de fertilización y labranza; y determinar la relación entre las propiedades del suelo, la respiración del suelo y la dinámica del carbono.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la comunidad de la Carbonera, municipio de Querétaro, Querétaro, México, ubicada en la microcuenca Buenavista dentro de la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico (PRCM, 2010). La parcela de estudio, con un área de 10,000 m² y un uso de cultivo de aproximadamente 40 años, se localiza a una altitud de 2,124 m.s.n.m. y presenta un clima templado seco con lluvias en verano. Los tipos de suelo predominantes incluyen Castañozem cálcico, Litosol, Phaeozem háplico, Phaeozem lúvico y Vertisol pélico (PRCM, 2010). La vegetación predominante es natural en el 62% de la superficie, con un 37% destinado a la agricultura y un 3% a zonas urbanas.

El diseño experimental consistió en parcelas divididas con dos factores principales: labranza (mínima y convencional) y fertilización (lombricomposta, estiércol de animal y fosfato diamónico). Los tratamientos de labranza incluyeron labranza mínima, dejando el 30% de los residuos de milpa y usando yunta solo para siembra, y manejo convencional, con barbecho, siembra y aporque realizados con yunta (PRCM, 2010). El

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

deshierbe se realizó de manera manual, y se sembraron maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus sp*) y calabaza (*Cucurbita sp*) de la región.

Las muestras de suelo se tomaron a 20 cm de profundidad utilizando barrenaciones en cada parcela antes del barbecho y fertilización (junio 2023) y antes del barbecho del siguiente ciclo (junio 2024). Las muestras se almacenaron en bolsas individuales y se trasladaron al Laboratorio de Conservación y Degradación de los Recursos Edáficos UNAM para su análisis. Las muestras de suelo se secaron a temperatura ambiente y se tamizaron a través de una malla de 2 mm. Los parámetros evaluados fueron la densidad aparente (DA), pH relación 1:5 H₂O Y KCL 1M, carbono orgánico del suelo (COS) y nitrógeno total (Nt).

La respiración del suelo se realizó por medio de trampas alcalinas en el sitio de estudio por medio de cámaras metálicas con una válvula de presión por una hora. Se tomaron las variables ambientales (temperatura, presión y humedad) y del suelo (temperatura y humedad). Posteriormente se agregó cloruro de bario (BaCl₂) y 0.5 ml de fenoftaleína como indicador y se tituló con ácido clorhídrico (HCL), los miligramos de CO₂ se calcularon con la siguiente ecuación: $\text{miligramos de } C - CO_2 \text{ emitido} = \frac{B-S}{ME}$ donde B es el volumen medio (ml) de HCL empleado en la valoración de la disolución de NaOH del frasco testigo, S el el volumen medio (ml) de HCL empleado en la valoración de la disolución de NaOH del frasco problema, E, el peso equivalente (CO₂ E=22) y M es la molaridad exacta de HCL. Los datos se presentan en mg CO₂ m⁻² día⁻¹ (Page 1982).

El nitrógeno total se obtuvo por medio del método Kjeldahl, la muestra se digesto ácido sulfúrico al 96% y peróxido de hidrogeno 30%, convirtiendo el nitrógeno a sulfato de amonio en un digestor de bloques Büchi. La determinación del Nt se realizó en un destilador semiautomático Kjelflex K-360 en una destilación alcalina (NaOH 3), el producto de la destilación fue depositado en ácido bórico, la valoración fue mediante una titulación con HCL (Van Reeuwijk, 1999).

El carbono orgánico se obtuvo siguiendo el procedimiento Walkley-Blackl, la combustión húmeda se realizó con dicromato de potasio, ácido sulfúrico 95% y ácido fosfórico (85%) se utilizó difenilamina sulfonato de bario como indicador y el valor se obtuvo mediante una titulación con sulfato ferroso (Page, 1982).

Se realizó un análisis de normalidad y homogeneidad para todas las variables edáficas, en el caso de los datos de respiración del suelo los datos se modificaron a logaritmo natural para su análisis. Posteriormente se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existen diferencias significativas entre el primer y segundo factor en la respiración del suelo con un valor critico de $\alpha=0.05$. Se elaboró una gráfica de acumulación de CO₂ en relación a los dos factores principales. Los análisis estadísticos fueron realizados en Past 4.17c.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La respiración del suelo, que es un indicador de la actividad microbiana y el metabolismo del carbono, mostró diferencias significativas ($p= <0.05$) entre los tipos de labranza, siendo la labranza mínima la que menor cantidad de miligramos de C-CO₂ emitió, entre los tratamientos de fertilización las la fertilización orgánica en los dos casos fueron de labranza fueron las que más miligramos de C-CO₂ emitieron. Este hallazgo es consistente con la literatura que sugiere que los fertilizantes orgánicos

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

pueden estimular la actividad microbiana y, por lo tanto, el ciclo del carbono en el suelo (Schimel, 1995). Sin embargo, la variabilidad en la respiración del suelo entre los tratamientos y durante las estaciones sugiere que factores ambientales como la humedad y la temperatura también juegan un papel crucial en la dinámica del carbono del suelo (Figura 1).

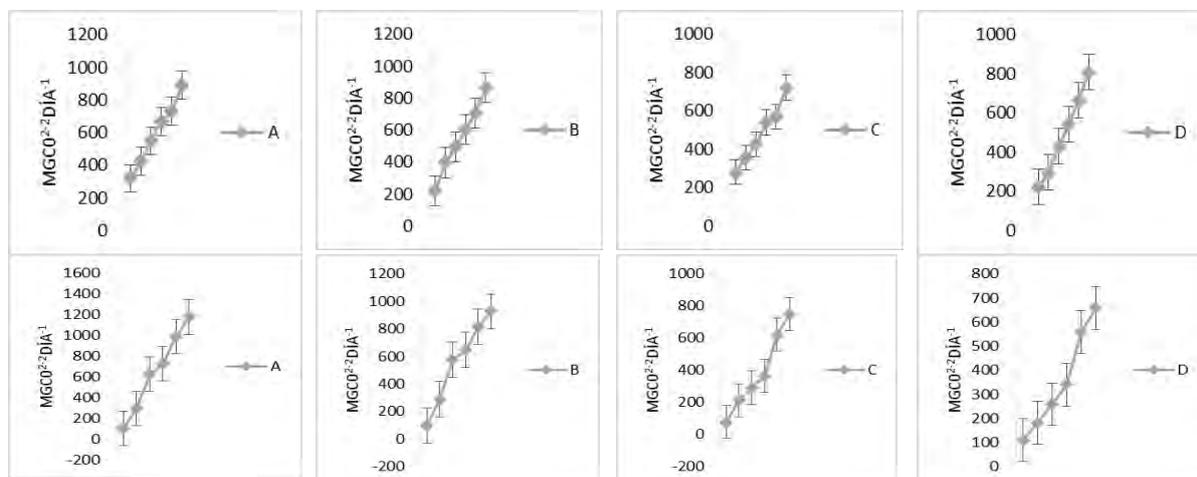


Figura 1: Curvas de acumulación de la respiración del suelo durante todo el ciclo de cultivo. Arriba, manejo convencional de labranza. Abajo, labranza mínima. A (lombricomposta), B (estiércol), C (fosfato diamónico) y D (control).

Los tratamientos con lombricomposta y estiércol mostraron una mayor capacidad para incrementar el carbono orgánico del suelo y mejorar la respiración del suelo, en concordancia con estudios previos que han destacado los beneficios de los fertilizantes orgánicos para la salud del suelo y el secuestro de carbono (Diacono & Montemurro, 2010; Lal, 2008). La labranza mínima, al reducir la perturbación del suelo, también contribuyó a una mejor retención de carbono, corroborando las observaciones de que prácticas menos invasivas pueden ser más efectivas en la conservación del carbono en el suelo (Palm et al., 2014).

Las diferencias observadas en los valores de pH, densidad aparente y nitrógeno total entre los tratamientos sugieren que el tipo de fertilización y el método de labranza tienen un impacto significativo en la calidad del suelo. Los tratamientos con lombricomposta y estiércol mostraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$) un aumento en el carbono orgánico, mientras que el fosfato diamónico, aunque efectivo en términos de nutrición de cultivos, no mostró mejoras comparables en la acumulación de carbono. Esto respalda la idea de que los fertilizantes orgánicos no solo proporcionan nutrientes, sino que también enriquecen el contenido de materia orgánica del suelo, lo que puede ser fundamental para mantener la fertilidad a largo plazo (Robert, 2002; FAO, 2021).

La respiración del suelo muestran variaciones significativas entre los tratamientos durante las épocas de secas y lluvias. Esto puede reflejar cómo los diferentes tratamientos afectan la actividad microbiana y la mineralización del carbono.

Las diferencias en la respiración del suelo entre los tratamientos pueden proporcionar información sobre cómo la labranza mínima y la fertilización orgánica afectan la descomposición de la materia orgánica y la liberación de CO_2 .

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

CONCLUSIÓN

El estudio confirma que las prácticas de labranza mínima y el uso de fertilizantes orgánicos tienen un efecto positivo en la dinámica del carbono del suelo en comparación con las prácticas convencionales. La labranza mínima y los fertilizantes orgánicos contribuyen a una mayor acumulación de carbono orgánico y mejoran la estructura del suelo, lo que puede ayudar a mitigar el cambio climático y mejorar la productividad agrícola.

Las prácticas de labranza mínima y el uso de fertilización orgánica parecen ser más efectivas en la mejora de la dinámica del carbono del suelo en comparación con las prácticas convencionales. Estas prácticas no solo benefician la calidad del suelo, sino que también contribuyen a la mitigación del cambio climático a través del aumento del secuestro de carbono. Para maximizar estos beneficios, es recomendable promover la adopción de prácticas agrícolas sostenibles que integren labranza mínima y fertilización orgánica, especialmente en regiones con desafíos similares a los de La Carbonera, donde emergen como estrategias cruciales para mejorar la resiliencia del suelo frente a desafíos ambientales y socioeconómicos en la región. Estas conclusiones son relevantes para los esfuerzos de manejo sostenible del suelo y podrían servir como modelo para otras regiones con características agroecológicas similares.

BIBLIOGRAFÍA

- Diacono, M.; Montemurro, F. (2010) Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agron. Sust. Develop* 30, 401-422.
- FAO. (2017). Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura.
- FAO. (2021). Estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2021. Transformación de los sistemas alimentarios en aras de la seguridad alimentaria, una nutrición mejorada y dietas asequibles y saludables para todos. Roma: FAO.
- IPCC. (2014). Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.
- Lal, R. (2008). Soils and sustainable agriculture. A review. *Agron. Sust. Develop* 28, 57-64.
- Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L., & Grace, P. (2014). Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 187, 87-105.
- Page, A.L. (ed). 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. *Agronomy* 9. ASA, SSSA, Madison Wisconsin, USA.
- Robert, M. (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. *Food & Agriculture Org* 49.
- PRPC Buenavista (2010) Plan Rector de Producción y Conservación para la microcuenca Buenavista. UAQ, México.
- Schimel, D. S. (1995). Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. *Global Change Biology* 1(1), 77-91.
- Schlesinger, W. H. (1995). An overview of the carbon cycle. *Soils and global change* 25, 9-25.
- Van Reeuwijk, L. P (ed). 1999. Procedures for Soil Analysis, ISRIC-FAO. ISRIC. Technical Paper. No 9.

División 4

LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA DE SUELOS URBANOS Y SU REPERCUSIÓN EN LOS ECOSISTEMAS URBANOS

Sarahi Moya-Cadena¹; Diana Baños-Pelaez²; Fabián Fernández-Luqueño¹

¹ Centro de investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav Saltillo), Avenida Industria Metalúrgica #1062, Parque Industrial Saltillo-Ramos Arizpe, Ramos Arizpe, Coah., C.P. 25900.

² Universidad Tecnológica de Coahuila, Av. Industria Metalúrgica #2001, Parque Industrial Ramos Arizpe Coahuila, Ramos Arizpe, Coah. C.P. 25900.
sarahi.moya@cinvestav.mx

RESUMEN

La prestación de servicios ecosistémicos relacionados con los ecosistemas urbanos precisa de un funcionamiento adecuado del suelo. Este funcionamiento puede evaluarse a través de la medición de las propiedades relacionadas con los procesos suelo-agua. Para este fin, en este estudio se evaluó el porcentaje de la Capacidad de Retención de Agua (CRA) junto con el análisis complementario de la materia orgánica y el porcentaje de partículas de arcilla, limo y arena en función de tres sitios urbanos con diferente manejo y tipo de suelo. De acuerdo con el ANOVA de dos vías ($F [2, 48] = 7.004, p < 0.05/ p = 0.002$) la CRA es influenciada por el tipo de suelo y el manejo que se le dé a este. Así mismo se observó una mayor dispersión de los datos de hasta $\pm 11.07 \%$ en los sitios urbanos con alta heterogeneidad, mientras que en los sitios urbanos con implementación de prácticas de conservación de suelos, presentaron una diferencia de la desviación estándar de $\pm 0.41 \%$. La heterogeneidad de los suelos urbanos representa un reto para la evaluación de los servicios ecosistémicos relacionados con los procesos suelo-agua; sin embargo, al manejar adecuadamente los suelos, es posible maximizar en cantidad y calidad la prestación de servicios ecosistémicos urbanos.

PALABRAS CLAVE

Servicios ecosistémicos urbanos; Calidad de suelos urbanos; Procesos suelo-agua.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, se ha acuñado el término “ecosistemas urbanos” a las ciudades con parches de ecosistemas remanentes y sistemas vivos que fueron diseñados para funcionar dentro de una ciudad. Como consecuencia, las ciudades, al ser ecosistemas urbanos, tienen la posibilidad de prestar servicios ecosistémicos a través del funcionamiento adecuado del suelo (Wall *et al.*, 2013). El rol que desempeñan los suelos dentro del ciclo de agua es indispensable para un equilibrio ecosistémico con repercusiones en los seres vivos, incluido el ser humano. De esta manera, los procesos suelo-agua como infiltración, percolación y drenaje ayudan al entendimiento del funcionamiento del suelo mediante el análisis de diversas propiedades, entre ellas la Capacidad de Retención de Agua (CRA) del suelo (Vereecken *et al.*, 2007; Geroy *et al.*, 2011).

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

A medida que la CRA aumenta en un suelo, éste es capaz de absorber más agua antes de que se sature, lo que resulta en una disminución de la escorrentía superficial y un aumento en la infiltración. Así mismo, a mayor CRA de suelo, el proceso de percolación es ralentizado, permitiendo que el agua permanezca por más tiempo en los horizontes superficiales, al disminuir el drenaje (Wall *et al.*, 2013). En los ecosistemas de clima árido y semiárido, donde las precipitaciones son limitadas durante largos periodos, el agua almacenada en el perfil del suelo representa el principal medio de supervivencia para la mayoría de la flora y fauna (Geroy *et al.*, 2011). La CRA es una propiedad dinámica que funge como indicador de las interacciones agua-suelo, por lo que su análisis proporciona las herramientas necesarias (junto con la medición de otras variables complementarias) para conocer el funcionamiento de los suelos en el ciclo hidrológico y los servicios ecosistémicos relacionados, como prevención de inundaciones, purificación de agua, regulación del clima, suministro de alimentos, entre otros (Olorunfemi *et al.*, 2016; Wall *et al.*, 2013).

La gestión del suelo puede tener un impacto considerable en los procesos del suelo, por lo que es indispensable la aplicación de prácticas sustentables en los distintos ecosistemas, incluyendo los urbanos (Wall *et al.*, 2013). La problemática relacionada con la conservación de suelos urbanos radica en la incorporación de material antropogénico y relleno del “material parental”, lo cual repercute en una alta heterogeneidad de la calidad del suelo en un mismo sitio y en la producción de suelos nuevos, únicos en estructura (Wall *et al.*, 2013). Así mismo, los procesos de compactación, sellado y contaminación del suelo producen efectos indeseables relacionados con el aumento en la escorrentía del agua, deposición de nutrientes, concentración de metales pesados, entre otros (Abdallah *et al.*, 2021).

De acuerdo con la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), las ciudades son el tipo de ecosistema peor caracterizado debido principalmente a la falta de estudios científicos enfocados no solo al paisajismo urbano, sino a la prestación de servicios ecosistémicos proporcionados por los suelos. En consecuencia, el objetivo de este estudio fue evaluar el funcionamiento del suelo en el ciclo del agua, a través de la medición de la CRA, junto con el análisis complementario de la materia orgánica y el porcentaje de partículas de arcilla, limo y arena de tres sitios urbanos en función de dos tipos de suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en las áreas urbanas de los municipios de Sabinas y San Buenaventura, Coah. Ambos municipios cuentan con una influencia hidrológica importante al ser las áreas urbanas con mayor densidad de población del río Sabinas y Salado de los Nadadores (22,149 habitantes en San Buenaventura y 63,522 en Sabinas). De acuerdo con la plataforma SIG del INEGI ambos municipios presentan un tipo de clima seco (BS₀) con temperaturas medias anuales mayores a 22°C, con precipitaciones anuales de 400- 600 mm y distintos tipos de suelo (Xerosol en Sabinas y Vertisol en San Buenaventura).

El muestreo del suelo fue realizado con una técnica aleatoria simple; se recolectaron nueve muestras a 20 cm de profundidad de cada sitio urbano: 1. Plaza municipal (área verde); 2. Zona industrial y 3. Zona de convenciones (feria municipal).

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Esto implicó un total de 27 muestras representativas de algunos de los tres puntos urbanos más concurridos de cada municipio. Las características de los sitios se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción de los sitios muestreados.

Sitio	Municipio	Descripción del sitio	Manejo del sitio
Centro de convenciones 1 (Feria municipal)	Sabinas, Coah.	Alta concurrencia poblacional, heterogeneidad del suelo, contaminación por desechos urbanos y compactación del suelo.	Baja densidad de cobertura vegetal, sin riego, sin prácticas de conservación de suelo.
Zona industrial 1	Sabinas, Coah.	Alta concurrencia poblacional, heterogeneidad del suelo, contaminación con desechos urbanos e industriales y compactación del suelo.	Baja densidad de cobertura vegetal, sin riego, sin prácticas de conservación de suelo.
Plaza municipal 1 (Área verde)	Sabinas, Coah.	Suelo oscuro y fértil, homogeneidad del tipo de suelo. Sin contaminación aparente del sitio.	Alta densidad de cobertura vegetal, aplicación de fertilizantes, corte de maleza, acceso controlado al área verde.
Centro de convenciones 2 (Feria municipal)	S. B., Coah. [‡]	Alta concurrencia poblacional, contaminación con desechos urbanos, homogeneidad del suelo media y compactación del suelo seccionado.	Sitios con parches de coberturas vegetales, sin riego, sin prácticas de conservación de suelo.
Zona industrial 2	S. B., Coah.	Concurrencia poblacional media, homogeneidad del suelo media y compactación del suelo seccionado.	Sitios con parches de coberturas vegetales, con riego, sin prácticas de conservación de suelo.
Plaza municipal 2 (Área verde)	S. B., Coah.	Suelo oscuro y fértil, homogeneidad del tipo de suelo. Sin contaminación aparente del sitio.	Alta densidad de cobertura vegetal, aplicación de fertilizantes, corte de maleza, acceso controlado al área verde.

[‡] San Buenaventura, Coahuila de Zaragoza, México.

Las muestras fueron tamizadas por la malla N° 10, de 2 mm para evitar interferencias en la medición. La determinación de la CRA del suelo fue realizada por el método propuesto por Castellanos *et al.* (2000), la MOS por el método de calcinación (Steubing *et al.*, 2001) y la textura del suelo por el método del hidrómetro establecida por Bouyoucos (1936). Se realizó un análisis de varianza ANOVA de dos vías en función al tipo y al manejo de suelo y una prueba Post Hoc de Tukey, $\alpha = 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en el análisis de varianza ANOVA de dos vías ($F [2, 48] = 7.004$ $p < 0.05$ / $p = 0.002$), se encontró que la CRA del suelo es influenciada por el tipo de suelo y el manejo que se le dé a este (Figura 1). Asimismo, se observó una mayor dispersión de los datos en los sitios urbanos con parches de naturaleza remanente (Feria 2 e Industrial 2; Cuadro 1), alcanzando desviaciones estándar de hasta ± 11.07 (datos no presentados). Esta alta dispersión está relacionada con la heterogeneidad de los suelos urbanos debido a la pérdida de su estructura natural. Esto coincide con lo señalado por Craul (2012), quien evidenció una alta variabilidad en los valores de las propiedades físicas y químicas de los suelos urbanos.

No obstante, en estos sitios, los parches de cobertura vegetal remanente representan zonas dispersas con un aumento en la calidad y cantidad de servicios ecosistémicos. Esto se observa claramente en el sitio "Feria 2", que presenta el valor de CRA significativamente más alto. Este hallazgo es consistente con lo establecido por Petrova

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

et al. (2022), quienes confirman que los parches de ecosistemas remanentes dentro de las ciudades están asociados con prácticas de gestión sostenible del suelo.

Los sitios urbanos que implementaron prácticas de conservación de suelos (plaza 1 y 2; Cuadro 1) mostraron una diferencia en la desviación estándar de ± 0.41 , lo que resultó en valores de CRA mucho más estables en comparación con otros sitios. Esto podría atribuirse a las prácticas de conservación aplicadas, como el uso de barreras físicas, el control de maleza y la aplicación de fertilizantes. Este hallazgo es consistente con el estudio de Meral *et al.* (2015), quienes demostraron resultados más uniformes en la CRA, la infiltración del agua y la estabilidad de los agregados, como consecuencia de un manejo adecuado del suelo. Los resultados de las propiedades del suelo complementarias analizadas (MOS y textura; Cuadro 2) muestran un comportamiento similar a los valores de la CRA en los suelos identificados como plaza 1 y 2, al presentar una alta estabilidad en las variables, independientemente del tipo de suelo. Una alta estabilidad en los valores de CRA y MOS indica una mayor infiltración y almacenamiento de agua, lo que se traduce en una mejora significativa de los servicios ecosistémicos. Esto incluye la prevención de inundaciones, la purificación del agua, la regulación del clima y la provisión de hábitats para la biodiversidad.

Cuadro 2. Propiedades del suelo complementarias.

Sitio	Tipo de suelo *	Ubicación	MOS [¥] (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)
Centro de convenciones (Feria municipal) 1	Vertisol	Sabinas, Coah.	3.1	12.8	18	69.2
Zona industrial 1	Vertisol	Sabinas, Coah.	2.2	11.8	11	77.2
Plaza municipal 1 (Área verde)	Vertisol	Sabinas, Coah.	4.1	17.8	23	59.2
Centro de convenciones (Feria municipal) 2	Xerosol	S. B., Coah.	5.1	12.8	24	63.2
Zona industrial 2	Xerosol	S. B., Coah.	2.0	5.8	7	87.2
Plaza municipal 2 (Área verde)	Xerosol	S. B., Coah.	4.4	14.8	28	57.2

* Con base en Mapa edafológico INEGI 1:250,000; [£] San Buenaventura; [¥] MOS, Materia Orgánica del Suelo.

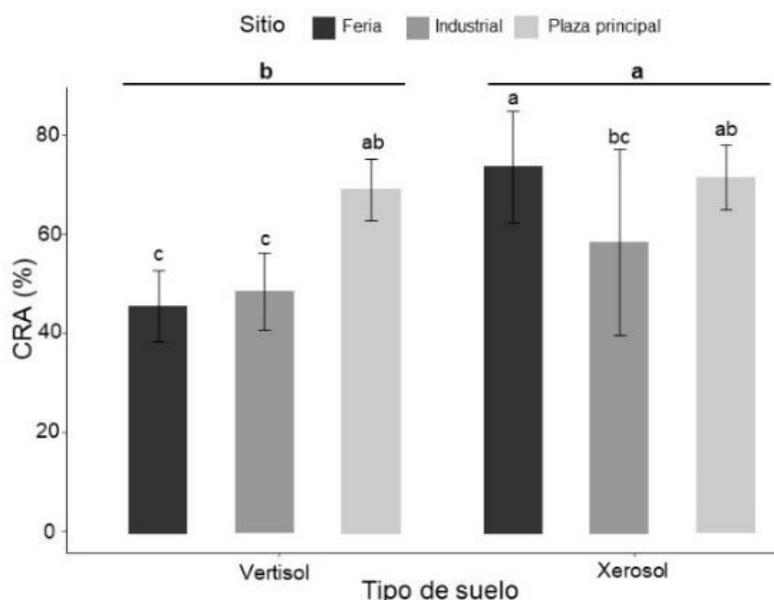


Figura 1. Comparación de medias de la CRA en función al tipo y al manejo de tres sitios urbanos.

División 4

CONCLUSIONES

La heterogeneidad de los suelos urbanos representa un reto para la evaluación de los servicios ecosistémicos relacionados con los procesos suelo-agua; sin embargo, al manejar adecuadamente los suelos es posible maximizar la prestación de servicios ecosistémicos en los ecosistemas urbanos.

AGRADECIMIENTOS

Al CINVESTAV Unidad Saltillo y al CONAHCYT.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdallah, A. M., Jat, H. S., Choudhary, M., Abdelaty, E. F., Sharma, P. C., & Jat, M. L. (2021). Conservation agriculture effects on soil water holding capacity and water-saving varied with management practices and agroecological conditions: A Review. *Agronomy*, 11(9), 1681.
- Bouyoucos, G. J. (1936). Directions for making mechanical analyses of soils by the hydrometer method. *Soil Science*, 42(3), 225-230.
- Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X., & Aguilar-Santelises, A. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas agrícolas, plantas y ECP. Instituto de Capacitación para la Productividad agrícola.
- Craul, P. J. (1994). The nature of urban soils: Their problems and future. *Arboricultural Journal*, 18(3), 275-287.
- Geroy, I. J., Gribb, M. M., Marshall, H. P., Chandler, D. G., Benner, S. G., & McNamara, J. P. (2011). Aspect influences on soil water retention and storage. *Hydrological Processes*, 25(25), 3836-3842.
- Meral, R., Demir, A. D., Demir, Y., Malasli, M. Z., & Turan, V. (2015). The improvement of soil water holding capacity, infiltration rate, and aggregate stability with different soil conditioners. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(11), 3550-3555.
- Millennium Ecosystem Assessment (MA). (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Olorunfemi, I., Fasinmirin, J., & Ojo, A. (2016). Modeling cation exchange capacity and soil water holding capacity from basic soil properties. *Eurasian Journal of Soil Science*, 5(4), 266-274.
- Petrova, S., Nikolov, B., Velcheva, I. & Marinov-Serafimov, P. (2022). Buffer green patches around urban road network as a tool for sustainable soil management. *Land*, 11(3), 343.
- Steubing, L., Godoy, R., & Alberdi, M. (2001). *Métodos en Ecología Vegetal*. Editorial Universitaria. Santiago.
- Vereecken, H., Kasteel, R., Vanderborght, J., & Harter, T. (2007). Upscaling hydraulic properties and soil water flow processes in heterogeneous soils: A review. *Vadose Zone Journal*, 6(1), 1-28.
- Wall, D. H., Bardgett, R. D., Behan-Pelletier, V., Herrick, J. E., Jones, T. H., Six, J., & Ritz, K. (2013). *Soil ecology and ecosystem services*. OUP Oxford.

LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS DEL SUELO EN EL SIGLO XXI, USANDO LAS REDES SOCIALES E INTERNET

Francisco Bautista^{1,*}; Ángeles Gallegos¹; David Palma-López²; Joel Zavala²; Héctor Estrada-Medina³; Yameli Aguilar⁴; Neftaly Gijón⁵; Avto Goguitchaichvili¹; Rufo Sánchez⁶; Patricia Quintana⁵; Antonio López²

¹Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México. Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701 Col. Ex Hacienda de San José de la Huerta C.P. 58190, Morelia, Michoacán, México. ² Colegio de Postgraduados campus Tabasco. ³ Universidad Autónoma de Yucatán, ⁴ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, ⁵ Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, ⁶ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

*Autor de correspondencia: leptosol@ciga.unam.mx

RESUMEN

En nuestro país el suelo se encuentra subvalorado, no se habla ni se estudia la seguridad edáfica, como se hace en otros países. Además, la enseñanza de las ciencias del suelo enfrenta dificultades para alcanzar objetivos de aprendizaje debido a la falta de acceso a información visualmente representativa, la falta de aplicaciones prácticas y métodos de enseñanza obsoletos e inadecuados. El objetivo de este trabajo fue el uso de las tecnologías de la información y la comunicación para renovar, actualizar y modernizar la enseñanza de las ciencias del suelo en México y el mundo. La estrategia consistió en desarrollar foros de enseñanza-aprendizaje usando Facebook, Blogger, YouTube y dos páginas web. El canal de YouTube "Suelos, ambiente y algo más" a la fecha cuenta con 2 406 seguidores y 450 000 reproducciones. La página web del Museo Virtual de Geografía de Suelos de México es un ejemplo de la socialización de la ciencia y referente mundial en la difusión de las ciencias del suelo. El "Grupo mexicano de edafología aplicada" cuenta con un blog que es visitado principalmente por personas de México, centro y Sudamérica, con 15 890 visitas. Por último, el grupo de Facebook "Edafólogos, Pedólogos, Soil scientists, Pedometricians y Amantes del suelo" cuenta con más de 12,546 miembros y casi 30,000 visualizaciones por mes. Mediante la creación de foros, páginas web, software y aplicaciones móviles es posible la mejorar la enseñanza y lograr la divulgación de las ciencias del suelo hacia diferentes grupos de personas en todo el mundo.

PALABRAS CLAVE

Perfiles de suelo; Sitio; Software; Sustentabilidad agrícola; Terreno; Web page.

INTRODUCCIÓN

En México el suelo se encuentra subvalorado, la degradación del suelo no goza de la misma relevancia que la degradación del agua y del aire, entre otras razones por el gran desconocimiento sobre sus funciones y servicios ecosistémicos. En nuestro país no se habla ni se estudia la seguridad edáfica, como se hace en otros países (McBratney et al., 2014).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Se reconoce que el país es megadiverso y esto se debe a que también es geodiverso, es decir, se cuenta con una gran variedad de geoformas, rocas, climas, ecosistemas y suelos (Jiménez-Sierra et al., 2014). En México hay 30 de los 32 grupos de referencia y una gran diversidad de suelos en cortas distancias (Krasilnikov et al., 2013). Esta riqueza ambiental deberá ser reconocida y aprovechada.

Por otro lado, la enseñanza de las ciencias del suelo no logra alcanzar sus objetivos de aprendizaje debido, entre otras cosas, a la dificultad de acceder a la información generada sin imágenes, datos incompletos, lenguaje taxonómico muy especializado, no aplicaciones de uso y formas de enseñanza antiguas e inadecuadas (Field et al., 2011). En los últimos años se han generado muchas tecnologías de información de suelos, sin embargo, toda esta información proveniente de las nuevas tecnologías aún no se ha puesto al servicio de la enseñanza de las ciencias del suelo.

El objetivo de este trabajo fue el uso de las tecnologías de la información y la comunicación para renovar, actualizar y modernizar la enseñanza de las ciencias del suelo en México y el mundo, mediante la creación de foros de enseñanza-aprendizaje usando Facebook, Blogger, YouTube y dos páginas web ("Museo virtual de geografía de suelos de México" y "El grupo mexicano de edafología aplicada. Dr. David J. Palma-López").

MATERIALES Y MÉTODOS

La estrategia consistió en desarrollar un canal de YouTube denominado "Suelos, ambiente y algo más" con vídeos sobre las propiedades de los suelos, atendiendo a explicar la propiedad en cuestión, la forma de analizarse en campo y laboratorio, y el uso de la información en la práctica.

Usamos Blogger y otros Blogs en dos sitios web propios para escribir notas sobre aspectos edafológicos y otros relacionados con el ambiente. Además, creamos un sitio web llamado "Museo Virtual de Geografía de Suelos de México", con la intención de: a) organizar por temas los videos del canal de YouTube; b) Organizar por temas las notas de los blogs; c) dar a conocer la tecnología generada para el estudio de los suelos (software y apps); d) crear un repositorio de mapas de suelos de México utilizando enfoques geopedológico, digital y etnopedológico, así como mapas digitales de metales pesados en 14 ciudades mexicanas; e) creamos un blog propio del museo para divulgar ideas sobre la cartografía de suelos; y f) creamos un módulo para la evaluación automatizada de perfiles de suelo del estado de Michoacán con un enfoque agrícola.

Para un público más allá del estudiantil creamos el sitio web "Grupo mexicano de edafología aplicada" donde divulgamos información para el uso agrícola y ambiental, así como publicidad sobre un diplomado en edafología aplicada que ya tiene 10 años de historia por el sur y centro del país.

Creamos un grupo de Facebook "Edafólogos, Pedólogos, Soil scientists, Pedometricians y Amantes del suelo" con la intención de compartir algunos hallazgos edafológicos de las diversas escuelas y formas de estudiar y aplicar las ciencias del suelo en el mundo.

División 4



Figura 1. Estrategia de trabajo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El canal de YouTube “Suelos, ambiente y algo más” a la fecha cuenta con 271 vídeos, 2406 seguidores, 450 000 reproducciones y 20 300 h de reproducción (Bautista, 2012). En los tiempos de clases y sin contar las vacaciones, el canal tiene en promedio 130 visitas por día y cerca de 1000 por semana. Sin duda, el canal de YouTube “Suelos, ambiente y algo más” es el de mayor audiencia en el mundo para el tema suelos, fue el primero en aparecer ya que fue creado el 3 de febrero del 2012, por lo que cuenta con 13 años de operación. Los vídeos sobre suelos con mayor número de reproducciones son: la estructura (47,328), la retención de humedad (44,152), la materia orgánica (40,914), la densidad aparente (40,511) y el color (20,224). Además, el canal cuenta con cuatro vídeos cortos con 4400 vistas y un podcast con 173,200 vistas. El público es principalmente mexicano (24.7%), sumando a Colombia, Perú, Argentina, Ecuador y Chile se alcanzan el 55% de la audiencia, en la lista sigue España, EE. UU., Bolivia, Guatemala, Venezuela, Honduras y Rusia. El público del canal es principalmente de jóvenes de entre 18 y 24 años (51.2%), de 25 a 34 años (33.1%) y 35 a 44 años (10%), estudiantes de licenciatura y posgrado.

Las notas de blog son 223 en total, 190 en Blogger, 5 notas en el blog del museo virtual de geografía de suelos de México, y 28 notas en el grupo mexicano de edafología aplicada. En Blogger tenemos 122,152 vistas, con casi mil vistas al mes y solo cuatro seguidores (Bautista, 2013). Las tres notas más vistas son: Tips para no morir en el intento de hacer una tesis de posgrado (6,680 vistas), Atlas de suelos de América Latina y el Caribe (4,940 vistas) y El mapa geomorfo-pedológico de Tabasco (3,590 vistas). Para nuestra sorpresa el público que lee las notas del blog es de Estados Unidos (58%), Singapur (17%), México (14%), Reino Unido (2%) e Irlanda (1%).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo



Figura 2. El canal de YouTube "Suelos, ambiente y algo más".

La página web del Museo Virtual de Geografía de Suelos de México es un claro ejemplo de la socialización de la ciencia (Bautista et al., 2021). Este museo es un referente mundial en la difusión de las ciencias del suelo, con más de 50,000 visitas a nivel mundial en su primer año de funcionamiento. El módulo de tecnología sobre las ciencias del suelo cuenta con software y apps. El software se enfoca en la evaluación de tierras (suelos, clima y calidad del agua de riego), las apps son de dos tipos, uno para el uso de la nomenclatura de suelos WRB en los estados de Yucatán, Campeche, Tabasco y Michoacán; y el otro tipo corresponde a apps de trabajo para el muestreo de suelos, plantas y polvo urbano en las ciudades. Las visitas al museo virtual de geografía de suelos de México son más de 51,000, donde predominan las provenientes de EE. UU., Europa y México principalmente. En un segundo plano están las visitas de personas de Asia y Australia, y en último lugar tenemos escasas visitas de Centro y Sudamérica.

El grupo mexicano de edafología aplicada fue creado para divulgar las actividades y el programa del diplomado en edafología aplicada que cada año se imparte en diversos estados del país (Bautista et al., 2015). El sitio web cuenta con un blog y con una sección de presentación de los participantes en el equipo de trabajo. Este blog es visitado principalmente por personas de México, centro y Sudamérica, cuenta con 15890 visitas. El diplomado fue diseñado considerando tres ejes: i) los conceptos teóricos básicos (clases, videos y lecturas seleccionadas); ii) prácticas para la generación de datos e información en campo y laboratorio; y iii) aplicación del conocimiento para el mejor manejo de las huertas.

División 4

El Papel de los Suelos en el Sostenimiento de la Sociedad y el Medioambiente

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Por último, el grupo de Facebook “Edafólogos, Pedólogos, Soil scientists, Pedometricians y Amantes del suelo” cuenta con más de 12,546 miembros, de México (5,702), Perú (1,616), Colombia (672), Bolivia (554), Argentina (433), Ecuador (413), Estados Unidos (253), Guatemala (244), Chile (241) y España (233) (Bautista, 2014). La edad de los miembros del grupo es mayor a la de los seguidores del canal de YouTube, es decir, el grupo más numeroso es el de 25 a 34 años, seguido de 35 a 44 años y de 18 a 24 años en tercer lugar. Sin embargo, se cuenta con seguidores de más de 65 años. Las personas identificadas con el género masculino presentaron un porcentaje que va del 1 a 7% más que las del género femenino en todos los grupos de edad. El grupo de Facebook cuenta con casi 30,000 visualizaciones por mes.



Figura 3. Las portadas de los dos sitios web. a) Museo Virtual de Geografía de Suelos de México; y b) Grupo Mexicano de Edafología Aplicada.

CONCLUSIONES

El uso de las tecnologías de la información y la comunicación permite renovar, actualizar y modernizar la enseñanza de las ciencias del suelo en México y el mundo. Mediante la creación de foros de enseñanza-aprendizaje, páginas web, software y aplicaciones móviles es posible la divulgación de la ciencia de suelo para diferentes grupos de personas en distintas partes del mundo.

AGRADECIMIENTOS

Al CONAHCYT por el financiamiento al proyecto “Métodos híbridos (geopedológicos, pedométricos) para el análisis espacial de los suelos en ambientes kársticos, volcánicos y fluviales de México”.

BIBLIOGRAFÍA

- Field, D. J., Koppi, A. J., Jarret, L. E., Abbot, L. K., Cattle, S. R., Grant, C. D., McBratney, A. B., Menzies, N. W., & Weatherley, A. J. (2011). Soil Science teaching principles. *Geoderma*, 167-168, 9-14.
- Krasilnikov, P., Gutiérrez-Castorena, M.C., Ahrens, R. J., Cruz-Gaistardo, C.O., Sedov, S., & Solleiro-Rebolledo, E. (2013) *The Soils of Mexico*. Dordrecht, NL: Springer.
- Jiménez-Sierra, C.L., Sosa-Ramírez, J., Cortés-Calva, P., Solís-Cámara, A. B., Iñiguez-Dávalos, L. I., & Ortega-Rubio, A. (2014). México país megadiverso y la relevancia de las áreas naturales protegidas. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 60, 16-22.
- McBratney, A., Field, D.J., & Koch, A. (2014). The dimensions of soil security. *Geoderma*, 213, 203-213.
- Bautista, F. (2012). Suelos, ambiente y algo más [canal de YouTube] Consultado el 14 de agosto de 2024 en: <https://www.youtube.com/@fbautistaz>
- Bautista, F. (2013). Suelos, ambiente y algo más [Blog]. Consultado el 14 de agosto de 2024 en: <https://geoyambiente.blogspot.com/>
- Bautista, F., Gallegos, A., Aguilar, Y., Montiel, C., Quintana, P., Reyes, J., Zavala, J., Morales, J., Goguichaichvili, A., Cenicerros, A., Ramos, S., Luna, V., Cejudo, R., Estrada, H., Aguilera, A., Solís, F., Gutiérrez, M., Sánchez, R., García, R., & Palma, D. (2018). Museo virtual de geografía de suelos de México [Página web]. Consultado el 14 de agosto de 2024 en: <https://museosuelos.ciga.unam.mx/>
- Bautista, F., Palma, D., Sánchez, R., Zavala, J., Estrada, H., Aguilar, Y., Gallegos, A., Brindis, I., Aguilera, A., Fragoso, P., Fausto, O., González, F., Álvarez, O., Montiel, C., Quintana, P., Pereira, A., Ramos, S., & Ayala, F. (2015). El Grupo Mexicano de Edafología Aplicada GMEEDAP: Dr. David J Palma López [Página web]. Consultado el 14 de agosto de 2024 en: <https://www.suelos.org.mx/gmeedap/>
- Bautista, F. 2014. Edafólogos, Pedólogos, Soil scientists, Pedometricians y Amantes del suelo [Página de Facebook]. Consultado el 14 de agosto de 2024 en: <https://www.facebook.com/groups/288176104706292>

LOS SUELOS PRODUCTIVOS PARA LA AGRICULTURA SEPULTADOS BAJO CONCRETO CONDENARÁN A LA HUMANIDAD EN LA INSUFICIENCIA ALIMENTARIA Y AL ESTRÉS HÍDRICO

Cuitlahuac Alfonso Roviroso Madrazo¹; Pablo Zaldívar Martínez²;
Sergio Ramírez García³

¹ CONAHCYT-CONCYTEP. ² Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la BUAP.

³ Fotobiológicos S.A de C.V.

cuitlahuacroviroso@exalumno.unam.mx

RESUMEN

El cambio climático en perspectiva energética por efectos físicos entre macrocosmos y microcosmos,-Hace esencial explicarlo-;El fin de la vida está en peligro-; El comportamiento particulado de *Energía-Demanda*, la interacción con sus fuentes, el uso desmedido de recursos al obtenerla y consumismo aberrante, nos condenarán al caos. O rectificamos *producción-consumo* e infraestructura, o perderemos todo. Del presente análisis: Los volúmenes de producción global de Millones de automóviles y camiones: 55.22 M/A en 2021 y 3.2 M/C. (Ranking principales fabricantes de automóviles., 2023) reflejan a la industria automotriz y camiones como los principales consumidores de energía fósil para fabricación; La destrucción de ecosistemas y océanos, -sargazo daño oceánico por metales pesados en tejidos- (Roviroso y Guadarrama., 2021). Extracción de materias primas con energía petroquímica, minerales, plásticos, etc. El desplazamiento de selvas por Heveas 3M de neumáticos/año. (Del Real M. J., 2021). México produjo 62, 351 TM-Látex en 2016 (SE-SIAP., 2016). Los suelos con concreto en M de Km² desplazan suelos agrícolas, -éstos-, transfieren, difractan, reflejan rayos UV y calor, incrementando temperatura y afectando recargas de cuencas. De ahí, la crisis climática. Tan sólo, la UE el total de suelos agrícolas 39.1 %/superficie total. (Eurostat Statistics Explained., 2024.). Objetivos. Señalar a la industria automotriz, camiones cómo 1° causa de la pérdida de suelos productivos. Metodología. Definición de problema, búsqueda de información, organización de información, análisis de información. Resultados. Presencia de partículas citotóxicas en campos agrícolas y aguas, (COVs, PM 2.5). Neumáticos 348 M (GEI), baterías 60 M (ácidos, plásticos, Plomo, Litio); Parabrisas, ventanas 348 M (Silicio). Caos de espacio y contaminación (auto/5 m², equivalentes a 275,000 Km² con producción de 2022, la vida útil de 13 años/auto). Para el año 2030 autos ocuparán un territorio del tamaño de España como chatarra. Conclusiones. El humano tendrá que decidir entre vehículos individuales o suelos productivos.

PALABRAS CLAVE

Agricultura-Autos-Cambio-climático; Suelos agrícolas *vs.* Autos Camiones; Cambio Climático-Autos Camiones Suelos Agrícolas; Agricultura-Pérdida de suelos -Autos; COVs-Suelos agrícolas.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Desplazamiento de suelos agrícolas y forestales



Figura 1. Destrucción total de ecosistemas para explotación minera. (Izq.) Mina de extracción de plomo (baterías autos) en el Cerro de Pasco, Perú y (Der.) Litio en México (autos eléctricos).



Figura 2. Destrucción de ecosistemas de bosques reduciéndolos a su extinción, para la construcción de parabrisas, microcomponentes electrónicos, Fierro, Litio, Zinc, pinturas metálicas (Izq.); Destrucción hidrológica por las descargas de aguas con metales pesados (Der.).



Figura 3. Plantaciones de Heveas y destino en tiraderos y quema de miles de millones de llantas generando residuos sólidos urbanos e industriales, emisión de millones de litros de lixiviados, PM 2.5 a 0.5, GEI y COVs. Composición de los neumáticos o llantas.



Figura 4. Sustitución espacial de espacios con vida al agotamiento de suelos y la vida planetaria por autos, camiones, metales pesados, concreto, plásticos y sus componentes.

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

REFERENCIAS

Ranking de los principales fabricantes de automóviles según el volumen de ventas a nivel mundial en 2021 <https://es.statista.com/estadisticas/600663/fabricantes-de-automoviles-venta-de-vehiculos-a-nivel-mundial/> Fecha de consulta: 9 de septiembre del 2022.

Rovirosa Madrazo C.A., Guadarrama L. A., R. Escobar D., 2021. Indicadores ultraestructurales, elementos esenciales, grados de toxicidad y medios físicos por la presencia Sargassum en Cancún, Quintana Roo. Ciencia y Mar. INAOE-CONACYT. ISSN 1665-0808. México.

Secretaría de Economía. 2017. Perfil De Mercado Del Sílice, Subsecretaría de minería, dirección general de desarrollo minero. México. p 4 y 5.

Eurostat Statistics Explained., 2024. <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?oldid=442608>

MAPA DE SUELOS PARA LA GESTIÓN DE DECISIONES EN EL CAMPUS CENTRAL DE LA UNAM

Silke Cram Heydrich¹; Blanca Prado Pano²; María del Pilar Ortega Larrocea²; Lucy Mora Palomino²; María del Pilar Fernández Lomelin¹; Mario Cayetano Salazar¹; Marie Noëlle Guilbaud³; Isaac Quijada¹; Elizabeth Chávez-García⁴

¹Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, Ciudad de México, México

²Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Ciudad de México, México

³Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, Ciudad de México, México

⁴Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, Ciudad de México, México, elizabethchavezg@filos.unam.mx

RESUMEN

La base de la gestión del suelo, para asegurar que sus funciones ecológicas se cumplan y contribuir así a la sustentabilidad, requiere contar con información cartográfica. En una ciudad, esto es un reto debido a la modificación que han sufrido los factores formadores del suelo por la influencia del humano, lo que dificulta la elaboración de un mapa de suelos, como el que se requiere para tomar decisiones sobre su manejo. En este trabajo se presenta una propuesta para la elaboración de un mapa de suelos para el campus central de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Este mapa es necesario para aplicar las acciones contenidas en el Plan Integral para la Sustentabilidad (PISU) elaborado por la Coordinación Universitaria para la Sustentabilidad de la UNAM, que es el documento rector para la consolidación de la UNAM como una universidad sustentable. Uno de los objetivos del PISU es promover el manejo adecuado y la preservación de los suelos, las áreas verdes y las reservas naturales, por lo que es necesario contar con un mapa de suelos detallado. Este trabajo también pretende sentar las bases para que otros campus elaboren sus respectivos mapas de suelos.

PALABRAS CLAVE

Factores formadores; Leptosoles; Sustentabilidad; Tecnosoles; Universidad.

INTRODUCCIÓN

El campus central de la Ciudad Universitaria (CU) de la UNAM fue construido en 1951 sobre el derrame lávico distal del volcán Xitle de *ca.* 1670 años (Siebe, 2000). El proceso constructivo inició con la rectoría y edificios anexos sobre una kipuka (relieve rodeado por lava reciente), hoy patrimonio mundial de la UNESCO (Fig. 1).

Conforme CU comenzó a aumentar su matrícula, este espacio resultó insuficiente por lo que se hicieron posteriores fases constructivas hacia el sureste sobre el derrame lávico. Además, para construir los jardines se niveló la superficie de la lava con desechos de construcción y sedimentos.

Actualmente la CU ocupa una superficie de 730 ha, en donde se identifican tres principales usos del suelo (Lot *et al.*, 2012):

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

i) Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA): cubre el 32.6% del campus y protege un ecosistema único con la mayor biodiversidad de la cuenca de México, desarrollado sobre las lavas del Volcán Xitle y donde se presentan suelos jóvenes y poco desarrollados de tipo Leptosol (Siebe *et al.*, 2016; Castellanos Vargas *et al.*, 2017). Debido a la gran variedad de microambientes que se forman en la superficie rugosa, los espesores del suelo son variables, no mayores a 25 cm y aun con ello, cumplen la función de soporte de vegetación además de tener una alta capacidad de infiltración (Canteiro *et al.*, 2019).

ii) Áreas verdes ajardinadas: ocupan el 23 % de CU y se originaron durante las fases de construcción del campus central desde los años 50. Desde entonces y a la fecha, se han ido construyendo nuevas zonas. Estas áreas de jardines se crearon tapando y con ello destruyendo los suelos naturales. En estas superficies se desarrollan suelos artificiales de tipo Tecnosol que cumplen funciones de soporte de la vegetación exótica y son importantes para la recreación.

iii) Infraestructura (edificios, vialidades, banquetas, etc.): cubre el 44.3% del territorio de CU. Son suelos sellados en los que se han anulado todas sus funciones (Fig. 2).

El estudio de estos diferentes tipos de suelos ofrece una oportunidad para desarrollar estrategias que permitan que la CU sea una aula viva en la que los estudiantes aprenden a describir los suelos, identificar sus funciones y, en su caso, pueden proponer prácticas de manejo para mejorar su calidad. Si bien existen algunos documentos que permiten trazar las etapas constructivas de CU, no se tienen datos exactos sobre las fechas y tipo



Figura 1. Fotos aéreas de 1951 (izquierda) y 2023 (derecha) de rectoría y estadio olímpico de la UNAM. Nótese el alto grado de transformación del área entre ambas fechas. El trazo N-S de la Av. Insurgentes (flechas) representa una referencia importante.



Funciones y servicios

Figura 2. Las funciones y servicios ecosistémicos de los suelos se modifican en los tecnosuelos y se anulan en los suelos sellados: de izquierda a derecha suelos naturales (leptosoles) (arriba) y paleosuelos debajo de la lava (abajo). Imagen de un tecnosuelo (central) y suelos sellados (derecha).

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

de materiales utilizados, por lo que este trabajo pretende realizar un levantamiento documental, histórico y pedológico de los tipos de suelos del campus. Esto permitirá rescatar la noción del paisaje que habitamos y su historia, así como realizar prácticas de campo considerando diferentes enfoques que conduzcan a la interdisciplinariedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del mapa se integró una base de datos con información de cartografía existente sobre geología, etapas constructivas de CU (1954-2010), vialidades y otros servicios. Adicionalmente se revisaron fotografías aéreas de antes, durante y después de las fases constructivas de CU. A través de entrevistas a personas que conocen la historia de CU (Ing. Alfredo Martínez Sigüenza, Ex coordinador de Áreas Verdes y Forestación, el Ing. Salvador Fernández, encargado de la planeación de los edificios iniciales en la Rectoría, y Arqueol. Miguel Medina) se localizaron pequeñas superficies que la lava del volcán Xitle no cubrió (kipukas); se investigó sobre los materiales utilizados para rellenar las zonas que se convirtieron en jardines, se identificaron los sitios de disposición de residuos y se obtuvo información sobre detalles constructivos y la historia prehispánica del sitio. En el campo de CU se identificaron 4 Tecnosuelos desarrollados a partir de materiales de relleno de diferente composición, depositados en tiempos diferentes 60, 45, 35 y 30 años y un suelo natural. Para su verificación se realizó un levantamiento en campo y análisis de laboratorio de las propiedades físicas y químicas.

Para procesar y representar la información se utilizó un Sistema de Información Geográfica (software ArcGis ver. 10.3).

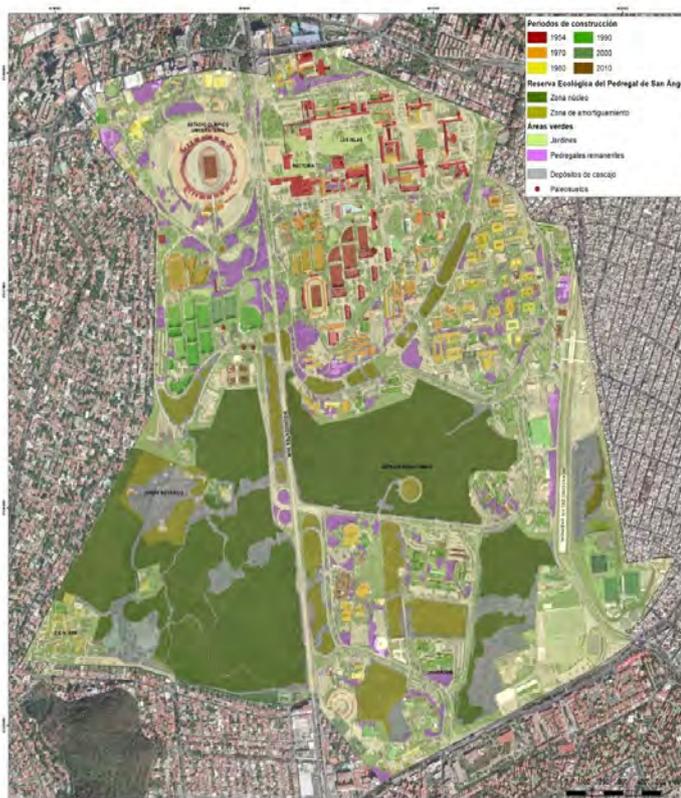


Figura 3. Mapa de uso de suelo de Ciudad Universitaria

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la información recabada, se obtuvo un mapa de uso de suelo de CU (730 ha) donde se observan polígonos de las zonas protegidas con ecosistema originario (Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, REPSA, 237 ha), zonas de áreas verdes con jardines (169 ha) y zonas históricas de disposición de cascajo (Fig. 3).

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

En el mapa se identificaron 3 tipos de suelos naturales desarrollados: i) sobre lava del Xitle, ii) en kipukas y iii) paleosuelos. Los suelos artificiales creados a partir del depósito de materiales diversos dentro del campus de CU corresponden a tecnosuelos que se diferencian según las etapas constructivas y que guardan una memoria edáfica de acuerdo con el material parental antrópico (artefactos) y a su edad (Fig 4).

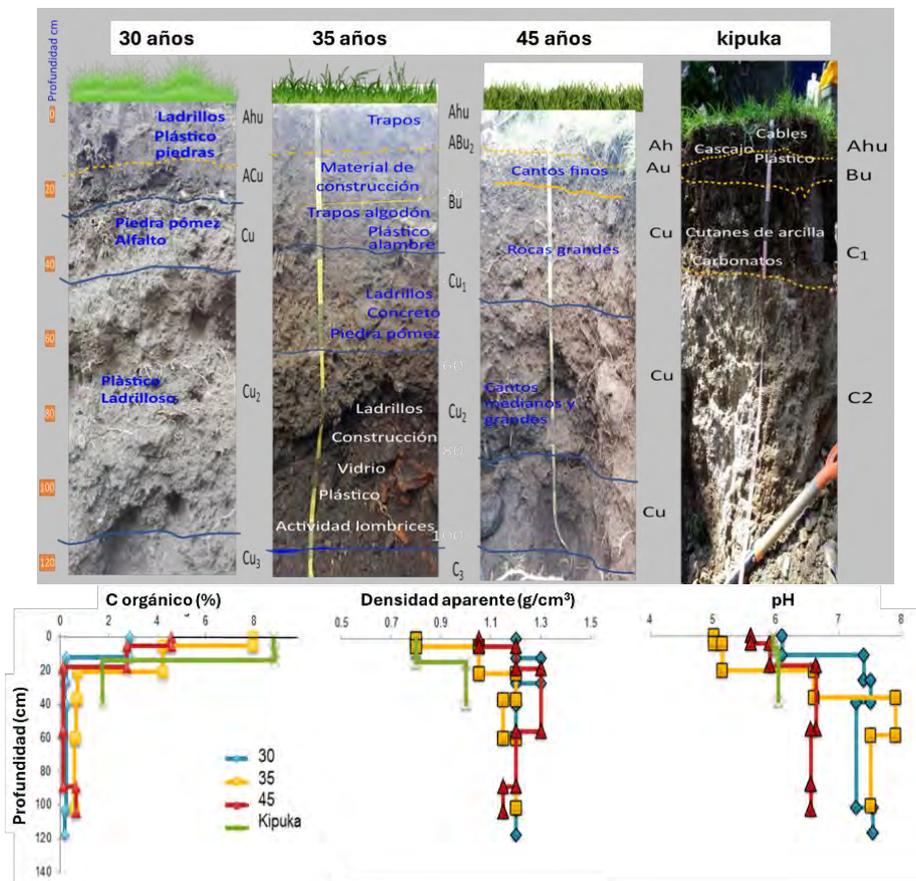


Figura 4. Tecnosuelos y suelo formado sobre una kipuka (extremo derecho) de Ciudad Universitaria.

A partir del análisis de algunos tecnosuelos y suelos desarrollados en la kipuka, se observó que los tecnosuelos (30, 35, 40 años) son más compactos (densidad aparente más alta) que el suelo natural desarrollado en la kipuka. Los suelos artificiales también reflejan en el pH, los materiales de construcción utilizados en el relleno, con altos contenidos de carbonatos.

CONCLUSIONES

El trabajo aquí presentado, además de promover el manejo adecuado y la preservación de los suelos de CU, puede ser parte de una estrategia para formar profesionales que puedan trabajar en la planificación de ciudades sostenibles, de varias disciplinas como lo son la geografía, ciencias de suelos, geología y biología. El estudio de los suelos en el campus permite trabajar sobre un espacio con el cual interactúan durante sus estudios y en su caso, durante su vida diaria. También, la realización del mapa de suelo tiene relaciones con varios trabajos en proceso que tratan de entender el valor del área para el geopatrimonio y la sociedad en general (Guilbaud *et al.*, 2021).

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

AGRADECIMIENTOS

PAPIME PE104124 “Los suelos urbanos de la Ciudad Universitaria como un área de oportunidad para la docencia”.

BIBLIOGRAFÍA

- Canteiro, M., Olea, S., Escolero, O., & Zambrano, L. (2019). Relationships between urban aquifers and preserved areas south of Mexico City. *Groundwater for Sustainable Development* 8, 373-380. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.12.007>
- Castellanos Vargas, I., Garcia Calderon, N. E., & Cano Santana, Z. (2017). Procesos físicos del suelo en la reserva ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria: atributos para su conservación. *Terra Latinoamericana* 35(1), 51-64.
- Guilbaud, M. N., Ortega-Larrocea, M. D. P., Cram, S., & van Wyk de Vries, B. (2021). Xitle volcano geoheritage, Mexico City: raising awareness of natural hazards and environmental sustainability in active volcanic areas. *Geoheritage* 13(1), 6.
- Lot, A., Pérez-Escobedo M., Gil-Alarcón G., Rodríguez-Palacios, S., & Camarena, P. (2012). *La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel: Atlas de riesgos*. SEREPSA, UNAM, México.
- Siebe, C. (2000). Age and archaeological implications of Xitle volcano, southwestern Basin of Mexico-City. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 104(1-4), 45-64.
- Siebe, C., Mendoza-Hernández, P.E., Juárez-Orozco, S.M., Vázquez-Selem, L., & Cram, S. (2016). Consecuencias de la actividad volcánica del Xitle y el disturbio antrópico sobre las propiedades del suelo y la diversidad vegetal del Parque Ecológico de la Ciudad de México en el Ajusco medio. En: Santos-Cerquera, C., & Aguilar, A.G. *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. I., México, CONABIO/SEDEMA, pp. 75-91.

División 4

METALES PESADOS EN EL SUELO DE CULTIVO DE NARANJA EN HIDALGO, TAMAULIPAS, MÉXICO

Maria del Pilar Herrera-Mendoza¹; Laura Sanchez-Castillo²;
Edmar Meléndez Jaramillo²

¹Universidad Autónoma de Tamaulipas, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Centro Universitario, Cd. Victoria, México. C.P. 87120. ²Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Centro Universitario, Cd. Victoria, México. C.P. 87120.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo se centró en la evaluación de la contaminación del suelo por metales pesados en dos huertas del cultivo de naranja dulce en la zona citrícola del estado de Tamaulipas. Para ello, se obtuvieron 68 muestras de suelo las cuales fueron procesadas y posteriormente, se empleó el método de extracción del DTPA para determinar las concentraciones biodisponibles de metales pesados en el suelo las cuales fueron analizadas mediante espectrofotometría de absorción atómica de flama (EAA). De acuerdo con los resultados obtenidos, cuatro metales pesados se encuentran disponibles en el suelo, mostrando el siguiente orden de acuerdo con su concentración $Cu > Pb > Cr > Cd$. Además, las concentraciones más altas de Pb, Cr y Cd estuvieron presentes en el sitio 1, por otro lado, los mayores valores de Cu se presentaron en el sitio 2. A pesar de ello las concentraciones biodisponibles no excedían los límites máximos permisibles para el tipo de suelo.

PALABRAS CLAVES

Agroquímicos; Contaminación; Herbicidas; Seguridad alimentaria.

INTRODUCCIÓN

En años recientes la contaminación ambiental por metales pesados se ha convertido en un problema de relevancia a nivel mundial, debido principalmente al aumento de las concentraciones de estos contaminantes como resultado de diversas actividades antropogénicas. Siendo la agricultura una de las principales causantes de contaminación en el suelo por metales pesados a largo plazo, esto como resultado de algunas prácticas agrícolas en donde destaca el uso intensivo de agroquímicos como los fertilizantes a base de fosfatos, así como de plaguicidas, herbicidas, insecticidas entre otros productos (Loyde *et al.*, 2022). Estos productos químicos contienen metales pesados en su formulación como por ejemplo el cobre, el cual es utilizado ampliamente en fungicidas y plaguicidas, constituyendo así a los sistemas de producción agrícola como una importante fuente no puntual de contaminación por metales pesados, la aplicación continua de estos productos altamente tóxicos sin periodo de descanso, ni rotación de cultivos provoca entre otras cosas, la acumulación e incremento de estos contaminantes en el suelo, en algunos casos llegando a superar los límites máximos permisibles establecidos por la legislación nacional e internacional (Mahecha-Pulido *et al.*, 2015; Mendoza-Escalona *et al.*, 2021).

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Los metales pesados son contaminantes altamente tóxicos que se pueden acumular en el suelo a través de los años ya que no se pueden degradar, al estar biodisponibles en el suelo estos elementos pueden ser absorbidos por las plantas a través de las raíces y acumularse en distintas partes de la planta como raíces, tallos y frutos; es de esta manera que sucede la translocación de los metales pesados a los productos agrícolas a través de la cadena suelo-planta-consumidor. Es mediante esta transferencia que los productos agrícolas se pueden convertir en tóxicos para los seres vivos a lo largo de toda la cadena alimentaria, ya que una de las principales vías de exposición a los metales pesados es la ingesta de alimentos contaminados (Cantoral *et al.*, 2024). Esto supone una seria amenaza para la salud humana ya que el consumo de productos que contengan metales pesados puede ocasionar diferentes efectos sobre la salud de los seres humanos que va desde intoxicaciones leves hasta enfermedades crónicas, cáncer e inclusive la muerte (Londoño-Franco *et al.*, 2016; Xiang *et al.*, 2021).

Por lo cual el presente estudio tiene como objetivo de proporcionar conocimientos sobre la presencia de residuos contaminantes tipos metales pesados en el suelo del cultivo de naranja de la segunda citrícola de Tamaulipas, así como conocer las concentraciones de metales pesados que se encuentran biodisponibles y su posible dispersión en el suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio: El estudio se realizó en el área citrícola de Santa Engracia localizada en el municipio de Hidalgo, Tamaulipas, México. Este municipio se encuentra a una elevación de 329 m.s.n.m y presenta un clima semiárido subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura promedio anual de la región es de 24 °C y el rango de precipitación anual de 800-100 mm (INEGI, 2021).

Muestreo: Debido a la ausencia de estudios previos que nos indiquen la presencia de contaminantes tipo metales pesados en el área de estudio, se realizó un muestreo exploratorio utilizando una distribución aleatoria simple de acuerdo con lo dispuesto en la Norma Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2016 con el objetivo de identificar y evaluar la presencia de metales pesados en el suelo, así como la distribución horizontal y posible migración vertical de los contaminantes (SE, 2016). Se muestrearon 2 huertas de cultivo de naranja dulce (*C. sinensis*) el muestreo se realizó en 2 fases, la primera fase consistió en un muestreo superficial en el que se colectaron 10 muestras de compuestas de suelo a una profundidad de 5 cm dentro de cada sitio de estudio. Posteriormente, se llevó a cabo un muestreo de dispersión en el cual se establecieron 2 zonificaciones por fuera de cada sitio de estudio a distancia de 10 y 20 m. En cada zona se situaron 4 puntos de muestreo distribuidos cardinalmente y en cada punto se tomó una muestra simple a 3 profundidades 10-20 cm, 20-30 cm y de 30-40 cm. Todas las muestras se colectaron utilizando una pala de acero inoxidable y fueron depositadas en bolsas plásticas de polietileno previamente etiquetadas.

Metales pesados: Se determinó la biodisponibilidad de los MP (Cd, Cr, Cu y Pb) de acuerdo con el método AS-18 de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 el cual emplea el ácido dietiltri Aminopentaacético (DTPA) como agente quelante cuyo propósito es extraer los metales que están disponibles para la absorción de las plantas y que se encuentran unidos a la materia orgánica.

División 4

El procedimiento de extracción consistió en colocar 10 g de suelo seco y previamente procesado en un matraz Erlenmeyer, posteriormente se añadieron 20 ml de solución de DTPA, posteriormente se tapó el matraz y se procedió a agitar en un agitador horizontal a 120 oscilaciones por minuto durante 2 horas. Una vez concluida la agitación se filtró la suspensión a través de papel Whatman No. 42 y finalmente, las concentraciones de metales biodisponibles se determinaron utilizando espectrofotometría de absorción atómica de flama (EAA) con un espectrofotómetro Perkin Elmer.

Análisis de datos: Las concentraciones de metales pesados dentro de los sitios de estudio se analizaron mediante estadística descriptiva.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

El análisis descriptivo (Cuadro 1) indica diferencias en la variabilidad de las concentraciones de los metales pesados (Cd, Cu, Cr y Pb) entre los dos sitios, dicha variabilidad puede reflejar diferentes fuentes de contaminación en cada sitio. La desviación estándar del Pb es la misma en ambos sitios lo que sugiera que la variabilidad en las concentraciones de plomo es similar entre el sitio 1 y el sitio 2, es decir que las concentraciones de Pb están dispersas alrededor de la media en ambos sitios. La desviación estándar del Cu en el Sitio 1 indica una mayor variabilidad de las concentraciones de este elemento en comparación con las concentraciones del sitio 2, lo que podría sugerir que este sitio 2 enfrenta fuentes de contaminación más uniformes.

Cuadro 1. Concentraciones de los metales pesados en el suelo de los sitios de estudio.

Parámetro	Sitio	Media	Mediana	Min	Max	Des.			N
						V	Curtosis	Asimetría	
Cd	S1	0.070	0.072	0.030	0.104	0.026	-1.570	-0.200	10
	S2	0.038	0.038	0.020	0.062	0.013	0.407	0.717	10
Cu	S1	1.649	1.654	1.524	1.818	0.108	-1.489	0.260	10
	S2	1.973	1.983	1.836	2.064	0.064	1.576	-0.982	10
Cr	S1	0.381	0.390	0.322	0.422	0.033	-0.748	-0.531	10
	S2	0.220	0.215	0.138	0.322	0.068	-1.441	0.322	10
Pb	S1	0.403	0.403	0.380	0.444	0.020	0.537	0.881	10
	S2	0.341	0.341	0.312	0.374	0.020	-0.224	0.178	10

La comparación de las concentraciones de metales pesados en los sitios de estudio (Figura 1) indicó que el sitio 1 presentó los niveles más altos de Cd, Cr y Pb en comparación con el sitio 2, sin embargo, el sitio 2 registró las concentraciones más elevadas de Cu.

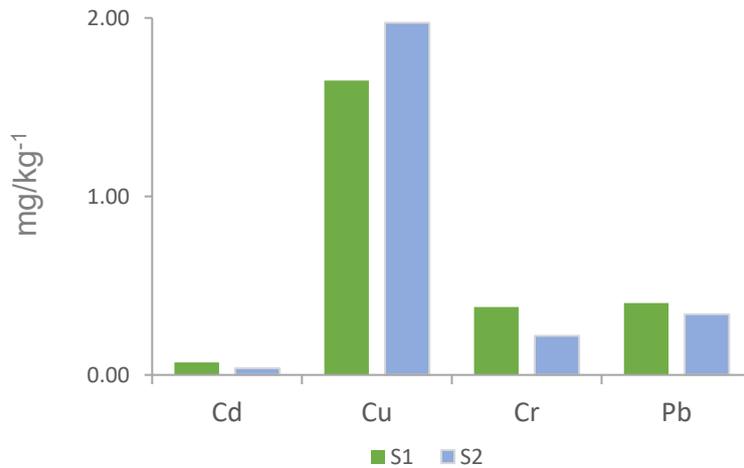


Figura 1. Concentraciones promedio de metales pesados (Pb, Cd, Cr y Cu) en suelos.

Se determinaron las concentraciones de metales pesados en 4 puntos de muestreo (norte, sur, este y oeste) a dos distancias del sitio de estudio (10 y 20 m), como se observa en la figura 2 el sitio 2 presentó las concentraciones más altas de Cu y Cr con respecto a lo determinado en el sitio 1 esto puede indicar una mayor exposición o una fuente de contaminación más persistente. Las concentraciones de Cu fueron significativamente más elevadas en el sitio 2 que en el sitio 1, siendo el punto Este el cual presentó los mayores niveles de Cu en ambas distancias 4.94 mg/kg-1 a los 10 metros y 5.17 mg/kg-1 a los 20 metros, esto puede indicar una contaminación más significativa o a su vez una mayor acumulación de estos elementos en ciertas áreas.

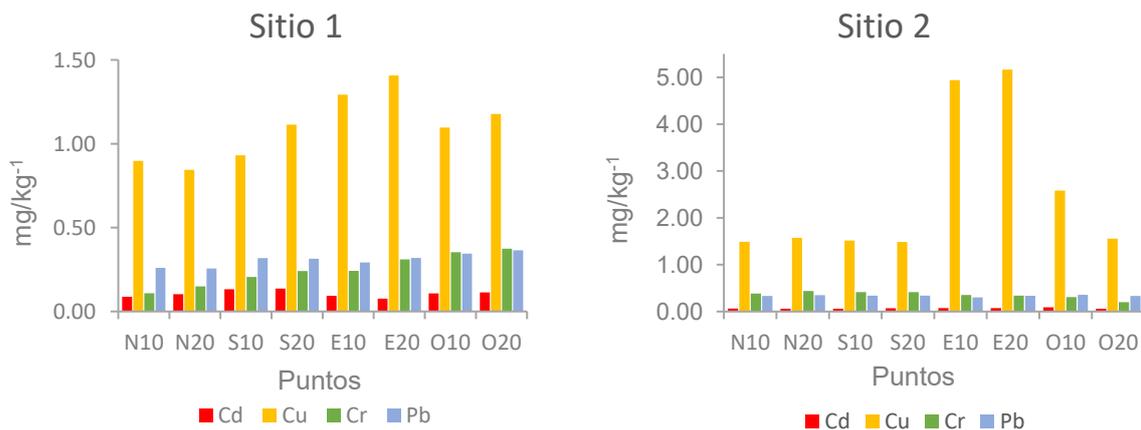


Figura 2. Concentraciones promedio de metales pesados (Cd, Cu, Cr y Pb) fuera del sitio de estudio.

CONCLUSIONES

Se cuantificaron las concentraciones de Pb, Cd, Cr y Cu en suelos agrícolas destinados al cultivo de naranja en donde se observó que los diferentes niveles encontrados no superaban los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en la

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

NOM-021-RECNAT-2000. Sin embargo, diversos estudios han demostrado que el método de DTPA es una técnica de extracción eficaz, económica y de fácil adaptación para determinar las concentraciones de metales pesados biodisponibles, debido a que, se ha observado que existe una relación positiva entre las concentraciones de metales pesados obtenidas con este método y las cantidades absorbidas por las plantas. Por lo tanto, a pesar de que los sitios de estudio se encuentren dentro de los límites permitidos es importante realizar estudios de monitoreo que nos permitan conocer su estado, ya que estos elementos al estar biodisponible les pueden ser absorbidos por las raíces y de esta manera trastocarse a los cultivos y acumularse en diferentes partes de la planta incluyendo los frutos.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al CONAHCYT.

BIBLIOGRAFÍA

- Cantoral, A, Betanzos-Robledo, L., Collado-López, S., García-Martínez, B. A., Lamadrid-Figueroa, H., Mariscal-Moreno, R. M., Díaz-Ruiz, A., Ríos C. & Téllez-Rojo, M. M. 2024. Lead Levels in the Most Consumed Mexican Foods: First Monitoring Effort. *Toxics* 12(5): 318.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2021). Superficie estatal por tipo de clima. En: Dirección General de Geografía (Eds) Aspectos geográficos de Tamaulipas Anuario estadístico y geográfico de Tamaulipas. INEGI. México. pp:10-34.
- Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, P. T. & Muñoz-García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 14(2), 145-153.
- Mahecha-Pulido, J. D., Trujillo-González, J. M. & Torres-Mora, M. A. (2015). Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del Ariari, Departamento del Meta. *Orinoquia* 19 (1), 118-122.
- Mendoza-Escalona, B., Torres-Rodríguez, D., Marcó, L. M., Gómez, C., Estanga-Barrios, M. & García-Orellana, Y. (2021). Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza. *TecnoLógicas* 24 (51), 4-15.
- SE (Secretaría de Economía). (2016). Norma Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2016: Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra. México. 1-35 p.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2002) Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000: Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. México, 1-85p.
- Xiang, M., Y. Li, J. Yang, K. Lei, Y. Li, F. Li., D. Zheng, X. Fang and Y. Cao. 2021. Heavy metal contamination risk assessment and correlation analysis of heavy metal contents in soil and crops. *Environmental Pollution*, 278: 116911.

División 4

MICROHONGOS CULTIVABLES EN PARCELAS CON MILPA EN OAXACA, CHIAPAS Y CIUDAD DE MÉXICO

Judith Castellanos-Moguel¹; Esmeralda Mendoza-Solís¹; Dennia Fernanda Vidal-Orozco¹; Gabriel Cavazos Uriarte¹; Cecilia García Ibarra¹; Gilberto Vela-Correa¹; Arnoldo Wong-Villareal²; Sandra L Cabrera-Hilerio³; Mariana Miranda-Arámbula⁴; Alan Carrasco-Carballo³; Jesús Sandoval-Ramírez³

¹ Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, ² Universidad Tecnológica de la Selva, Ocosingo, Chiapas, ³ Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, ⁴ Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada-IPN. Autor para correspondencia: mjmoguel@correo.xoc.uam.mx

RESUMEN

En México, uno de los agroecosistemas más usados para la producción de cultivos básicos como el maíz y el frijol, es la milpa, que combina varias especies vegetales y es un reservorio de biodiversidad, esto incluye también a los hongos del suelo, sin embargo, cada región del país tiene sus propias prácticas de manejo, por lo que el objetivo del estudio fue comparar la cantidad y frecuencia de aislamientos de microhongos cultivables en milpas con diferentes manejos en tres sitios de la República Mexicana. Se tomaron muestras en Santo Domingo Ingenio (SDI) Oaxaca, San Nicolás Tetelco (SNT) CDMX y Ocosingo (OCh) Chiapas, en este último sitio se practica la quema antes de la siembra. Para el aislamiento se utilizó el método de placas de Warcup modificado, se cuantificaron las unidades formadoras de colonias (UFC)/ gr de suelo y se hizo la identificación a nivel de género de los hongos aislados. Se aisló e identificó un total de 1457 UFC para los tres sitios, el lugar con una mayor cantidad de UFC/g de suelo, fue SNT, con un promedio de 2.4×10^5 UFC/g de suelo, mientras que en SDI el promedio fue de 8.9×10^4 y para OCh, el promedio fue de 1.3×10^4 . Se encontraron los géneros: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Paecilomyces*, *Pythium* y *Trichoderma* en todos los sitios. Este estudio demuestra que las prácticas de manejo influyen directamente en la cantidad y composición de la comunidad fúngica del suelo.

PALABRAS CLAVE

Agroecología; Hongos microscópicos; Soberanía alimentaria.

INTRODUCCIÓN

Uno de los temas actuales en nuestro país es la búsqueda de la soberanía alimentaria. El maíz y el frijol son de los cultivos más importantes en México, y tienen un sistema particular de producción, que es la milpa, la cual es un agroecosistema característico porque combina varias especies vegetales, pero también es un reservorio de biodiversidad, además de tener una importancia biocultural alta, ya que conlleva tradiciones, y participación comunitaria diversa (Leyva-Trinidad et al., 2020).

La biodiversidad incluye la flora con cultivos principales como el maíz, el frijol u otra leguminosa y algunas cucurbitáceas como la calabaza, la fauna, generalmente aves y pequeños mamíferos y también la micobiota del suelo. Esta última, depende del manejo que se da a los cultivos, ya que es sensible al uso de fertilizantes y plaguicidas químicos, además, en algunos sitios se acostumbra la quema previa a la siembra (Collin Harguindeguy, 2021), lo que también tiene influencia sobre los microorganismos del suelo, los cuales son fundamentales para el ciclo de nutrientes, así como para la salud de los cultivos. Antes de poner este agroecosistema de temporal, se acostumbra también el volteo del suelo, lo que favorece la integración de la materia orgánica del ciclo agrícola previo al suelo. Dependiendo de las prácticas de manejo se favorecerá la presencia de microorganismos benéficos o bien patógenos. Entre los patógenos más importantes se encuentran los hongos microscópicos, los cuales pueden estar presentes en el suelo y ser favorecidos por las prácticas agronómicas (Itzá-Kantún et al., 2024), por lo que el objetivo de este estudio fue comparar la cantidad y frecuencia de aislamientos de microhongos cultivables con diferentes manejos de suelo para la milpa en tres sitios de la República Mexicana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron colectas en parcelas de Oaxaca, Chiapas y Ciudad de México, (Cuadro 1), cinco por cada sitio, en el momento de la siembra experimental de maíz, frijol, y se dejó el crecimiento de algunas otras plantas propias de la milpa, características de cada región. La toma de muestra fue de 0 a 40 cm de profundidad, ya que es donde se encuentra la mayor actividad de microorganismos, se colocaron en bolsas estériles y se transportaron como material biológico manteniéndolas en frío hasta su uso.

En laboratorio, los aislamientos se hicieron mediante placas de Warcup modificadas (Mier et al 2013), brevemente, se pesaron 25 g de suelo y se colocaron en 225 mL de Tween 80 al 0.5%, se homogeneizaron con un vórtex y se hicieron diluciones decimales para colocar 100 mL en el fondo de cajas de Petri con agar rosa Bengala adicionado con cloranfenicol. Se incubaron a 28°C durante 7 a 11 días. Posteriormente, se cuantificaron las colonias para calcular la cantidad de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) / g de suelo, y se registró la macro y micromorfología al hacer tinciones con azul de algodón para compararla con claves dicotómicas y hacer la identificación a nivel de género. Posteriormente, se calculó la frecuencia de aparición de acuerdo con la escala de Yadav y Madelin (Miranda-Calixto et al., 2020), que permite comparar entre sí los géneros aislados (Cuadro 2).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cuadro 1. Ubicación geográfica y características de los sitios de estudio.

Sitio	Ubicación	Características
Oaxaca: Municipio de Santo Domingo Ingenio (SDI)	16°29' - 16°40' de latitud norte y 94°37' - 94°49' de longitud oeste	Es un municipio que contaba con un ingenio azucarero, por lo que el principal cultivo era la caña, posterior a su cierre, se han sembrado granos como el sorgo, cacahuete y ajonjolí, el maíz es un cultivo de temporal. Los suelos predominantes son vertisoles. Es considerado como agrícola bajo la influencia de aerogeneradores, ya que están a la orilla de las parcelas. Se hace un volteo de estas antes de la siembra.
Chiapas: Municipio de Ocosingo (OCh)	A 16° 05' - 17°15' de latitud norte y 90° - 92°22' de longitud oeste	En este municipio se cultivan gramíneas, tiene una gran superficie de selva (69.55%) y el suelo agrícola es < 2%, en el caso del maíz es de temporal, y una práctica común es la quema previa a la siembra del cultivo. Considerado como suelo agrosilvícola.
Ciudad de México: Nicolás Tetelco, Alcaldía Tláhuac (SNT)	A 9°12'56.88" de latitud norte y 98°58'21" de longitud oeste	Es parte de una de las alcaldías consideradas como rurales de la CDMX. El suelo es de origen volcánico, con terrazas de reciente creación para cultivo de nopal, verdura, hortalizas y forrajes. Se hizo un barbecho, rastreo y surcado antes de la siembra.

Cuadro 2. Frecuencia de aparición de los géneros fúngicos

Escala	Porcentaje
Muy Común	100 a 80
Común	79 a 60
Frecuente	59 a 40
Ocasional	39 a 20
Raro	19 a 1
No encontrado	0

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se aislaron e identificaron un total de 1,457 UFC para los tres sitios, el lugar con una mayor cantidad de UFC/g de suelo, fue SNT, con un promedio de 2.4×10^5 UFC/g de suelo, mientras que en SDI el promedio fue de 8.9×10^4 y para OCh, el promedio fue de 1.3×10^4 . Esta diferencia en cantidades puede estar dada porque en SDI los aerogeneradores están muy cerca de las parcelas y podrían estar influyendo en la rizosfera ya que se encontraron hongos con micromorfologías alteradas, probablemente por el contacto con contaminantes, además se encontraron géneros

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

como *Mortiriella* que están asociados a contaminación por hidrocarburos (Galitskaya et al., 2021).

Se aisló un total de 46 géneros fúngicos (Cuadro 3), con diferentes frecuencias de aparición. Solamente seis géneros se presentaron en todos los sitios de estudio: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Paecilomyces*, *Pythium* y *Trichoderma*. Este último es considerado como un hongo benéfico ya que puede regular poblaciones de hongos parásitos en el suelo (Woo et al., 2023). El género más abundante fue *Aspergillus*, con 410 UFC en SNT, por lo que se tomó como el 100% de frecuencia de aparición y con base en este, se calculó la frecuencia de aparición para cada uno de los géneros en el sitio de estudio.

Cuadro 3. Frecuencia de aparición de microhongos cultivables.

Género	SDI		SNT		OCh		Género	SDI		SNT		OCh	
	UFC	%	UFC	%	UFC	%		UFC	%	UFC	%	UFC	%
<i>Absidia</i>		0		0	4	1	<i>Microsporium</i>	1	0.2		0		0
<i>Acremonium</i>	1	0.2		0	1	0.2	<i>Monascus</i>	1	0.2		0		0
<i>Alternaria</i>	1	0.2		0	2	0.5	<i>Moniliella</i>		0	8	1.95		0
<i>Ambylosporium</i>		0		0	4	1	<i>Mortiriella</i>	11	2.7		0		0
<i>Arthrinium</i>	5	1.2		0		0	<i>Mucor</i>	13	3.2	11	2.68		0
<i>Aspergillus</i>	215	52	118	28.8	30	7.3	<i>Oidiodendron</i>	1	0.2		0		0
<i>Aureobasidium</i>		0		0	13	3.2	<i>Paecilomyces</i>	15	3.7	2	0.49	5	1.2
<i>Balanium</i>	1	0.2		0		0	<i>Papulaspora</i>	9	2.2	4	0.98		0
<i>Basipetospora</i>	4	1		0		0	<i>Penicillium</i>	24	5.9	410	100	14	3.4
<i>Blastomyces</i>	1	0.2		0		0	<i>Periconia</i>		0		0	1	0.2
<i>Chaetomium</i>	3	0.7		0		0	<i>Phialophora</i>		0		0		0
<i>Cladosporium</i>	8	2		0		0	<i>Phyalomyces</i>	7	1.7		0		0
<i>Curvularia</i>		0		0	1	0.2	<i>Phytophthora</i>	3	0.7		0		0
<i>Fusarium</i>	13	3.2	11	2.68	91	22	<i>Pseudotorula</i>	5	1.2		0	3	0.7
<i>Geotrichum</i>		0		0	1	0.2	<i>Pythium</i>	6	1.5	7	1.71	10	2.4
<i>Gliocladium</i>	1	0.2		0	1	0.2	<i>Rhizoctonia</i>		0		0	2	0.5
<i>Gonatobotrys</i>	2	0.5		0		0	<i>Rhizopus</i>	15	3.7	38	9.27		0
<i>Gonytrichum</i>	26	6.3		0	2	0.5	<i>Scopulariopsis</i>		0	16	3.9		0
<i>Graphium</i>	1	0.2		0		0	<i>Syncephalastrum</i>	6	1.5		0		0
<i>Helicosporium</i>		0		0	6	1.5	<i>Torula</i>	1	0.2		0		0
<i>Histoplasma</i>	1	0.2		0		0	<i>Trichoderma</i>	5	1.2	22	5.37	16	3.9
<i>Humicola</i>	1	0.2		0		0	<i>Trichothecium</i>	3	0.7		0		0
<i>Isaria</i>		0	40	9.76		0	<i>Ulocladium</i>	1	0.2		0		0
<i>Lichtemia</i>	2	0.5		0		0	<i>Verticillium</i>	1	0.2		0		0

SDI: Santo Domingo Ingenio, Oaxaca; SNT: San Nicolás Tetelco, Ciudad de México; OCh: Ocosingo, Chiapas, el % se calculó con base en el índice de Yadav y Madelin (Miranda Calixto, 2020).

El sitio que tuvo la mayor cantidad de géneros fue SDI con 35 géneros, mientras que el que presentó una menor cantidad fue SNT con 10. En OCh se registraron 19 géneros, esto no es coincidente con la cantidad de UFC/g de suelo, ya que la mayor cantidad se registró en SNT, la mayoría de los géneros registrados en este sitio son estrategias de r, lo que señala que la comunidad de microhongos cultivables se perturba con las prácticas de laboreo agrícola. En el caso de OCh, donde se registró la menor cantidad de UFC/g de suelo, se atribuye a la quema controlada del suelo que realizan los productores, antes de barbechar de parcela, ya que, si bien la ceniza es benéfica para

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

la fertilidad del suelo, los resultados muestran que los microhongos se inhiben al elevar la temperatura del suelo. Se ha reportado que los suelos que se queman deben dejarse descansar después de dos o tres ciclos agrícolas, lo que mostraría que esa mejora es momentánea (Collin Harguindeguy, 2021).

En cuanto a los géneros, *Penicillium* fue el más abundante, y desempeña un papel importante en el ciclado de nutrimentos, se encontraron algunos hongos benéficos como *Isaria*, *Gliocladium* y *Trichoderma*, que están reportados como hongos para control de plagas agrícolas. Se encontraron también géneros reportados como patógenos, como *Fusarium*, varias especies están descritas como causantes de enfermedades en el maíz, sin embargo, al tener un manejo adecuado del suelo, se pueden potenciar algunos hongos de la rizosfera que están considerados como protectores contra este hongo, *Trichoderma* es un ejemplo de ello (Woo et al. 2023). Se debe considerar que los hongos son fundamentales para la fertilidad del suelo, y la composición de la comunidad de microhongos cultivables depende de las prácticas de manejo que se lleven a cabo.

CONCLUSIONES

En el caso de las parcelas estudiadas, en SDI los microhongos están influenciados por la presencia de aerogeneradores, ya que hay existen indicadores de contaminación por hidrocarburos como la presencia de géneros específicos como *Mortiriella* y la morfología alterada en otros hongos, principalmente *Aspergillus* y *Penicillium*. En SNT se observó que hay una gran cantidad de UFC/g de suelo, pero la diversidad es baja, sin embargo, está la presencia de hongos benéficos como *Trichoderma*. En OCh, la práctica de quemar los restos vegetales antes del barbecho tiene una influencia sobre la cantidad y la composición de hongos, por lo que las prácticas tradicionales pueden no ser las mas adecuadas para el mantenimiento del ciclado de nutrimentos y la salud del suelo.

AGRADECIMIENTOS

A los miembros de las comunidades de Santo Domingo Ingenio, San Nicolás Tetelco y Ocosingo que participaron en el estudio. Este trabajo fue financiado por Conahcyt-PRONACES No. de Proyecto: 317580. Convocatoria: FOP07-2021-03.

BIBLIOGRAFIA

- Collin Harguindeguy, L. (2021). La milpa como alternativa sustentable orientada al buen vivir. *Scripta Ethnologica*. XLIII: 9-36.
- Galitskaya P. Biktasheva L, Blagodatsky S & Selivanovskaya. (2021). Response of bacterial and fungal communities to high petroleum pollution in different soils. *Nature Scientific Reports* 11:164. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80631-4>
- Itzá-Kantún GM, Castillo-Caamal JB, Escalante-Euán JF, Santos-Flores JS. (2024). Efecto de microorganismos de monte y abonos en el suelo y el rendimiento de maíz en Yucatán. *Bioagrociencias*. 17(1): 119-128.
- Leyva-Trinidad DA, Pérez-Vázquez A., Bezerra da Costa I, & Formighieri Giordani RC. (2020). The role of the milpa in food and nutritional security in households of Ocotlán Texizapan, Veracruz, Mexico. *Polibotanica* 50: 279-299.

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Mier, T., Rivera-Becerril, F., Ayala-Zermeño, MA., Toriello, C., Aguilar-Ogarrio, S. & Ulloa, M. (2013). *Métodos experimentales para el estudio de hongos microscópicos*. Instituto de Biología de la Universidad Autónoma de México y Universidad Autónoma Metropolitana
- Miranda-Calixto A; Castellanos-Moguel J, & Díaz-Godoy RV.(2020), Propagulos fúngicos y partículas contaminantes presentes en fosas nasales de voluntarios en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 36(3): 645-656.
- Woo SL, Hermosa R, Lorito M & Monte E. (2023). *Trichoderma*: a multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. *Nature Reviews Microbiology*. 21: 312-326 DOI: <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00819-5>

División 4

El Papel de los Suelos en el Sostenimiento de la
Sociedad y el Medioambiente

RESPUESTA DE APLICACIÓN DE BIOREGULADORES EN NOGAL PECANERO VARIEDAD WICHITA EN RENDIMIENTO Y CONTENIDO MINERAL DE LA HOJA

Daniel Alan Román Terrazas¹; María Laura Díaz Baca²; Alejandro Palacio Márquez³; Damaris Leopoldina Ojeda Barrios⁴; Marisela Calderón Jurado⁵

^{1,2,3}Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad Autónoma de Chihuahua. Km 2.5 Carretera a Rosales, Poniente 33000 Delicias, México.

^{4,5}Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua. Av. Pascual Orozco s/n, Campus 1, Santo Niño, 31160 Chihuahua, México.

Autor de correspondencia: mlbaca@uach.mx

RESUMEN

Chihuahua es el mayor productor de nuez pecanera [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch.] en el país. Los cultivares de mayor interés regional son Western Schley, Pawnee y Wichita. Esta última es altamente sensible a las deficiencias nutricionales y su manejo se ha estudiado poco. Existe un fenómeno fisiológico llamado alternancia que altera la variación en la producción de frutales. Los cultivares sensibles responden a este fenómeno en los parámetros de calidad y rendimiento. Existen estudios de manejo agronómico de bioreguladores en frutales para incrementar la floración, así como incrementar el amarre y crecimiento del fruto. Es por ello que, el objetivo de este estudio fue evaluar tres bioreguladores (prohexadiona de calcio, thidiazurón y etileno) sobre el contenido mineral en la hoja, así como los parámetros de calidad. El estudio se realizó en Delicias, Chih. El objeto de estudio fueron 20 árboles Wichita de 9 años. Se realizaron cuatro aplicaciones foliares de tres bioreguladores y control durante la floración. Se realizó un análisis foliar para conocer el contenido de macro y micronutrientes en los folíolos. Los parámetros de porcentaje de almendra y rendimiento se evaluaron siguiendo las especificaciones establecidas en la NMX-FF-084-SCFI-2009. Se realizó análisis de varianza y prueba de Tukey con un valor de $P \geq 0.05\%$ utilizando el software estadístico R. Se observó diferencia estadística significativa entre tratamientos y control en el contenido mineral de la hoja y parámetros de rendimiento. La aplicación foliar de bioreguladores podría ser una estrategia de manejo agronómico para el nogal pecanero variedad Wichita.

PALABRAS CLAVE

Análisis foliar; Manejo agronómico; Almendra; Rendimiento; Hormonas vegetales.

INTRODUCCIÓN

El nogal pecanero es un árbol vigoroso y de larga vida que puede alcanzar alturas superiores a los 30 m. Este frutal tiene como fruto una nuez y lo hace comercialmente entre los 6 y los 10 años después de ser plantado, su productividad puede durar más de 50 años (Retes *et al.*, 2014). En México, este cultivo ha cobrado gran interés en los últimos años, posicionado el país como el segundo productor y primer exportador mundial (SIAP, 2022). El cultivar Wichita es muy popular y bien conocida en USA,

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

donde suele mezclarse con Western Schley. Es un árbol vigoroso, de rápida entrada en producción y con una muy buena producción de nueces de tamaño medio. Presenta una alta sensibilidad a daños por frío y alta susceptible a deficiencias de Zinc (Zn).

Su excelente calidad de la nuez, lo posiciona como uno de los cultivares con mayor superficie plantada en el mundo. No obstante, su vulnerabilidad a la deficiencia de nutrientes puede influir negativamente en la producción y en la calidad de nuez. Se conoce que la utilización de algunos bioreguladores o reguladores del crecimiento vegetal en árboles frutales permite alterar el desarrollo de las plantas, lo que facilita la inducción de floración, cuajado, maduración y el incremento en el tamaño de los frutos. De esta manera, si se aplican de manera adecuada, los bioreguladores pueden mejorar el rendimiento, la productividad, los aspectos de calidad y las etapas operativas del cultivo (Guzmán, 2013).

En un estudio realizado por Calderón-Jurado (2021) en arboles de esta clase se aplicaron de manera foliar los bioreguladores y encontró diferencia significativa en los nutrientes de la hoja, y en componentes del rendimiento, pero la información específica para la variedad de Wichita no se representó. Es por ello que, el objetivo de este estudio fue determinar el comportamiento de los bioreguladores cloroetilfosfonico (Ethrel), prohexadiona de calcio (PCa) y thidiazurón (TDZ) en la asimilación de nutrientes de nogal pecanero cultivar Wichita. Y como ende la hipótesis fue que las aplicaciones de estos intervienen en el contenido de nutrientes en tejido vegetativo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la región centro sur de Chihuahua, en coordenadas 28°24'59.9"N 105°37'11.6"O. El suelo de la huerta nogalera es arcillo-arenoso con un pH de 7.2 y una C.E de 1.0 dS/m y el riego por gravedad. Se realizó un diseño experimental completamente al azar con tres tratamientos de bioreguladores y control (agua). La población objeto estudio fueron 20 árboles de 9 años de edad de la variedad Wichita con un total de 40 árboles. Los bioreguladores utilizados fueron: ethrel con una dosificación de 100 mg L⁻¹, PCa 500 mg L⁻¹, y TDZ 100 mg L⁻¹. Los tratamientos se aplicaron de manera foliar una vez cada cuatro semanas a partir del mes de abril, mayo junio y julio del 2023, la toma de muestras fue el mismo año en agosto y diciembre.

Se realizó análisis químico para conocer el contenido de macro y micronutrientes. Los parámetros de peso y porcentaje de almendra de acuerdo con las especificaciones establecidas en la norma mexicana (NMX-FF-084-SCFI-2009). Los resultados fueron sometidos a una ANOVA y prueba de separación de medias de Tukey con un nivel de confianza de 95% mediante el software estadístico Rstudio versión 3.6.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se dividieron en tres cuadros para mejor interpretación. El cuadro 1 muestra el contenido nutricional de los macronutrientes de la hoja mientras que el cuadro 2 los micros y por último los parámetros de rendimiento.

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cuadro 1. Concentración nutrimental en foliolos de nogal pecanero variedad Wichita tras aplicación de bioreguladores.

T (mg L ⁻¹)	Macronutrientes (g kg ⁻¹ p. s)				
	N-total	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ⁺
Ethrel (100)	28.77 ± 0.906 b	2.465 ± 0.088 ab	21.94 ± 0.454 b	31.17 ± 1.252 ab	4.067 ± 0.680 a
PCa (500)	27.52 ± 1.717 b	2.505 ± 0.098 b	20.43 ± 0.767 a	31.65 ± 1.580 b	4.042 ± 0.544 a
TDZ (100)	26.825 ± 1.260 b	2.312 ± 0.098 a	23.12 ± 0.997 b	31.95 ± 1.634 b	4.152 ± 0.746 a
Control	23.65 ± 1.024 a	2.375 ± 0.078 ab	18.96 ± 0.481 a	28.28 ± 1.323 a	3.612 ± 0.499 a

T: Tratamiento, Etherel: Cloroetilfosfonico, PCa: Prohexadiona de calcio, TDZ: Thidiazuron. N-total: Nitrógeno total, P: Fósforo, K: Potasio, Ca: Calcio, Mg: Magnesio. Letras diferentes dentro del cuadro representan diferencias significativas.

La aplicación de bioreguladores tiene efecto en la concentración del contenido mineral en algunos elementos, en el cuadro 1 se muestra que el menor contenido de nitrógeno corresponde al control. Existe diferencia significativa de los tratamientos con respecto al testigo. Situación diferente en fósforo, donde se muestra que la menor concentración corresponde a TDZ y solo este y PCa son estadísticamente diferentes. Por otro lado, se observa que en potasio existen dos grupos diferentes, TDZ y Ethrel versus control y PCa. Calcio en cambio, se observa una menor concentración con el grupo control y este no tiene diferencia con Ethrel, pero sí con PCa y TDZ, mostrándose estos dos últimos sin diferencia entre ellos y con mayor concentración que el resto a pesar de no ser significativo con Ethrel. En cuanto a magnesio, no se encuentra diferencia estadística significativa entre tratamientos y control.

Cuadro 2. Concentración nutrimental de micronutrientes en foliolos de nogal pecanero variedad Wichita con aplicación de bioreguladores.

T (mg L ⁻¹)	Micronutrientes (mg kg ⁻¹)				
	Na	Fe ²⁺	Cu ²⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺
Ethrel (100)	0.265 ± 0.012 ab	176.5 ± 6.027 a	6.351 ± 0.387 ab	237.2 ± 8.057 b	43.81 ± 2.706 a
PCa (500)	0.277 ± 0.012 b	175.2 ± 5.560 a	6.312 ± 0.365 ab	235.1 ± 5.773 b	42.31 ± 3.210 a
TDZ (100)	0.265 ± 0.012 ab	190.5 ± 7.593 b	6.751 ± 0.288 b	240.7 ± 8.539 b	40.95 ± 2.767 a
Control	0.245 ± 0.012 a	172.2 ± 4.425 a	5.851 ± 0.208 a	219.2 ± 5.737 a	40.08 ± 1.892 a

T: Tratamiento, Etherel: Cloroetilfosfonico, PCa: Prohexadiona de calcio, TDZ: Thidiazuron. Na: Sodio, Fe: Hierro, Cu: Cobre, Mn: Manganeso, Zn: Zinc. Letras diferentes dentro del cuadro representan diferencias significativas.

La concentración de micronutrientes en foliolos de la hoja de nogal pecanero variedad Wichita muestra diferencia significativa en sodio con la aplicación de PCa versus el control, pero Ethrel y TDZ se muestran similares entre ellos. En cuanto a hierro, se muestra que TDZ tiene la mayor concentración de este elemento con respecto a los demás haciéndolo diferente significativamente. Por otra parte, cobre que solamente muestra diferencia entre TDZ con respecto al testigo, a pesar de que las concentraciones de los otros dos bioreguladores son similares a la del tratamiento TDZ. La aplicación de cualquier bioregulador es estadísticamente diferente en la

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

concentración de manganeso con respecto al testigo, muestras que en la concentración de Zinc no se encuentra ninguna diferencia entre tratamientos.

Cuadro 3. Peso de la nuez, porcentaje de almendra y rendimiento en variedad Wichita en respuesta a la aplicación de bioreguladores

T (mg L ⁻¹)	Peso de la nuez (g)	Porcentaje de almendra (%)	Rendimiento (kg árbol ⁻¹)
Ethrel (100)	7.22 ± 0.47 b	59.13 ± 1.15 ab	11.12 ± 3.19 b
PCa (500)	7.46 ± 0.49 b	59.46 ± 1.27 b	10.87 ± 3.24 ab
TDZ (100)	7.25 ± 0.44 b	59.82 ± 1.19 b	11.23 ± 3.12 b
Control	7.04 ± 0.39 a	59.03 ± 1.18 a	10.12 ± 2.55 a

T: Tratamiento, Etherel: Cloroetilfosfonico, Pca: Prohexadiona de calcio, TDZ: Thidiazuron. Letras diferentes en el cuadro representan diferencias significativas

Dentro de los parámetros de calidad de la nuez, se muestra una diferencia estadística significativa para el peso de la nuez con la aplicación de cualquier tratamiento de bioreguladores a diferencia del testigo que muestra un peso ligeramente menor. Sin embargo, la aplicación de PCa y TDZ muestra un aumento en el porcentaje de la almendra. En los parámetros de rendimiento, el tratamiento con Ethrel y TDZ muestra una diferencia estadística significativa con respecto al control.

Estos datos tienen similitudes con otros trabajos, en donde se aplicó PCa en cultivo de pera (*Pyrus communis*) bajo concentraciones de 100, 200 y 300 ppm. El tratamiento de 200 ppm mostro un aumento en el rendimiento de la fruta, así como un aumento significativo en potasio de las hojas (Lal *et al.* 2020). Por otra parte, Ozbay y Ergun (2015) realizaron un estudio donde tuvo como objetivo evaluar los efectos de las concentraciones de calcio de PCa y la calidad de la plántula de berenjena (*Suelanum melongena*) con una dosificación de 0, 50, 100 y 150 mg L⁻¹ obteniendo como resultado que en las aplicaciones de 100 y 150 mg L⁻¹ redujeron significativamente el rendimiento por planta y el rendimiento total de la fruta. Otros datos por los autores Ban *et al.* (2007), en donde realizaron una investigación sobre el efecto por aplicación de Ethrel sobre la calidad de los frutos de arándano (*Vaccinium corymbosum*) durante el periodo de crecimiento, obtuvieron como resultado el ablandamiento de la fruta a los 4 días de aplicación, así como el contenido total de solidos solubles se observaron solo 8 días después del tratamiento, pero sin modificar el contenido mineral de la hoja. Por otra parte, en otro estudio realizado por Amarante *et al.* (2002) se aplicó TDZ en arboles de manzana (*Malus domestica*) variedad Gala y Fuji en una dosificación de 0, 5, 10 y 20 g/ha para evaluar su impacto en el crecimiento, desarrollo, floración, cuajado, nutrición y rendimiento de las frutas. Los resultados fueron que, el número de frutas aumento con la aplicación de TDZ para la manzana Gala, mientras que en las Fuji no hubo cambios significativos por lo que se concluyó que el TDZ influye diferente en cada variedad. Por otra parte, en una investigación realizada por Pasa (2017) en donde se aplicó en peras Hosui y Packham's Triumph diferentes concentraciones de TDZ (0, 20, 40 y 60 mg/L) durante la floración, los resultados mostraron que en TDZ aumento tanto el número de frutas como el rendimiento en ambos cultivares cuando se usó la dosis de 20 a 60 mg/L. Además, mejoro el tamaño de las futas de Hosui sin afectar negativamente la calidad de las futas en ninguno de los cultivares.

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

CONCLUSIONES

La aplicación foliar de bioreguladores tales como ..., tuvieron una respuesta positiva en nogal pecanero respecto al contenido mineral en la hoja, rendimiento y calidad de la nuez, por lo que podría ser una estrategia de manejo agronómico para la nutrición de este frutal caducifolio específicamente del cultivar Wichita.

BIBLIOGRAFÍA

- Amarante, C., Ernani, P., Blum, L., & Megguer, C. (2002). Thidiazuron afecta al crecimiento de los brotes, floración de retorno y nutrición en manzanas. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 37, 1365-1372.
- Ban, T., Kugishima, M., Ogata, T., Shiozaki, S., Horiuchi, S., & Ueda, H. (2007). Efecto del etefón en las características de maduración del fruto de blueberry rabbiteye. *Scientia Horticulturae*, 112, 278-281.
- Calderón-Jurado, M. (2021). Aplicación de bioreguladores y su influencia en la fisiología del nogal pecanero para mitigar alternancia (Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Chihuahua).
- Guzmán (2013). Reguladores de crecimiento en la mejora de frutales. INTAGRI S.C.
- Lal, M., Mir, M., Iqbal, U., & Kumar, A. (2020). Influencia de prohexadione-calcio y paclobutrazol en el crecimiento, rendimiento y contenido mineral de peras cv. Clapp's favourite. *International Journal of Chemical Studies*.
- Ozbay y Ergun (2015). Prohexadione calcio en el crecimiento y calidad de plántulas de berenjena. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 50, 932-938.
- Pasa, M., Silva, C., Carr, B., Brighenti, A., Souza, A., & Petri, J. (2017). Thidiazuron (TDZ) aumenta el juego de frutas y el rendimiento de los perales 'Hosui' y 'Packham's Triumph'. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 89(4), 3103-3110.
- Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP) (2024). *Atlas Agroalimentario del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. México, DF.
- Retes-López, R., Nasaimea-Palafox, A. R., Moreno-Medina, S., Denogean-Ballesteros, F. G., & Martín-Rivera, M. H. (2014). *Análisis de rentabilidad del cultivo de nogal pecanero en la costa de Hermosillo*. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 34.

RESPUESTA METABÓLICA CAUSADA POR ESTRÉS ABIÓTICO DEL OCOTILLO; SITUADO EN EL FRESNO, CHIH., REGIÓN DE SEQUÍA EXCEPCIONAL

Miriam Elizabeth Martínez -Pérez¹; Gustavo Rogelio López-Ochoa¹; Juan Luis Jacobo-Cuéllar¹; Rafael Ángel Parra-Quezada¹; Miguel Ángel Piñón-Miramontes¹; Teresita de Jesús Ruíz-Anchondo¹

¹Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Ciudad Universitaria, campus 1 s/n. C.P. 31310. Chihuahua, Chih., México. truíz@uach.mx

RESUMEN

El ocotillo (*Fouquieria splendens*) es endémico de las zonas áridas del estado de Chihuahua, las cuales presentan precipitaciones de 259 mm anuales o menores, climas extremos y suelos generalmente arenosos. Entre los beneficios de esta planta destacan el proporcionar alimento a la abeja y al venado en temporada de sequía, albergar a diversa fauna, conservar el suelo, brindar material vegetal para su uso medicinal y construcción de techos y cercos. Sin embargo, los reportes que permitan conocer la variación de su composición bioquímica en respuesta a factores de estrés abiótico y su influencia en el desarrollo vegetativo en el estado es aún escaso. Por lo cual, el objetivo del presente trabajo fue evaluar los efectos metabólicos de las plantas por su composición y su expresión en la caracterización vegetativa, en relación con el suelo y clima y documentar la utilidad del ocotillo en la comunidad del Fresno, Chihuahua.

PALABRAS CLAVE

Fouquieria splendens; Fenotipo; Metabolismo secundario; Fenoles; Recursos ecosistémicos; Usos medicinales.

INTRODUCCIÓN

El ocotillo (*Fouquieria splendens*) es una planta endémica de México (López-Romero *et al.*, 2022), nativa del estado de Chihuahua (Dávila-Rangel *et al.*, 2024; Scott, 2021). Esta especie constituye una pieza fundamental en los servicios ecosistémicos debido a que sus flores alimentan a las abejas y al colibrí (Scott *et al.*, 1993) en tiempo de sequía, y por su alto valor proteico permiten nutrir al venado cola blanca (Gallina *et al.*, 2017), y sus semillas a la rata nopalera (Gutiérrez y Gutiérrez, 2004). Su porte vegetativo sirve de refugio para roedores (Cervantes y Ballesteros, 2012; Hortelano-Moncada *et al.*, 2013). Sus tallos constituyen materia prima en la elaboración de techos y cercos (Lara-Reimers *et al.*, 2021); por otro lado, es un recurso natural para enfermedades respiratorias (Dávila-Rangel *et al.*, 2024; Vega *et al.*, 2013), renales (Vega *et al.*, 2013), circulatorias y síntomas como la inflamación (Romm *et al.*, 2010).

Las plantas de ocotillo son representativas del desierto chihuahuense (Dávila-Rangel *et al.*, 2024; De-Nova *et al.*, 2020). Sin embargo, se carece de información sobre el suelo y el clima presente en sus hábitats y su influencia en su desarrollo vegetativo y la actividad fotosintética, las plantas que lo acompañan y el conocimiento que tienen

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

sobre él las personas oriundas de las áreas geográficas cercanas a las poblaciones de estas plantas. Se encuentra catalogado como especie en riesgo por la NOM 059-SEMARNAT,2010.

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar las respuestas metabólicas del ocotillo por su composición bioquímica fotosintética y desarrollo vegetativo, en relación con el suelo y clima de la localidad de Chuvisquilla, ejido El Fresno, Chihuahua, y documentar la aportación de recursos vegetativo del ocotillo en esta comunidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en Chuvisquilla, caracterizado por un clima muy árido cuya temperatura máxima promedio anual es de 28° C y mínima de 12.5° C. El mes más cálido en esta región es junio con un promedio de 28° C y el más frío es enero con 11° C, abril es el mes más ventoso con 19 Km/h y una precipitación anual de 278.3 mm (Noruega databases, 2024). Durante el mes de mayo de 2024, se buscaron poblaciones de ocotillo y se documentaron las especies de otras plantas que acompañan al ocotillo en el hábitat estudiado. Se tomó una muestra de suelo en el área estudiada y se llevó al laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua para determinar los estudios físicos, básico, de fertilidad y de saturación de cationes intercambiables. Los resultados se presentan en el Cuadro 1. Para estos estudios, se siguió la metodología de Lachica *et al.* (1973) en la estación experimental Zaidin del Consejo Superior de Investigación Científica de Granada, España.

Cuadro 1. Análisis de suelos del Fresno, Chih., tomado de zona riparia del Río Chuvíscar, en peñas rocosas.

Análisis físico y básico		Fertilidad	
Arena	57.97 %	Nitrógeno (NO ₃)	116.25 kg/ha
Materia orgánica	0.57 %	Fósforo (P)	21.03 kg/ha
pH	6.58	Potasio	312.50 mg/kg
Textura	Arena lig/migajosa	Calcio	1787.50 mg/kg
CaCO ₃	0.00 %	Magnesio (Mg)	487.50 mg/kg
CIC	14.55 cmol/kg	Sodio (Na)	187.50 mg/kg

pH= Potencial de hidrógeno; CIC= Capacidad de Intercambio Catiónico.

También se realizaron cuestionarios para aplicarlos a 30 personas adultas, de edades entre 18 y 70 años, 70% de sexo masculino y 30% femenino, oriundas de la comunidad para obtener información sobre los usos culturales del ocotillo como recurso natural, la diversidad biológica de fauna que sustenta el ocotillo en su comunidad y así conocer su utilidad y reconocer su importancia en el medio ambiente en este ecosistema.

Datos anatómicos registrados: Durante el mes de junio del 2024, en temporada de lluvia, los ocotillos brotaron y, posteriormente, en julio 22 se midieron los parámetros vegetativos de las plantas de ocotillo, con un vernier Caliper 5", Aneng, hecho en China, el diámetro basal de las plantas de ocotillo, el diámetro del tallo medio, la longitud de la espina, el largo y el ancho de hojas y de foliolos. También, con una cinta de medir Stanley FatMAX clásica hecha en China, se midió la longitud del tallo medio

División 4

y el diámetro de la planta. Además, se cuantificó en unidades el número de hojas y el número de foliolos. Como el estudio se realizó en época de lluvias, el número de inflorescencias y frutos encontrados fue mínimo por lo que se descartó.

Se realizó la extracción y determinación de pigmentos fotosintéticos y carotenoides de 4 plantas por el método de la acetona al 80% (Lichtenthaler, 1987). En el cuál, La absorbancia se midió con lecturas de 663 y 646 nm para clorofila a y b y 470 nm para carotenoides en el espectrofotómetro Genesis 10s V/Vis, Thermo Scientific, Waltham, MA, USA. Para la extracción de fenoles de las mismas plantas se empleó el método de Folin Ciocalteau (Singleton and Rossi, 1965). Se empleó el ácido gálico de Sigma-Aldrich, CAS number: 149-91-7 como estándar. Los resultados se expresaron como mg de ácido gálico, 100 g de peso fresco. Se realizó una curva de calibración, utilizando ácido gálico de grado reactivo con $y = 1.1698x - 0.0257$ y $R^2 = 0.9919$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontró en el sitio una población con aproximadamente 500 plantas de ocotillo, *F. splendens*, spp *splendens* distinguida por su flor de color naranja rojizo (Monreal-García *et al.*, 2019), sin hojas, mostrando los tallos defoliados. El ocotillo cohabita con otras especies, entre ellas, se encontraron poblaciones de gatuño (*Mimosa biuncifera*), y huizache (*Acacia farnesiana* cactáceas como *Echinocereus coccineus*, nopal de Chihuahua (*Opuntia phaeacantha*) y mezquite (*Prosopis glandulosa*) a una latitud de 28.543938 y una longitud de -106.189452, a una altitud de 1552 m.s.n.m. Los resultados promedio del desarrollo del recurso vegetativo, ocotillo, se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Resultados de la caracterización vegetativa de las plantas de ocotillo.

Coord. geográficas	L tallo medio (m)	θ planta (m)	θ basal (cm)	θ tallo medio (cm)	L. espina (cm)	Hojas* (unidad)	Índice de Área foliar (cm ²)	Foliolos por hoja (unidad)
28.543938 -106.18945	3.45	1.14	17.9	2.09	2.03	16.16	1.07	3-6

Loc.= Localidad L.= Longitud θ = Diámetro; Núm.= Número; A.= Ancho *En 10 cm de tallo

En la Figura 1 se presentan las fotografías de las partes vegetativas, individuos y población de ocotillo en Chavisquilla.



Figura 1. A. Población de ocotillos, B. Tallo con espinas y hojas, C. Frutos en cápsula, D. Meristemo apical con yemas, E: Ocotillo individual, Fuente: Fotografías tomadas por los autores

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Los resultados de los cuestionarios aplicados a pobladores del Fresno reflejan que valoran la vida del ocotillo en los ecosistemas al ser fuente alimenticia para la abeja, el venado, colibrí, y mariposas y servir como refugio a serpientes, liebres, conejos, arañas y aves. Ellos emplean el ocotillo para alimentarse de la flor y elaborar cercos. Respecto a su uso en la medicina tradicional lo emplean para aliviar asma, tos, cólicos, fiebre, inflamación, dolor de estómago y de cabeza, y también para enfermedades renales, tratamientos capilares, cáncer y enfermedades circulatorias. Respecto a los resultados de los análisis fotosintéticos y de fenoles totales se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Indicadores bioquímicos, Clorofila, Carotenoides y fenoles totales de Ocotillo de El Fresno, Chihuahua.

ID Muestra	Chl <i>a</i> [mg/g]	Chl <i>b</i> [mg/g]	Total Chl [mg/g]	Ratio Chl _a /Chl _b	Carotenoids [mg /g]	Ratio TChl/Car	TPh Total Phenols [mg/100 g fw]
F1M1	0.63	0.29	0.92	2.14	0.11	7.82	0.23
F1M2	0.57	0.27	0.84	2.10	0.11	7.27	0.19
F1M3	0.65	0.31	0.97	2.10	0.10	9.11	0.23
F1M4	0.62	0.30	0.92	2.08	0.12	7.45	0.22
F2M1	0.83	0.39	1.23	2.10	0.11	10.64	0.25
F2M2	0.88	0.42	1.31	2.11	0.11	11.23	0.35
F2M3	0.80	0.37	1.17	2.10	0.11	9.85	0.29
F2M4	0.84	0.40	1.24	2.11	0.11	10.63	0.17
F3M1	1.45	0.68	2.13	2.11	0.03	57.18	0.17
F3M2	1.50	0.71	2.22	2.11	0.03	69.49	0.28
F3M3	1.28	0.60	1.89	2.11	0.03	58.38	0.19
F3M4	1.28	0.61	1.89	2.10	0.02	73.84	0.19
F4M1	0.43	0.20	0.64	2.10	0.02	32.40	0.21
F4M2	0.57	0.27	0.84	2.10	0.01	47.95	0.18
F4M3	0.68	0.32	1.01	2.10	0.02	44.20	0.15
F4M4	0.56	0.44	1.00	2.10	0.02	49.34	0.13
Desv std	0.330	0.152	0.478	0.011	0.044	24.168	0.054

Los resultados concuerdan con los reportados por López-Romero *et al.* (2022), quienes comunicaron una cantidad superior de fenoles (479.9 mg GAE/g) en ocotillo recolectado en Pitiquito, Sonora debido a que la precipitación es aún menor, 47.2 mm anuales, y la temperatura anual más alta 30.62°C. En el presente trabajo, las respuestas de fitoquímicos y desarrollo vegetativo de ocotillo al estrés abiótico también coinciden con diferentes autores: Liu *et al.* (2016) reportó que la temperatura regula la biosíntesis de los compuestos fenólicos; Monreal García *et al.*, (2019) también concluyó que existen variaciones en la cantidad de fenoles y la expresión fenotípica debido a variables del suelo como textura, conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono orgánico y contenidos de K, Ca y Na.

CONCLUSIONES

El ocotillo refleja su habilidad adaptativa a climas extremadamente secos, con suelos muy pobres en carga orgánica, y con altas temperaturas. Se encontró que las plantas están perfectamente adaptadas al ambiente, ya que la actividad fotosintética se encuentra regular, con una relación dos veces la cantidad de clorofila a sobre la b; mientras que el contenido de carotenoides, cuyo propósito es evitar la oxidación de la

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

clorofila b, se encontraron bajos. Más aún, el perfil de polifenoles totales, mostró bajo contenido, lo que representa su expresión, pero no para considerar su metabolismo comprometido. Por último, el desarrollo vegetativo escaso, se justifica por la falta de nutrientes en suelo, y carencia de agua. Una especie adaptada a clima extremo, cohabitando con amplios recursos eco sistémicos y con un uso tradicional entre los pobladores del desierto.

REFERENCIAS

- Cervantes, F. A., & Ballesteros-Barrera, C. (2012). *Estudios sobre la Biología de Roedores Silvestres Mexicanos*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). http://www.mastozoologiamexicana.com/books/Estudio_sobre_biologia_roedores_mexicanos.pdf
- Noruega databases, Time and date (2024). Climate and weather averages in El Fresno, Chihuahua, México (2012-2021). Disponible en: <https://www.timeanddate.com/weather/@8769761/climate>
- Dávila-Rangel, I. E., Charles-Rodríguez, A. V., López-Romero, J. C., & Flores-López, M. L. (2024). Plants from Arid and Semi-Arid Zones of Mexico Used to Treat Respiratory Diseases: A Review. *Plants*, 13(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/plants13060792>
- De-Nova, J. A., Aguirre-Liguori, J. A., & Eguiarte, L. E. (2020). How Did Fouquieria Come to the Chihuahuan Desert? Phylogenetic and Phylogeographic Studies of Fouquieria shrevei and F. splendens and the Role of Vicariance, Selection, and Genetic Drift. En M. C. Mandujano, I. Pisanty, & L. E. Eguiarte (Eds.), *Plant Diversity and Ecology in the Chihuahuan Desert: Emphasis on the Cuatro Ciénegas Basin* (pp. 95–107). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44963-6_6
- Gallina, S., Feria, L. G., & González-Trápaga, R. (2017). Ocotillo flowers as food resource for the mule deer during the dry season. *THERYA*, 8(2), Article 2.
- Gutierrez, M., & Gutierrez, E. (2004). *Animales extraordinarios del desierto de Chihuahua*. https://www.researchgate.net/publication/294090463_animales_extraordinarios
- Hortelano-Moncada, Y., Cervantes, F. A., & Luna, X. I. (2013). Mamíferos Silvestres de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria, UNAM. Instituto de Biología de la UNAM.
- Lachica, M., Aguilar, A., & Yanez, J. (1973). Análisis foliar, 2: Métodos utilizados en la Estación Experimental del Zaidin. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 32, v.1033-1047(11-12).
- Lara-Reimers, E. A., Nieves-Prado, C. D., Santiago-Hernández, K., & Uresti-Durán, D. (2021). Análisis etnobotánico de plantas medicinales en el sur de Coahuila, México. *Revista Agraria*, 18(3), Article 3. <https://doi.org/10.59741/agraria.v18i3.535>
- Lichtenthaler, H. K. B. T.-M. in E. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. In *Plant Cell Membranes* 148, 350–382). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Liu, C., Hu, J., Zhang, H., & Xiao, R. (2016). Thermal conversion of lignin to phenols: Relevance between chemical structure and pyrolysis behaviors. *Fuel*, 182, 864-870.
- López-Romero, J. C., Torres-Moreno, H., Rodríguez-Martínez, K. L., Ramírez-Audelo, V., Vidal-Gutiérrez, M., Hernández, J., Robles-Zepeda, R. E., Ayala-Zavala, J. F., González-Ríos, H., Valenzuela-Melendres, M., Villegas-Ochoa, M. A., Salazar-López, N. J., & González-Aguilar, G. A. (2022). *Fouquieria splendens*: A source of phenolic compounds with antioxidant and antiproliferative potential. *European Journal of Integrative Medicine*, 49, 102084. <https://doi.org/10.1016/j.eujim.2021.102084>
- Monreal-García, H. M., Almaraz-Abarca, N., Ávila-Reyes, J. A., Torres-Ricario, R., González-Elizondo, M. S., Herrera-Arrieta, Y., & Gutiérrez-Velázquez, M. V. (2019). Phytochemical variation among populations of *Fouquieria splendens* (Fouquieriaceae). *Botanical Sciences*, 97(3), 398-412. <https://doi.org/10.17129/botsci.2191>
- Romm, A., Yarnell, E. L., & Winston, D. (2010). CHAPTER 9 – Urinary Complaints. En A. Romm, M. L. Hardy, & S. Mills (Eds.), *Botanical Medicine for Women's Health*, 290-305. Churchill Livingstone. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-07277-2.00011-8>
- Scott, P. E. (2021). Long-term survival and flowering of ocotillo (*Fouquieria splendens*) in Texas: A 33-year perspective. *Journal of Arid Environments*, 193, 104552.
- Scott, P. E., Buchmann, S. L., & O'rourke, M. K. (1993). Evidence for mutualism between a flower-piercing carpenter bee and ocotillo: Use of pollen and nectar by nesting bees. *Ecological Entomology*, 18(3), 234-240.
- Singleton, V.L.; Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdicphosphotungsticacid reagents. *AJEV* 16, 144-158.
- Vega Menchaca, M. del C., Rivas Morales, C., Verde Starl, J., Oranday Cárdenas, A., Rubio Morales, M. E., Núñez González, M. A., & Serrano Gallardo, L. B. (2013). Antimicrobial activity of five plants from Northern Mexico on medically important bacteria. *African Journal of Microbiology Research*, 7(43), 5011-5017.

División 4

RESPUESTA MORFOLÓGICA DEL CULTIVO DE GIRASOL CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE EDTA CON POTENCIAL PARA FITO-EXTRACCIÓN

Luis Fernando Montiel Silva¹; Karla Janeth Martínez Macías^{1*}; Selenne Yuridia Márquez Guerrero¹; Vicente de Paul Álvarez Reyna²; Cristo Omar Puente Valenzuela³; José Antonio Cueto Wong⁴

¹Instituto Tecnológico de Torreón, Torreón Coahuila, México; ²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón Coahuila, México; ³INIFAP CENID RASPA, Gómez Palacio, Durango, México; ⁴INIFAP CIR, Matamoros, Coahuila, México.

* Autor para correspondencia: kjmm_93@hotmail.com

RESUMEN

La fitorremediación implica ciertas limitantes, entre ellas se encuentra la lenta absorción de contaminantes, incluyendo el arsénico. El objetivo del estudio fue evaluar las características morfológicas del girasol, con diferentes dosis de ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), para corroborar que su uso, no afecta el crecimiento del cultivo, mientras que, en etapas posteriores, favorecerá la fito-extracción del arsénico, en una matriz de sustrato contaminado con dicho metaloide; en ese sentido la hipótesis es que la adición de 800 mg L⁻¹ EDTA, no afecta el crecimiento del cultivo, en una matriz de sustrato contaminado con arsénico. Cada unidad experimental se sometió a contaminación de arsénico con una dosis de 25 mg L⁻¹ a los 56 días después de siembra, cuando el girasol inicia en su punto máximo en la curva de absorción de nutrientes. El experimento se condujo como un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos y nueve repeticiones, los cuales son: T1 0 EDTA, T2 400 mg L⁻¹ de EDTA, T3 con 800 mg L⁻¹, y T4 1200 mg L⁻¹ de EDTA. Los resultados del análisis de varianza ($p > 0.05$) no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos de EDTA para las variables morfológicas al final del ciclo del girasol. Esto indica que la aplicación de 800 mg. L⁻¹, no afecta el desarrollo de las plantas. Por tanto, estos resultados sugieren que el uso de EDTA en las dosis evaluadas, puede ser agente promotor de fito-extracción de arsénico en suelos contaminados, sin afectar negativamente la fenología del girasol.

PALABRAS CLAVE

Agente quelante; Desarrollo vegetal; Fitorremediación; *Helianthus annuus*; Metales pesados.

INTRODUCCIÓN

En la agricultura el uso de agroquímicos es común; la práctica constante de estos insumos promueve la contaminación del suelo con metales pesados causando efectos negativos en humanos y animales (Pérez López *et al.*, 2017). El arsénico es un elemento metaloide que se origina por procesos geológicos y emisiones volcánicas, su

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

concentración puede aumentar por actividades antropogénicas como la minería, la fundición de metales y el abuso de pesticidas y herbicidas en la agricultura (Bundschuh *et al.*, 2008). Se ha demostrado que el arsénico está relacionado con enfermedades crónicas en humanos como el cáncer de pulmón, piel hígado, vejiga y riñón (Medina-Pizzali *et al.*, 2018). En la Comarca Lagunera, las concentraciones totales de arsénico en el suelo no superan el límite máximo permisible para suelos agrícolas establecido por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Sin embargo, el uso indiscriminado de fertilizantes fosfatados, que a menudo contienen arsénico debido a la composición de la roca fosfórica, puede incrementar la concentración de este elemento en el sistema productivo en más de un 600 % (Hernández-Ordáz *et al.*, 2013), esto debido a que, los iones fosfato desplazan a los iones arseniatos de los sitios de intercambio, haciendo disponible a este metaloide en presencia de agua en los poros del suelo (Martínez-Macias *et al.*, 2020).

El girasol es una planta con el potencial de poder absorber metales pesados del suelo en cada uno de sus órganos (Anastopoulos *et al.*, 2021). A pesar de ello, la fitorremediación implica ciertas limitantes, entre ellas se encuentra la lenta absorción de contaminantes, incluyendo el arsénico. La adición de agentes quelantes promueve la absorción de estos metales por las plantas gracias a que esto afecta su solubilización mejorando la capacidad de acumulación y mejorando la eficiencia de esta técnica (López, 2004). Por lo que, el objetivo de este estudio es evaluar las características morfológicas del girasol, con diferentes dosis de EDTA, para corroborar que su uso, no afecta el crecimiento del cultivo, mientras que en etapas posteriores, favorecerá la absorción y fito-extracción del arsénico, en una matriz de sustrato contaminado con metaloide; en ese sentido se estableció la hipótesis de que la adición de 800 mg.L⁻¹ EDTA, no afecta el crecimiento del cultivo de girasol, en una matriz de sustrato contaminado con arsénico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó durante, los meses de octubre del (2023) a marzo del año (2024) en condiciones de agricultura protegida en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, ubicada en Torreón, Coahuila, México.

Se prepararon 36 macetas, cada una con 10 kg de sustrato inerte homogenizado, en proporción de 50 % peat moss y 50 % arena (desinfectada con hipoclorito de sodio al 2 %). La nutrición del cultivo se llevó a cabo con solución Steiner a partir de la etapa de crecimiento vegetativo (56 días). Como método de control de plagas y patógenos se utilizó jabón potásico (5 ml en 1 L de agua).

Cada unidad experimental se sometió a contaminación de arsénico con una dosis de 25 mg L⁻¹ (basándose en la NOM 147 donde establece los límites máximos permisibles de arsénico en suelos agrícolas) a cada unidad experimental a los 56 días después de siembra (DDS), cuando el girasol inicia en su punto máximo en la curva de absorción de nutrientes.

El experimento se condujo como un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos y nueve repeticiones, los cuales son: T1 0 EDTA, T2 400 mg L⁻¹ de EDTA, T3 con 800 mg L⁻¹, y T4 1200 mg L⁻¹ de EDTA.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Las unidades experimentales fueron aleatorizadas como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Esquema del experimento.

T ₁ R ₉	T ₄ R ₉	T ₂ R ₄	T ₁ R ₄
T ₂ R ₁	T ₁ R ₃	T ₃ R ₁	T ₃ R ₇
T ₂ R ₉	T ₄ R ₆	T ₂ R ₃	T ₄ R ₃
T ₄ R ₇	T ₄ R ₄	T ₃ R ₃	T ₁ R ₂
T ₄ R ₅	T ₁ R ₅	T ₃ R ₂	T ₂ R ₅
T ₁ R ₇	T ₃ R ₄	T ₁ R ₈	T ₃ R ₈
T ₃ R ₉	T ₄ R ₂	T ₄ R ₈	T ₂ R ₇
T ₂ R ₈	T ₂ R ₂	T ₁ R ₁	T ₄ R ₁
T ₃ R ₅	T ₃ R ₆	T ₁ R ₆	T ₂ R ₆

Al final del ciclo de crecimiento, se llevó a cabo la evaluación morfológica considerando las variables: altura de la planta en centímetros, diámetro del tallo en centímetros y área foliar en centímetros cuadrados. Las mediciones del área foliar se realizaron utilizando el software ImageJ, un procesador digital de imágenes de dominio público desarrollado en Java. Para el procesamiento de las imágenes, se convirtieron los píxeles a centímetros, lo que permitió obtener mediciones más precisas y detalladas. La altura de la planta se midió con un flexómetro de tres metros, mientras que el grosor del tallo se determinó utilizando un vernier analógico.

El análisis estadístico de los datos obtenidos se realizó mediante un análisis de varianza utilizando el programa SAS versión 9.4 y una prueba de medias Tukey al 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza ($p > 0.05$) no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos de EDTA para las variables de crecimiento evaluadas al final del ciclo del girasol, tal como se observan en las Figuras 1, 2 y 3.

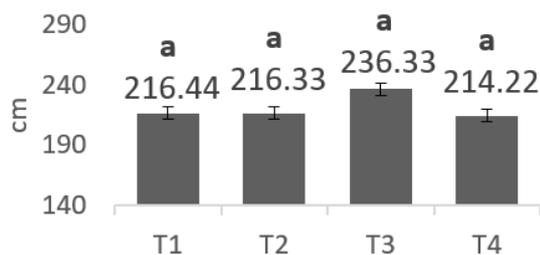


Figura 1. Comparación de medias obtenidas por efecto de EDTA en la variable altura de planta de girasol. Valores seguidos de la misma literal no son diferentes (Tukey P0.05)

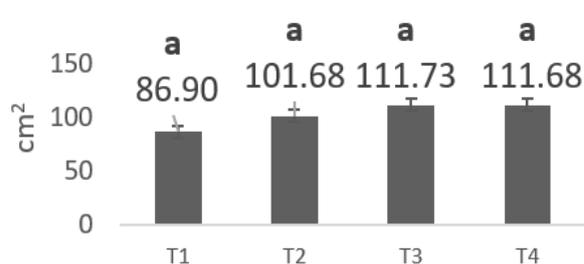


Figura 2. Comparación de medias obtenidas por efecto de EDTA en la variable área foliar de la planta de girasol.

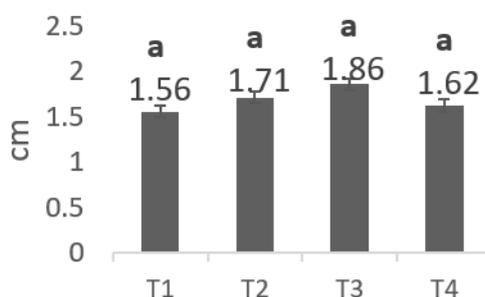


Figura 3. Comparación de medias obtenidas por efecto de EDTA en la variable diámetro de tallo de la planta de girasol.

Los resultados obtenidos sugieren que el uso de EDTA en las dosis evaluadas es viable, sin perjudicar a la fenología plantas. Esto aporta información relevante para la optimización de estrategias de fitorremediación asistida con quelantes, que buscan mejorar la eficiencia de extracción de contaminantes sin comprometer el desempeño de las plantas. Estos hallazgos se complementan con los reportados en el estudio de Gluhar *et al.* (2020), quienes evaluaron el desempeño del EDTA y quelantes biodegradables en un proceso operativo de lavado de suelos a escala piloto. Gluhar *et al.* (2020) Evaluaron la recalcitrancia de quelantes, encontrando que el EDTA no tuvo efectos perjudiciales significativos. Su uso es una alternativa viable para la remediación de suelos contaminados sin impactar el desarrollo de cultivos.

Los resultados de este estudio muestran similitudes con los reportados por Kalyvas *et al.* (2022), quienes evaluaron el efecto del EDTA y los lixiviados de aceite de oliva (OMW) en la fito-extracción de As, Pb y Zn por *Helianthus annuus* en un suelo altamente contaminado por actividades mineras. Sin embargo, mientras que Kalyvas *et al.* midieron únicamente la materia seca, sin encontrar diferencias significativas en este parámetro, en nuestro estudio se evaluaron variables fenológicas adicionales como la altura, el área foliar y el diámetro de tallo. Esto sugiere que las diferencias observadas en estas variables morfológicas podrían ser indicativas de la respuesta fenológica a la aplicación de EDTA en el contexto de la fito-extracción." Los tratamientos utilizados fueron administrados con las siguientes dosis:

Los resultados preliminares de nuestro estudio concuerdan con lo observado por Kalyvas *et al.* (2022), quienes tampoco encontraron efectos significativos en el crecimiento de *H. annuus*.

CONCLUSIONES

Los resultados preliminares indican que la aplicación de 800 mg. L⁻¹ de EDTA, así como el resto de las dosis, no afectan el crecimiento y desarrollo morfológico de las plantas. Por tanto, estos resultados sugieren que el uso de EDTA en las dosis evaluadas puede ser agente promotor de fito-extracción de arsénico en suelos contaminados, sin afectar de manera adversa el desempeño del girasol.

BIBLIOGRAFÍA

- Anastopoulos, I., Ighalo, J. O., Igwegbe, C. A., Giannakoudakis, D. A., Triantafyllidis, K. S., Pashalidis, I., & Kalderis, D. (2021). Sunflower-biomass derived adsorbents for toxic/heavy metals removal from (waste) water. *Journal of molecular liquids*, 342, 117540.
- Bundschuh, J., Pérez Carrera, A., & Litter, M. (2008). Distribución del arsénico en las regiones ibérica e iberoamericana. Editado por CYTED Impreso en Argentina.
- Gluhar, S., Kaurin, A., & Lestan, D. (2020). Soil washing with biodegradable chelating agents and EDTA: Technological feasibility, remediation efficiency and environmental sustainability. *Chemosphere*, 257, 127226. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127226>
- Hernández Ordáz, G., Segura-Castruita, M. A., Pico, L. C. Á. G., Nuncio, R. A. A., Hernández, M. F., & Cervantes, G. G. (2013). Comportamiento del arsénico en suelos de la región lagunera de Coahuila, México. *Terra Latinoamericana*, 31(4), 295-303.
- Kalyvas, G., Biliadis, F., Gasparatos, D., Zafeiriou, I., Eissa, R., Karamountzou, E., et al. (2022). Enhanced As, Pb and Zn Uptake by *Helianthus annuus* from a Heavily Contaminated Mining Soil Amended with EDTA and Olive Mill Wastewater Due to Increased Element Mobilization, as Verified by Sequential Extraction Schemes. *Environments*, 9(5). doi:10.3390/environments9050061
- López, R. A. N., Vong Yunny, Meas Borges Raúl, Ortega Olguín, Eugenia, J (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Revista Ciencia*, 69-83.
- Martínez-Macías, K. J.; Segura-Castruita, M. Á.; Orozco-Vidal, J. A.; Hernández-Ordaz, G.; Frías-Ramírez, J. E. 2020. Capacidad quelatante del quitosano sobre el arsénico soluble en dos fluvisoles de una zona árida de México. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 267-273.
- Medina-Pizzali, M., Robles, P., Mendoza, M., & Torres, C. (2018). Arsenic intake: impact in human nutrition and health. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(1), 93-102. doi:10.17843/rpmesp.2018.351.3604
- Pérez López, E., & Barrantes Murillo, C. (2017). Evaluation of three methods for the recovery of heavy metals in fertilizers. *UNED Research Journal*, 9(2). doi:10.22458/urj.v9i2.166

SUELO URBANO: CARACTERIZACIÓN DE SUELO Y MONITOREO DE PLOMO

David Clemente López Pérez¹; Teresa de Jesús Montalvo Herrera¹;
Astrid Iriana Sánchez Vázquez¹

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Ciudad Universitaria s/n, CP 66455, San Nicolás de los Garza, N.L., México

Autor de correspondencia: astrid.sanchezvz@uanl.edu.mx

RESUMEN

El suelo se considera uno de los principales receptores de contaminación, siendo el suelo urbano el más afectado por esta característica propia del suelo. Las zonas industriales que ya quedaron rodeadas por asentamientos humanos, son las principales fuentes de contaminación del suelo urbano. La metrópoli de Monterrey no ha sido excenta al crecimiento urbano ni a la contaminación de suelo por la industria ya rodeada por la ciudad. Siendo la máxima casa de estudios del estado, Cd. Universitaria, uno de los puntos más importantes de ésta y al estar rodeada de zonas industriales, representa un riesgo de contaminación para las personas, siendo de gran relevancia conocer las concentraciones de los contaminantes salientes de las zonas industriales dentro de la metrópoli. El análisis de 26 muestras de suelo de la zona de Cd. Universitaria, para su caracterización general, la cual esta rodeada por zona industrial, para la determinación de plomo analizado por medio de la Espectrofotometría de emisión óptica de plasma argón acoplado inductivamente. Los estudios arrojaron un pH de 7.47, porcentajes de humedad del 2.48%, porosidad arriba del 47% y una concentración de plomo por debajo de los LMP. El tener un estudio constante de contaminantes en la zona urbana, es de vital importancia para matener un control en la salud de los habitantes.

PALABRAS CLAVES

Metrópolis; Plomo; Suelo urbano.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo económico de las ciudades se debe en gran medida a las actividades industriales. Sin embargo, esto conlleva un incremento sostenido de la densidad poblacional, lo que resulta en una interacción constante y cercana entre la población urbana y los entornos industriales. Esto plantea un riesgo significativo de exposición a contaminantes ambientales, especialmente para los asentamientos ubicados en las cercanías de las zonas industriales. Un ejemplo de contaminación industrial en entornos urbanos es la liberación de plomo, un metal pesado, cuyas emisiones pueden originarse de procesos industriales como la manufactura de baterías, la fundición de metales y la producción de pigmentos (Zwolak et al., 2019).

El plomo es uno de los contaminantes presentes en las áreas urbanas y es uno de los más tóxicos para el ser humano, ya que no desempeña ninguna función fisiológica. Por el contrario, interfiere en múltiples procesos biológicos. La contaminación del entorno puede dar lugar a la ingestión y la inhalación de plomo y sus compuestos.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

La mayoría de los casos de intoxicación oral por plomo se deben a la ingesta regular de pequeñas cantidades de material con plomo, como el polvo o la tierra contaminados, las escamas de pintura con plomo, los alimentos y especias contaminados, las medicinas tradicionales que contienen plomo o por la ingestión de un cuerpo extraño de plomo, como un balín o munición. La inhalación de plomo en forma de vapores o partículas es una de las principales vías de exposición en el trabajo (OMS, 2024).

Ante este contaminante, el suelo desempeña un papel clave al ser uno de los principales receptores de este metal pesado (Moreno Fernández et al., 2018).

Debido a los daños que pueden llegar a causar el plomo, se desarrollaron normativas, las cuales establecen los límites máximos permisibles de ellos en suelos. La NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (SEMARNAT, 2004), establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio, en específico para el metal plomo, establece como límites máximos permisibles $400 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y $800 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para uso agrícola/habitacional e industrial, respectivamente.

Dentro del área metropolitana de Monterrey, se encuentra ubicación de la empresa siderúrgica Ternium, quien es una de las empresas más grandes e importantes encontradas en la metrópoli, además de encontrarse a lado de Cd. Universitaria, quien alberga a la máxima casa de estudios, Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Esta cercanía ocasiona graves problemas de contaminación en el ambiente, ya que se emiten grandes cantidades de gases, así como de material particulado (sedimentos), los que a la larga terminan en el suelo (Chavez et al., 2017), lo que a la larga puede dañar la salud humana, el ambiente y los recursos necesarios para lograr un desarrollo sostenible. Esta contaminación es visible en el poco desarrollo de la vegetación encontrada en las áreas cerca de estas industrias ocasionado por la calidad del suelo y mucha presencia de sedimento, ocasionan una asfixia a la vegetación.

Estudios anteriores demuestran que realizar un monitoreo continuo de las concentraciones metales pesados en suelo urbano y sedimento en general es de gran relevancia, especialmente del plomo, con el fin de determinar si los niveles de dicho contaminante exceden o no los límites establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas. Dentro de este trabajo, se muestra la caracterización fisicoquímica de muestras de suelo urbano dentro Cd. Universitaria, ubicada en el corazón de la metrópoli de Monterrey N. L., teniendo como objetivo la evaluación de plomo presente en el suelo.

MATERIALES Y MÉTODO

Dentro del muestreo se tomaron muestras en cinco diferentes zonas de Cd. Universitaria, de 5 a 6 muestras por zona. Los lugares de muestreo de campo se muestran en la figura 1. Se tomaron aproximadamente 100 gramos de muestra en cada punto, y se tomaron de 5 a 6 muestras por zona.

El muestro de suelo se realizó durante el mes de marzo del presente año del 2024 y se tomaron muestras en el horizonte superficial. Se realizaron 2 muestras compuestas de suelo superficial por cada zona, siguiendo la metodología de la NMX-AA-132-SCFI-2016 (SEMARNAT, 2016).

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Caracterización de los suelos

Para la caracterización de los suelos, se determinó el pH de manera general por medio de papel tornasol, la humedad por medio de gravimetría, según la norma ASTM D2216. El porcentaje de gas en el suelo se realizó por medio de una probeta, en donde se colocaron 20 mL de agua destilada y 20 g de la muestra de suelo, la diferencia para llegar a la suma numérica, es la cantidad de gas presente en el suelo. La textura del suelo se determinó de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

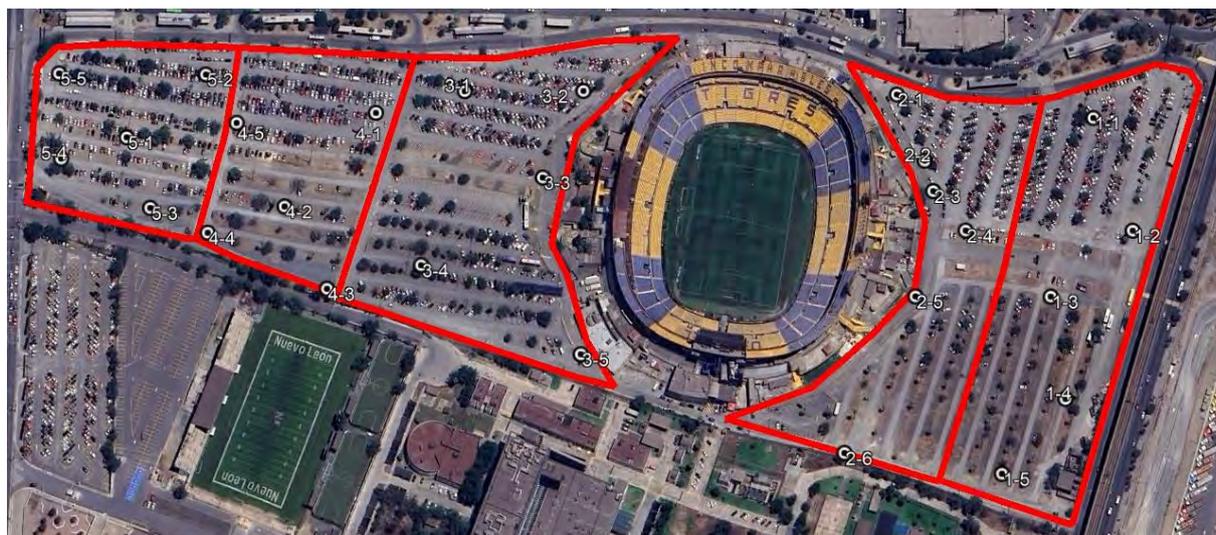


Figura 1.- Mapa del estacionamiento de ciudad universitaria referenciando con letras rojas los puntos de muestreo.

Determinación de metales pesados

A las muestras compuestas de suelo se les realizó un cuarteo por triplicado, para posteriormente tomar 1 g de cada una de las muestras compuestas. Después de esto, se realizó una digestión ácida, colocando dentro de vasos de precipitado el gramo de suelo, agregando 10 mL de HCl concentrado y 5 mL de HNO₃ concentrado. Las paredes de los vasos fueron lavadas con 5 mL de agua destilada. Cada uno de los vasos de precipitado fueron tapados con vidrios de reloj y se colocaron en la plancha de calentamiento y llevados a ebullición. Una vez que el volumen disminuyó a la mitad, se agregó 1 mL de H₂O₂ al 30%, sin suspender el calentamiento, con el fin de eliminar la materia orgánica remanente. A las muestras que presentaron efervescencia tras agregar el H₂O₂, se les agregó 1 mL mas, lo anterior hasta que la efervescencia fuera poca o nula o hasta completar 10 mL de H₂O₂ en total. Esta situación se presentó en las muestras cercanas a vegetación.

Las muestras se dejaron en la plancha de calentamiento hasta llegar a sequedad. Con cuidado se retiraron los vasos de precipitado con la muestra seca y se les agregó 30 mL de agua destilada sobre las paredes de los vasos de precipitado, con el fin de lavarlos.

Cada uno de los vasos se filtró, y el filtrado se guardó en un matraz de volumétrico de 100 mL y se agregó agua destilada hasta la marca de aforación, y se mezcló. Las muestras ya filtradas fueron analizadas por medio de un equipo de Espectrofotometría de emisión óptica de plasma argón acoplado inductivamente (ICP-OES).

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos de las 5 zonas de muestro dentro de la ciudad universitaria se concentran en el Cuadro 1.

Cuadro 1.- Parámetros fisicoquímicos para las zonas de muestreo.

Parámetro	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Promedio
pH	7.5	7.8	7.2	7.6	7.2	7.47
Humedad (%)	1.056	4.426	2.858	2.858	1.618	2.483
Gas y huecos en el suelo (%)	42	45	54	43	54	47.6

El pH se encuentra dentro de los rangos de pH normales, pero esta en el límite inferior. El porcentaje de humedad y porosidad, están relacionados uno con otro a la falta de lluvia por la que pasó el estado de Nuevo León en los últimos años.

La textura del suelo se determinó como limo-arcilla, ya que arriba del 50% del tamaño de partículas era igual o menor a 150 micras.

Determinación de Plomo

Los resultados de las muestras obtenidas de la digestión ácida, para su análisis de concentración de metales pesados, están mostrados en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Concentración promedio de contaminantes en las 5 zonas muestreadas en el mes de marzo del año 2024. Límite máximo permisible LMP según la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004

Elemento	Muestra 1 (mg·kg ⁻¹) Mar- 2024	Muestra 2 (mg·kg ⁻¹) Mar- 2024	Estudios (mg·kg ⁻¹) May-2017	Estudios (mg·kg ⁻¹) Nov-2017	LMP (mg·kg ⁻¹) habitacional/ industrial
Plomo	157.98	179.76	201.35	118.21	400 /800

Como se observa en la cuadro 4, las concentraciones de las muestras no excedieron los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (SEMARNAT, 2004), pero, a pesar de no exceder los LMP, se debe de seguir monitoreando pues su presencia es peligrosa para el ser humano. La disminución de la concentración en comparación del año de 2017, se debe a que durante estos años hubo temporadas de lluvia normales, ya que el problema de agua se registró a partir del 2020 aproximadamente.

CONCLUSIONES

El bajo porcentaje de humedad (2.4%) está ligado a la sequía que se mantuvo en la región norteña muchos meses. La falta de agua también se vio reflejada en la gran cantidad de porcentaje de gas y/o huecos, arriba del 47%.

En cuando al contenido de plomo en suelo de Ciudad Universitaria, el cual está a lado de zonas industriales, pese a no exceder los LMP, las concentraciones de Pb son más altas que monitoreos anteriores. Aunque los resultados no muestran cantidades que causen efecto negativo en la población humana, es conveniente monitorear, al

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

menos 2 veces al año, para ver el desarrollo de las concentraciones de metales, así como analizar al menos 5 de los metales pesados que se pueden liberar las industrias cercanas a áreas urbanas.

BIBLIOGRAFÍA

- Batool, A., Saleem, S., Naqvi, F., Hasan, K. A., Naqvi, F., & Haider, S. (2022). Thymol mitigates cadmium-induced behavioral and cognitive deficits by up-regulating hippocampal BDNF levels in rats. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 35(2), 671-678. <https://doi.org/10.36721/PJPS.2022.35.2.SP.671-678.1>
- Chavez, M., Morillo, B., & Ramos, C. (2017). *Contaminación ambiental en la industria siderúrgica*. <https://es.scribd.com/document/353499146/Contaminacion-Ambiental-en-La-Industria-Siderurgica>
- De la Peña Cerda, V. C., (2014). Evaluación de la concentración de plomo y cadmio en suelos superficiales de parques y plazas públicas, en tres municipios del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México. Universidad Autónoma de Nuevo León. <http://eprints.uanl.mx/4119/1/1080253816.pdf>
- Monitoreo del suelo de Ciudad Universitaria en San Nicolás de los Garza, N. L. David Clemente López Pérez; Gabriela Elizabeth Quintanilla Villanueva; Astrid Iriana Sánchez Vázquez. Poster, Congreso Nacional de Suelos 2023
- NORMA ASTM D2216. (1998). Método de prueba estándar para la determinación en laboratorio de contenido de agua (humedad) de suelos y rocas por masa.
- Moreno Fernández M. (2018). La contaminación del suelo por el plomo y sus consecuencias sobre la salud humana. Universidad Complutense. <https://docta.ucm.es/entities/publication/166f72b5-6eda-4c13-8341-8ee5f51696bb>
- Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/questions-and-answers/item/chemical-safety-lead-poisoning#:~:text=La%20OMS%20recomienda%20que%2C%20en,y%20acabar%20con%20la%20exposición.>
- 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. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002
- SEMARNAT. (2004). Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por As ,Ba ,Be , Cd , Cr VI ,Hg ,Ni , Ag ,Pb ,Se , Tl. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SEMARNAT. (2016). NMX-AA-132-SCFI-2016: Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra. <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-aa-132-scfi-2016.pdf>
- Zwolak, A., Sarzyńska, M., Szpyrka, E., & Stawarczyk, K. (2019). Sources of Soil Pollution by Heavy Metals and Their Accumulation in Vegetables: a Review. *Water, Air, and Soil Pollution*, 230(7). <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4221-y>

División 4

USO DE MODELOS DE PREDICCIÓN ESPACIAL PARA LA MEJORA DEL USO EFICIENTE DEL AGUA EN SISTEMAS AGROPECUARIOS

René Juárez Altamirano¹; Dulce Flores-Rentería²

¹Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Cinvestav Saltillo. Doctorado en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía.

²Conahcyt-Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Cinvestav Saltillo. Posgrado en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía.
e-mail: yaahid.flores@cinvestav.edu.mx

RESUMEN

Las prácticas agrícolas han satisfecho las necesidades básicas de la población humana; sin embargo, el constante incremento de la población humana y el cambio climático, están ejerciendo una presión cada vez mayor sobre dos de los recursos no renovables más limitantes para la agricultura, el suelo y el agua.

La agricultura de precisión ofrece soluciones para diversas necesidades en el campo proporcionando a los agricultores herramientas para gestionar sus cultivos de manera más eficiente y sostenible.

En parcelas agrícolas ubicadas al sureste del estado de Coahuila, donde los cultivos principales son forrajeros y se utilizan prácticas de manejo convencionales, se pretende aplicar modelos predictivos basados en geoestadística para evaluar su utilidad en la predicción espacial de diversas variables del suelo. Estos modelos podrán ser de utilidad para la mejora en el uso del agua de la región.

Se realizó un muestreo en campo y las muestras fueron procesadas en laboratorio para determinar las características fisicoquímicas del suelo. Con los resultados obtenidos se generó una base de datos que se complementó con información de otras fuentes para el entrenamiento de los modelos predictivos. Se obtuvo el primer mapa de humedad del suelo para la región sureste del estado de Coahuila. Aunque los mapas obtenidos presentan ciertas incertidumbres, demuestran su aplicabilidad y potencial para mejorar la gestión de recursos en la agricultura local.

PALABRAS CLAVE

Agricultura de precisión; Geoestadística; Uso del agua.

INTRODUCCION

Existen muchas necesidades en el campo que pueden ser cubiertas con la agricultura de precisión, la cual consiste en el uso de tecnologías a través de la recopilación, el análisis y el uso de datos que ayuden a tomar decisiones para mejorar la productividad en campo.

La agricultura de precisión aporta a los agricultores una forma de gestionar de manera eficiente y sostenible sus cultivos y hacer frente a algunas de las problemáticas actuales como la escasez del agua, las afectaciones que se producen debido al cambio climático y la seguridad alimentaria al mejorar la productividad de los cultivos.

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

El agua es vital para mantener e incrementar la producción eficiente de cultivos. La demanda de agua de riego por parte de los usuarios agrícolas desencadena la competencia por los recursos hídricos y aumenta la preocupación ambiental. El riego es un problema mayor cuando las regiones se encuentran bajo condiciones climáticas adversas, como fuentes de agua limitadas y escasez de lluvia, como en las regiones áridas y semiáridas, volviéndose una limitante para promover la agricultura sostenible (Simsek y Comlekcioglu, 2011).

Si bien en los últimos años se ha hecho hincapié en aumentar la eficiencia de los sistemas de riego en la aplicación de agua, se han realizado pocas pruebas empíricas para predecir patrones adversos y ajustar las prácticas de riego acorde a estos cambios (Levidow, 2014). Este trabajo pretende aplicar estrategias de agricultura de precisión con el uso de percepción remota para conocer características del suelo a escala regional en los sistemas productivos agrícolas, para así brindar pautas sobre el uso eficiente de los recursos hídricos en la región.

Para la cuantificación de los requerimientos hídricos de los cultivos en las regiones áridas a través de la evapotranspiración se han propuesto y validado distintos métodos, como el balance hídrico del suelo, la covarianza de remolinos y el uso de sensores remotos; sin embargo, la aplicación de estos últimos ha sido poco explotada en la región sureste del estado de Coahuila. Es por lo antes mencionado que se probó un modelo predictivo para generar mapas de superficies continuas basados en geoestadística para comprobar su utilidad en la predicción espacial de diversas variables ambientales concentrando los esfuerzos de este trabajo en la humedad del suelo, que puede ser de utilidad para la mejora en el uso del agua de la región sureste de Coahuila.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo de investigación se realizó en la región sureste del estado de Coahuila de Zaragoza conformada por los municipios de Saltillo, Ramos Arizpe, Parras de la Fuente, General Cepeda y Arteaga. La región se caracteriza por climas que van de semiárido a templado con temperaturas medias anuales de 14 a 35 °C. El promedio de precipitación anual es de 223 a 545mm. Los principales cultivos de la región son maíz de grano, nopal forrajero, nuez, sorgo, maguey pulquero y manzana (SIACON, 2018).

Como primer paso se identificaron parcelas agrícolas para su estudio en la región incluyendo de cultivos no leñosos bajo el manejo convencional de los propietarios incluyendo el riego, la aplicación de fertilizantes y manejo del suelo, así como el cultivo seleccionado.

En cada sitio de estudio se recabó información más detallada sobre el manejo del cultivo. Se tomaron 5 muestras de suelo en cada parcela para su caracterización en laboratorio, donde se analizaron diversas propiedades del suelo como: contenido de humedad, materia orgánica, densidad aparente, pH, conductividad eléctrica, textura, capacidad de campo y punto de marchitez permanente (Campuzano *et al.*, 2022), además se monitorean diferentes parámetros ambientales.

Adicionalmente recopilamos sets de datos de covariables ambientales heredados de bases de datos del laboratorio de sustentabilidad del suelo de Cinvestav unidad Saltillo (Campuzano *et al.*, 2022). Así mismo, se obtuvieron datos históricos de las estaciones climatológicas de la Red Nacional de CONAGUA y del catálogo de datos

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

del programa Copernicus misión Sentinel-2. Para modelar las características del suelo se seleccionaron como covariables algunos factores de formación, propuestos por McBratney et al. (2003) en el modelo S.C.O.R.P.A.N, como características físicas del suelo, textura, densidad aparente, relieve y material parental (Beaudette *et al.*, 2013).

Para este trabajo se probó un modelo basado en geoestadística, el método Kriging se basa en el uso de tres fuentes de información: (1) mediciones variables ambientales in situ, (2) estimaciones covariables ambientales con percepción remota (3) bases de datos heredadas. El modelo se ajusta para la humedad del suelo en función de la textura a los datos observados, y los residuos de ese modelo diario se utilizan en una estimación automatizada de semivariograma y una rutina de Kriging para producir mapas de humedad.

La precisión de las predicciones se evaluó con la validación cruzada de K veces. Así mismo, se examinó la diferencia entre los valores observados y predichos utilizando el error medio (ME), el error cuadrático medio (RMSE) y el coeficiente de correlación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las parcelas seleccionadas para este trabajo obtuvieron datos de humedad del suelo y propiedades fisicoquímicas del suelo, también se recolectaron datos de otros puntos de muestreo de sitios agrícolas disponibles en el laboratorio de sustentabilidad del suelo Cuadro 1.

Se generó un código para calcular las covariables ambientales seleccionadas como características físicas del suelo, relieve y material parental, vegetación e índices de vegetación que reflejan el estado de la vegetación, con una resolución temporal de 1 año y a una resolución espacial de 1000 m²/píxel.

Con los resultados del muestreo en campo y las covariables ambientales generadas a partir de percepción remota se desarrollaron líneas de códigos para la modelación. Se generó el semivariograma de humedad del suelo para determinar la existencia o no de autocorrelación espacial entre los puntos de muestreo (Figura 1).

Cuadro 1. Ta= Temperatura ambiental (°C), RH= Humedad relativa (%), TaSu = Temperatura del suelo (°C), HuSu= Humedad del suelo (%), MO=Contenido de materia Orgánica (%), CE= Conductividad Eléctrica (ms.cm⁻¹), Den= Densidad aparente (g.cm⁻³), Arena, Limo y Arcilla (%).

Sitio	Ta	RH	TaSu	HuSu	MO	pH	CE	Den	Arena	Limo	Arcilla
A1	36.19	32.36	33.90	23.14	8.16	7.22	1423.40	1.010	28.09	66.52	5.38
A2	36.22	32.09	33.18	18.69	5.80	7.89	746.73	1.061	22.48	71.16	6.35
A3	36.29	27.71	35.09	13.04	6.53	7.37	1242.58	1.039	30.50	66.52	2.97
A4	36.17	29.38	32.63	16.43	4.35	7.81	1090.17	1.106	13.61	80.96	5.42
A5	31.22	37.80	28.69	11.22	3.56	8.00	807.07	1.067	30.06	63.58	6.34
A6	35.93	25.20	33.70	7.01	4.61	7.89	887.92	1.171	30.93	65.55	3.51
A7	29.49	31.96	28.82	6.28	2.85	7.95	554.87	1.174	22.45	70.80	6.74
A8	31.51	35.72	28.89	7.48	2.99	8.07	483.31	1.251	26.98	67.77	4.27
A9	29.16	34.61	27.36	11.37	4.46	7.99	642.46	1.111	29.70	64.41	5.87
A10	23.69	39.83	21.08	25.39	9.50	8.58	460.65	1.141	27.82	66.97	5.20
A12	25.85	37.47	21.03	18.93	8.05	8.09	2600	0.904	31.31	67.63	0.94

División 4

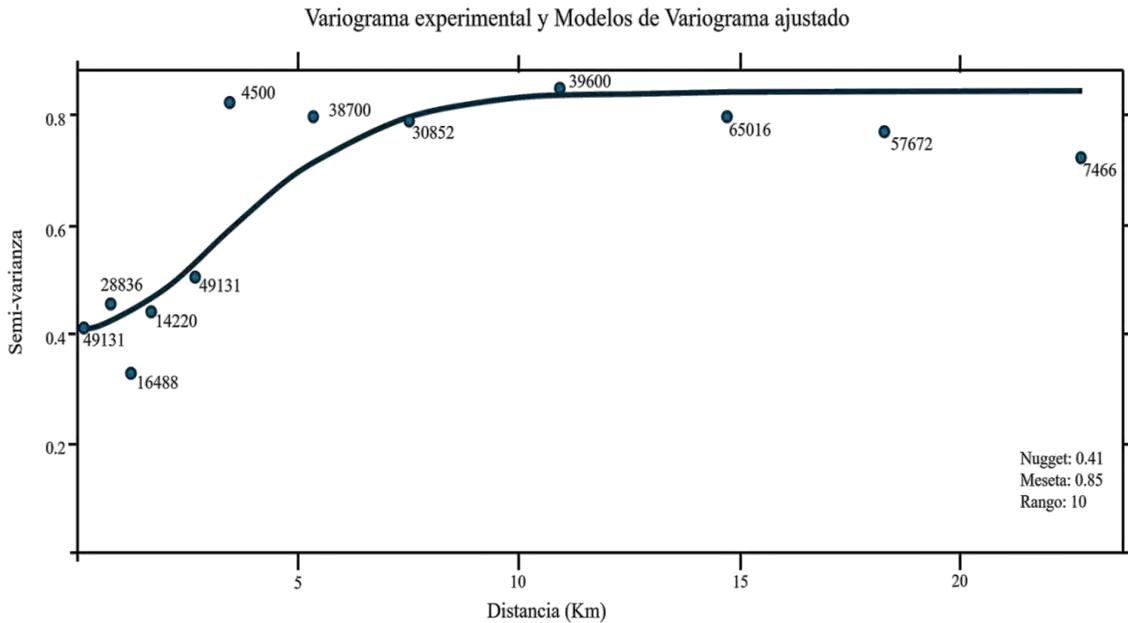


Figura 1. Semivariograma para la humedad del suelo

En la Figura 1, la autocorrelación espacial se determina con la relación entre el nugget y la meseta (*nugget/meseta*), para el caso de la humedad la autocorrelación es de 0.482, valores de 0.25 a 0.75 representan la existencia de autocorrelación moderada. Para este caso la autocorrelación existe, también se puede observar que la semivarianza aumentó gradualmente después durante los primeros 5 km, lo que indica una cantidad notable de variación de corto alcance, los puntos de muestreo separados por más de 10 km presentan menor autocorrelación espacial (Beaudette *et al.*, 2013).



Figura 2. Ensamble de covariables ambientales para la modelación.

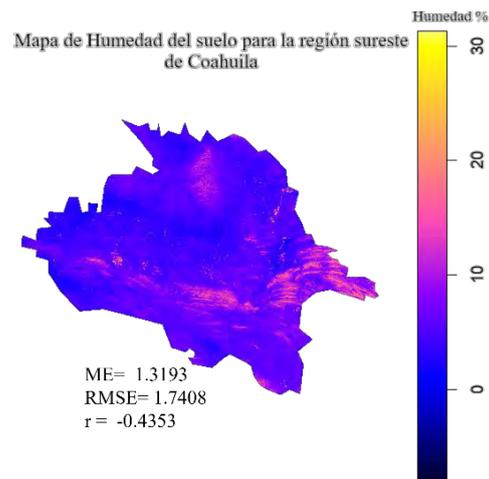


Figura 3. Mapa de humedad del suelo para el sureste del estado de Coahuila obtenido de la modelación.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Una vez comprobados los supuestos de normalidad y la auto correlación espacial se procedió a realizar el ensamble de la colección de rásters (covariables ambientales) que tengan mayor correlación con la variable de interés (humedad del suelo) Figura 2.

La predicción espacial generó el mapa que se presenta en la Figura 3, la saturación del color indica el porcentaje de humedad en los suelos de la región, en escala de colores, donde menor contenido de humedad se presentan con colores azules y colores amarillos indican mayor contenido de humedad. Se puede observar que los suelos con mayor porcentaje de humedad se encuentran en la región cercana al municipio de Arteaga, mientras que menores contenidos de humedad se encuentran parras de la fuente, General Cepeda y Ramos Arizpe. Al comparar estos resultados con los datos de régimen de precipitación disponibles de la Secretaria de Medio Ambiente del estado, se encuentra que Arteaga es el municipio con mayor régimen de precipitación (Gutiérrez et al., 2023), mientras que los otro cuatro municipios se caracterizan por ser regiones semiáridas. Es importante mencionar que para la modelación de este mapa no se usaron datos de precipitación.

De acuerdo con las pruebas de bondad de ajuste ME, RSME y r , el mapa obtenido presenta un buen ajuste pues valores más cercanos a cero indican una mejor predicción.

CONCLUSIONES

En este trabajo se obtuvo un acercamiento a los primeros mapas de la región sureste de Coahuila que relaciona las propiedades del suelo con el uso eficiente del agua.

Al ser la humedad un factor importante en la agricultura podemos darnos una idea de cómo se distribuye está en los suelos de la región y así poder tomar decisiones sobre que regiones son más apropiadas para la agricultura, que cultivos pueden adaptarse mejor a las condiciones de humedad o que lugares tendrán mayores demandas de agua. Sin embargo, los mapas obtenidos hasta el momento, aunque presentan ciertas incertidumbres, demuestran su aplicabilidad y potencial para mejorar la gestión del recurso hídrico en la agricultura local.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Conahcyt por la beca otorgada a René Juárez Altamirano No.1055 para el desarrollo de este trabajo de investigación, a los propietarios de los predios donde se realizó esta investigación por su apoyo y facilidades prestadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Beaudette D.E., Roudier P. & O'Geen A. (2013). Algorithms for quantitative pedology: A toolkit for soil scientists, *Computers Geosciences*, 258-268.
- Campuzano, E. F., et al. (2022). "Procedimiento para evaluar la degradación biológica del suelo en zonas áridas del noreste de México." *Realidad, Datos y Espacio Revista Internacional de Estadística y Geografía* 13(1): 38-57.
- Gutiérrez E.C., Rodríguez O.R., Máynez A.C. & Covarrubias M.N. (2023). Gobierno del Estado de Coahuila Secretaría de Medio Ambiente del estado Subsecretaría de Recursos Naturales.

División 4

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- 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.
- McBratney, A. B., Santos, M. M., & Minasny, B. (2003). On digital soil mapping. *Geoderma*, 117(1-2), 3-52.
- SIACON. (2018). Estadísticas de la Producción Agrícola Nacional y Estatal.
- Simsek M., Comlekcioglu N. (2011). Effects of different irrigation regimes and nitrogen levels on yield and quality of melon (*Cucumis melo L.*), *African Journal of Biotechnology*, 10 (10009-10018).

División 4

El Papel de los Suelos en el Sostenimiento de la
Sociedad y el Medioambiente

División 5

Ciencias de Frontera y Multidisciplinarias del Suelo



Imagen creada con IA (<https://deepai.org>), empleando los términos "soil science frontiers and multidisciplinary, nanoscience, nanotechnology, biotechnology, microorganisms, molecular biology, real picture, 3d image".



Coordinador de División
Dr. Esteban Sánchez Chávez

ANÁLISIS CUALITATIVO Y CUANTITATIVO DE DETRITOS DE HORMIGA Y ABONO TIPO BOCASHI COMO ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE

Leidy Melina Guillen-Moreno¹; María del Socorro Morales-De Casas^{2*}; María de los Ángeles Sariñana-Navarrete¹; Miguel Ángel Soto-Cárdenas²

¹Academia de Agricultura Sustentable y Protegida. Universidad Tecnológica de Rodeo. Carr. Federal Panamericana Km. 159.4, CP 35760, Rodeo, Durango, Mx.

²Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango. Calle Sigma #119 Fracc 20 de Noviembre II. CP 34220, Durango, Durango, Mx.

Correspondencia: modecams@hotmail.com

RESUMEN

La demanda agrícola prevista para el futuro requerirá un incremento en el rendimiento de los cultivos, que actualmente se mantiene mediante el uso intensivo de fertilizantes y productos fitosanitarios de origen sintético. Una contribución encaminada hacia la sostenibilidad enfoca sus esfuerzos en incrementar la materia orgánica del suelo y reducir la erosión de este. Los abonos orgánicos del tipo bocashi, enriquecidos en carbono orgánico incorpora al suelo minerales esenciales y mejora la permeabilidad de este; y detritos de hormiga se han convertido en una alternativa ante esta situación. Estos últimos han sido poco explorados como abono, sin embargo, se ha demostrado que sus características cuantitativas, mejoran la salud y fertilidad del suelo. Es por ello por lo que caracterizar el valor nutrimental del abono bocashi y detritos de *Atta mexicana* (Formicidae: Myrmicinae) mediante técnicas cualitativas y cuantitativas fue el propósito de este proyecto. Cualitativamente se utilizó la técnica de cromatografía de Pfeiffer que se usó para determinar las condiciones de los abonos mediante filtros de papel, donde con ayuda de diferentes soluciones, las partículas del abono se deslizaban exponiendo su condición. Por otra parte, de forma cuantitativa se hizo un análisis fisicoquímico donde se analizó el contenido de materia orgánica y las texturas de los abonos. Se obtuvieron en su mayoría buenos resultados con altos estándares, y partículas de detritos en condiciones para su transformación en humus, todo esto con la finalidad de hacer uso de la agricultura orgánica para reducir el impacto de fertilizantes sintéticos.

PALABRAS CLAVE

Actividad microbiana; Cromatografía de Pfeiffer; Materia orgánica; Textura.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un ecosistema vivo que conecta la ciencia agrícola y las ciencias del suelo, con las necesidades de gestión sostenible, donde la calidad del agua, el cambio climático, y la actividad del ser humano influyen directamente en la salud del mismo (Lehmann *et al.*, 2020). El enfoque agroecológico propone el uso de abonos orgánicos debido al valor nutrimental que tienen y la accesibilidad para su uso en producción agrícola, el potencial de incrementar el rendimiento en los cultivos y su contribución

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

para restaurar el suelo; sin embargo, a pesar de estos beneficios, es necesario transmitir este tipo de conocimiento a los campesinos y productores del medio rural ya que representa una alternativa viable para la producción de alimentos que actualmente no han explorado (Morales *et al.*, 2024). Los detritos de *Atta mexicana* y el bocashi son abonos benéficos para el crecimiento y fortalecimiento de los cultivos, gracias a las grandes cantidades de materia orgánica (MO) que contienen. El uso de estos abonos reduce los costos de producción y contribuye a reciclar los nutrientes presentes en los residuos de la producción agrícola, así como también a la recuperación de la salud del suelo. Es por lo que el objetivo de este estudio fue caracterizar el valor nutrimental del abono bocashi y detritos de *Atta mexicana* (Formicidae: Myrmicinae) mediante técnicas cualitativas y cuantitativas y específicamente comparar el valor nutrimental de bocashi y detritos, asimismo conocer la calidad nutricional mediante cromatografía y técnicas de laboratorio. Concretamente cromatografía en papel que es a la separación de las fases necesarias para el funcionamiento e integración de del suelo y análisis fisicoquímico evaluando textura y materia orgánica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

Para llevar a cabo este estudio se realizaron muestreos en algunos puntos específicos del estado de Durango (Figura 1) para coleccionar los detritos y el bocashi, los cuales se especifican en el Cuadro 1.

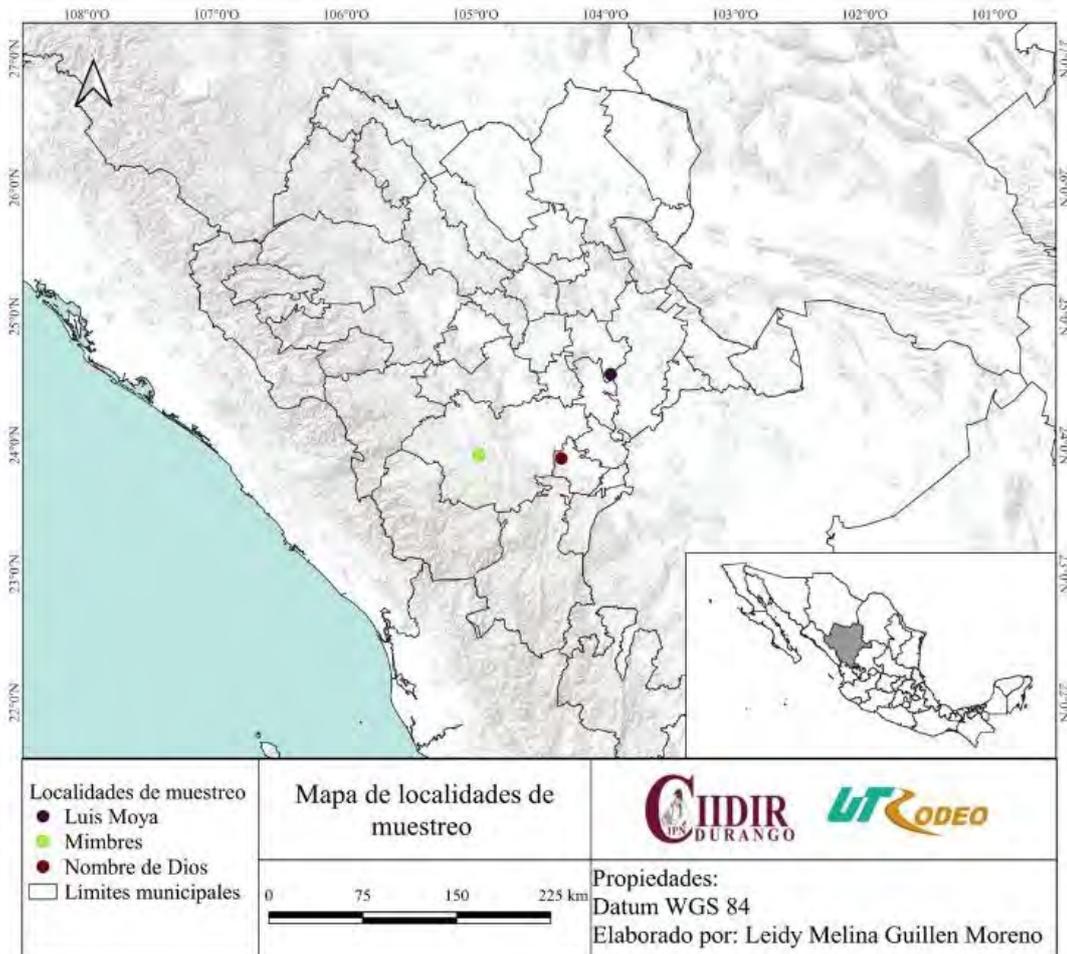


Figura 1. Ubicación espacial de las zonas de muestreo.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cuadro 1. Características generales de la zona de muestreo.

Punto de muestreo	Localización geográfica	Clima de la zona	Tipo de muestra	Numero de muestras	Código
Plan de Ayala, Dgo.	23°54'02.1" N 104°32'09.5" W	Bwh	Detritos	1	PA-1
Nombre de Dios	23°49'24.7" N 104°16'22.7" W	Bwh	Detritos	3	ND-1; ND-2; ND-3
Los Mimbres, Dgo.	23°55'44.4" N 104°58'56.3" W	Bsh	Bocashi	1	LM-1
Luis Moya, Peñón Blanco	24°32'55.3" N 103°57'55.5" W	Bsh	Bocashi	1	PB-1

Cromatografía de Pfeiffer

Las muestras fueron analizadas por el método de CPF descrito por Restrepo y Phineiro (2011). Brevemente, con un pabito se impregnó papel filtro Whatman No 1 con nitrato de plata (AgNO_3) al 0.5% en un radio de 4 cm a partir del centro y se conservó aislado de la luz hasta que seco completamente. Posteriormente, 5 g de muestra se pulverizaron y diluyeron en 50 mL de hidróxido de sodio (NaOH) al 1%, y se agitó 7 veces a la derecha 7 veces a la izquierda en movimientos circulares hasta completar 7 ciclos, a los 15 y 60 min. Después de 6 h en reposo, se inició el recorrido de la muestra hasta alcanzar un radio de 6 cm. Se secó cada cromatograma para ser revelado propiamente.

Análisis cuantitativo

El análisis fisicoquímico determino la textura de las muestras por el método de Bouyoucos establecido en la NOM-021-RECNAT-2000. Rápidamente, a 60 g de la muestra se le eliminó la MO con H_2O_2 al 6%, y se evaporaron los líquidos hasta el secado total. Se adicionó agua destilada y se agregaron 5 mL de $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ y 5 mL $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ y se dejaron en reposo por 15 min. Con ayuda de agitadores mecánicos se mezcló la muestra por 20 min y se vació en cilindros de Bouyoucos. Las lecturas se tomaron a 40 s y 2 h.

La estimación de la MO se realizó por el método Walkley y Black (1934). Para ello, se pesaron 0.5 g de muestra seca y tamizada, y se colocaron en un matraz Erlenmeyer. Se agregaron 10 mL de dicromato de potasio $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1 N, 20 mL de H_2SO_4 , 200 mL de agua destilada, 5 mL de H_3PO_4 , e indicador difenilamina. Esta solución se tituló con $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cromatogramas evidenciaron que las muestras con detritos tienen grandes cantidades de minerales, debido a la actividad microbiana que poseen, sin embargo, la distribución radial e integración de las zonas difiere entre zona y punto de muestreo. En la Figura 2a, b y c, se observa como las muestras de detritos de una misma zona de muestreo difieren en la zona de oxigenación, ya que varía entre coloración y tamaño.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Por otra parte, la zona de minerales se evidencia con un tamaño óptimo (Figura 2a y c) a excedente (Figura 2b)., y en contraste con la zona enzimática, la variación es evidente. En este contexto, la zona de oxigenación del cromatograma de PA-1 es excedente, pero, probablemente se deba a que el punto de donde fue extraída se trató de una zona con proceso inicial de transformación de la materia, sin embargo, por el color de la zona de MO se percibe como abundante (Figura 2d).

En contraste las zonas de las muestras de bocashi son más pronunciadas, pero siendo un proceso más controlado la fabricación de este abono, las cualidades son más destacables y es notable en el color y tamaño de las zonas (Figura 2e y f).

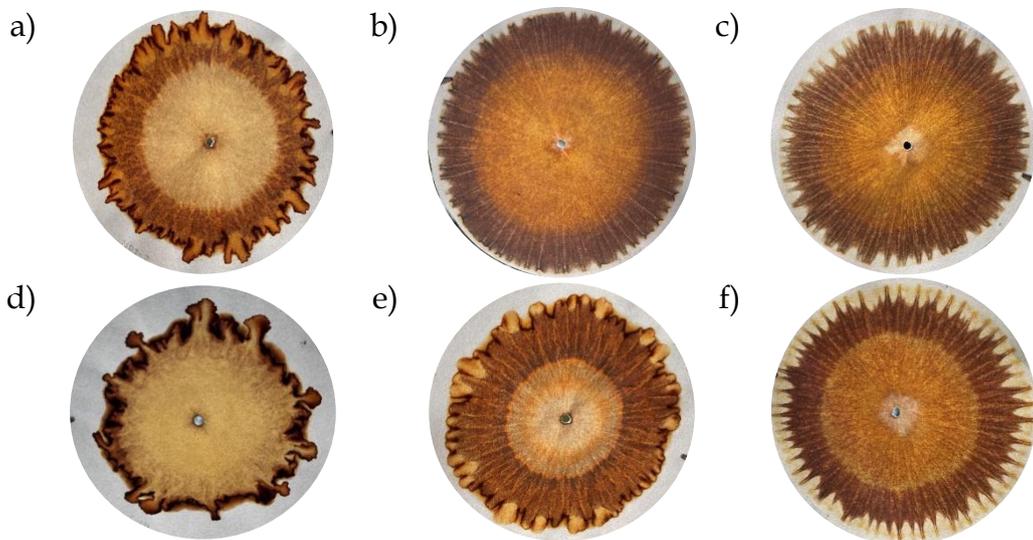


Figura 2. Cromatogramas de detritos a) ND-1; b) ND-2; c) ND-3; d) PA-1., y bocashi e) LM-1; f) PB-1.

Bautista (2014) señala que el contenido de MO en detritos de hormiga es variable, llegando a ser extremadamente pobre a extremadamente rico. En este estudio las condiciones de MO son en un rango de medio-muy alto de acuerdo con el análisis fisicoquímico, sin embargo, en los cromatogramas también se describe que hay presencia de MO, pero esta varía significativamente en cualidades destacando la colorimetría de la misma.

El análisis fisicoquímico demostró que las muestras están en condiciones favorables para la transformación de humus, y forman parte de la clasificación textural *franco arenoso* teniendo porcentajes entre 56-72% de arena, lo que puede resultar de utilidad ya que beneficia el crecimiento y la nutrición de los cultivos (Julca *et al.*, 2006). El contenido nutrimental de estos abonos puede ser opción viable al uso de fertilizantes comerciales (Ramos y Terry, 2014) ya que, el contenido de MO se sitúa en un rango de medio-muy alto (Cuadro 2).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cuadro 2. Clasificación de las muestras.

Código de muestra	MO	Textura
ND-1	MA	
ND-2	A	
ND-3	M	
PA		Franco arenoso
LM	MA	
PB	A	

A: Alto; M: Medio; MA: Muy Alto.

Las muestras de bocashi presentan altos contenidos de minerales, alta actividad enzimática y MO, debido a que la elaboración de este abono es un proceso controlado (Ramos y Terry, 2014) los elementos nutricionales del abono bocashi funcionan como enmienda al suelo con macro y micronutrientes necesarios para el correcto desarrollo de los cultivos y mejoramiento del suelo (Yong, 2020).

CONCLUSIONES

Estas clasificaciones evidencian que tanto las muestras de detritos como de bocashi pueden contrarrestar los suelos degradados, los altos costos de producción, o las sequías, ya que permiten por un lado producir alimentos sanos y por otro la recuperación y protección del suelo. Pueden considerarse como opción para promover la fertilidad y buscar la recuperación del suelo a largo plazo, siendo dos alternativas accesibles para los pequeños productores tanto de granos básicos como de otros alimentos.

BIBLIOGRAFÍA

- Bautista Hernández, F., (2014). Caracterización de microfauna asociada a los detritos producidos por hormigas del género *Atta*. Tesis de grado Licenciatura. Universidad Pedagógica Nacional Facultad de Ciencia y Tecnología Departamento de Biología Bogotá, Colombia.
- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49-61. Extraído el 29 de agosto del 2024 desde <https://doi.org/10.4067/s0718-34292006000100009>
- Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(10), 544-553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>
- Morales De Casas, M. S., Márquez Linares, M. A., & Sánchez Ortiz, E. (2024). Vulnerabilidad socioeconómica del campesinado en los Llanos de Durango, México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 34(63), 1-30. Extraído el 28 de agosto del 2024 desde <https://doi.org/10.2307/40184061>
- Norma Oficial Mexicana (NOM) NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. *Estudios, muestreo y análisis índice*.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Ramos Agüero, D., & Terry Alfonso, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos tropicales*, 35(4), 52-59
- Restrepo, J., & Pinheiro, S. (2011). Descripción del método para el análisis cromatográfico de suelos. *Cromatografía imágenes de vida y destrucción del suelo*. (29-33) Cali: Impresora Feriva, 2011.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.
- Yong Lescano, J. J. (2020). Identificación de macronutrientes, micronutrientes y microorganismos en el bocashi elaborado en base a residuos ruminales. Tesis de grado licenciatura. Universidad Técnica Estatal De Quevedo. Ecuador.

IDENTIFICACIÓN DEL MICROBIOMA EN SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS DE LA EX FUNDIDORA DE ÁVALOS, CHIHUAHUA

Gustavo Montes-Montes¹; Zilia Y. Muñoz-Ramírez²; Leonor Cortes-Palacios¹; Javier Carrillo-Campos¹; Ismael Ortiz-Aguirre¹; Román González-Escobedo^{1*}

¹Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua, Periférico Francisco R. Almada km 1, Chihuahua 31453, Chihuahua, México.

²Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Campus II Circuito Universitario s/n, Chihuahua 31125, México. *Correspondencia: rgescobedo@uach.mx

RESUMEN

La acelerada explotación de los recursos naturales ha generado un incremento significativo de la carga antropogénica en el suelo en los últimos años, lo que ha resultado en la liberación de metales pesados al ambiente. Frente a estas condiciones adversas, los microorganismos han desarrollado mecanismos de adaptación que les permiten sobrevivir en ambientes contaminados con metales pesados. En este estudio, se llevó a cabo un análisis de las comunidades microbianas en un suelo con presencia de escorias de metales pesados de la ex fundidora de Ávalos, en Chihuahua, con el objetivo de determinar la composición taxonómica de las bacterias, arqueas y hongos presentes en este sitio. Para ello, se recolectaron muestras de suelo rizosférico en distintos puntos de la ex fundidora y se realizaron análisis físicos, químicos y metagenómicos. Estos análisis permitieron la identificación de una comunidad microbiana diversa, compuesta por géneros abundantes tales como *Streptomyces*, *Bradyrhizobium*, *Pseudomonas*, *Halorubrum*, *Halobaculum*, *Fusarium*, *Aspergillus*, entre otros. El estudio revela la adaptación de microorganismos a condiciones extremas de contaminación por metales pesados, destacando su capacidad para sobrevivir y prosperar en estos ambientes. Se identificaron microorganismos clave que pueden ser útiles en la biorremediación, lo que abre posibilidades para el desarrollo de nuevas estrategias de restauración de suelos contaminados.

PALABRAS CLAVE

Biorremediación; Metagenómica; Metales pesados; Microbioma; Rizósfera.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo por metaloides y metales pesados es un problema ambiental crítico, que afecta tanto a los ecosistemas como a la salud humana. Elementos químicos como Pb, Cd y As alteran la capacidad del suelo para sustentar vida, contaminando el agua y el aire (Sales de Silva, 2020). Un ejemplo de esta problemática se encuentra en la ex fundidora de Ávalos en Chihuahua, México, donde la actividad metalúrgica ha dejado suelos contaminados. El área tiene una larga historia de contaminación por metales pesados que se extiende por más de 80 años, debido a la operación de una fundidora dedicada al refinamiento de diferentes metales, principalmente plomo.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Diversas investigaciones han demostrado que ciertos microorganismos pueden sobrevivir en ambientes altamente contaminados mediante mecanismos como la biosorción y la biolixiviación, lo que los convierte en candidatos potenciales para ser usados en proyectos de recuperación ambiental (Rekadwad, 2024). Para implementar estrategias efectivas de biorremediación, es necesario conocer las comunidades microbianas y las funciones metabólicas que desempeñan.

La metagenómica permite analizar detalladamente las comunidades microbianas y sus funciones, superando las limitaciones de los métodos tradicionales basados en cultivo. Con base en lo anterior, este proyecto se enfoca en la caracterización taxonómica de las bacterias, arqueas y hongos de suelos contaminados de la ex fundidora de Ávalos a través de un análisis metagenómico. Los hallazgos obtenidos facilitarán la identificación de microorganismos capaces de sobrevivir en este ambiente hostil, lo que a su vez abrirá la posibilidad de desarrollar estrategias de aislamiento y evaluación de su potencial biotecnológico en procesos de biorremediación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio y recolección de suelo

Se recolectaron muestras de suelo en la ex fundidora de Ávalos, Chihuahua, México. La primera muestra se recolectó de suelo rizosférico de un área con escorias de metales pesados con escasa vegetación, principalmente dominada por plantas de la familia Poaceae (28° 37' 32.0" N, 106° 00' 16.2" O). La segunda muestra se recolectó de suelo no rizosférico y se utilizó como muestra control, obtenida del exterior de las instalaciones de la ex fundidora, con una distancia entre ambos sitios de 1 km. Las muestras de suelo se caracterizaron fisicoquímicamente siguiendo el protocolo descrito por Escobedo Bautista (2021).

Extracción de ADN metagenómico, secuenciación y análisis bioinformático

El ADN total de cada muestra se extrajo utilizando el kit ZymoBIOMICS™ DNA Miniprep (Zymo Research, Irvine, CA, EE. UU.), siguiendo las instrucciones del fabricante. La calidad y cantidad del ADN se determinaron con un espectrofotómetro NanoDrop (Thermo Scientific, Wilmington, DE, EE. UU.) basado en su relación A260/280 y su integridad mediante electroforesis en gel de agarosa al 1.0%. Posteriormente, las muestras fueron enviadas a Illumina (San Diego, CA, EE. UU.) para su secuenciación por metagenómica de shotgun, utilizando un equipo NovaSeq 6000. El análisis bioinformático se realizó siguiendo el procedimiento descrito por Muñoz-Ramírez *et al.* (2024) para la identificación de las comunidades microbianas y para los análisis de diversidad alfa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron un total de 49,572,402 secuencias crudas de la muestra de suelo con escorias de metales pesados, mientras que para la muestra control de suelo no rizosférico se obtuvieron 4,160,235. Después de realizar el procesamiento de calidad, se obtuvieron un total de 45,744,460 y 3,939,758 secuencias de alta calidad, respectivamente. La clasificación taxonómica permitió determinar los géneros bacterianos más abundantes (Figura 1).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

En el caso de la muestra de suelo con escorias, *Streptomyces* (21.42%) fue el más abundante, seguido por *Bradyrhizobium* (8.66%), *Pseudomonas* (5.53%), *Sphingomonas* (3.89%), *Micromonospora* (3.05%), *Mesorhizobium* (2.69%) y 2,113 géneros con abundancia relativa < 2.7%. En la muestra control, *Streptomyces* fue el más abundante (13.24%), seguido por *Nocardioide*s (5.79%), *Rubrobacter* (3.67%) y 1,633 géneros con abundancia relativa < 3.5%. Diversas investigaciones han analizado la capacidad metabólica que tienen algunos de los géneros más abundantes encontrados en el presente estudio. El género *Streptomyces* ha sido documentado por su capacidad para resistir altas concentraciones de metaloides y metales pesados, incluidos As, Pb, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, U, Zn (Mosbah y Sahmoune, 2013). Por otra parte, *Bradyrhizobium* ha sido reportado como un género tolerante a Zn, Cu, Cd y Hg, además de presentar la capacidad de promoción del crecimiento vegetal en ambientes con altas concentraciones de metales pesados (Salmi y Boulila 2021).

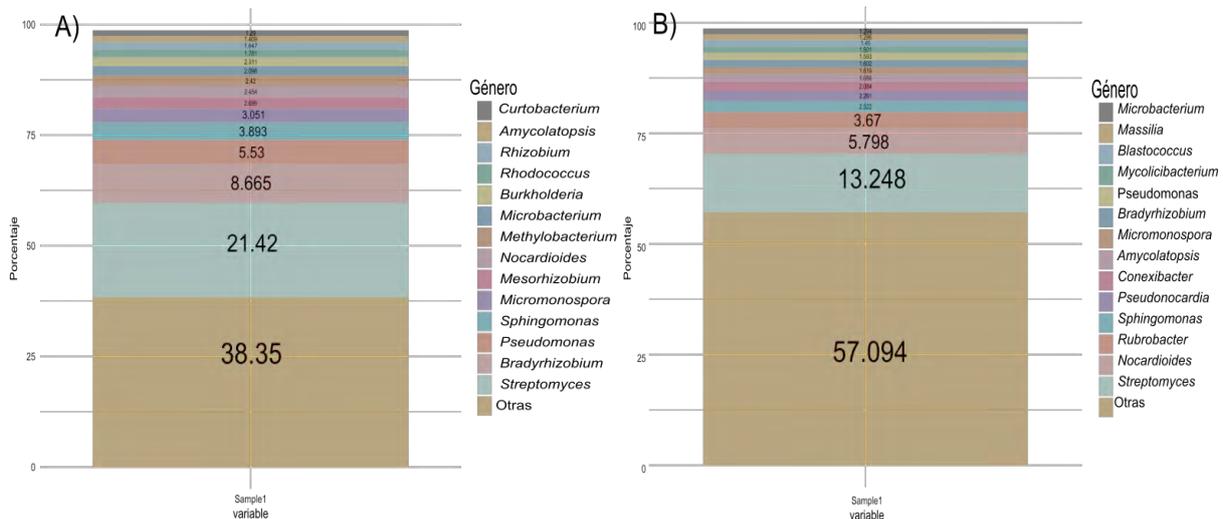


Figura 1. Gráficos de barras con la abundancia relativa de bacterias a nivel género de muestras de A) escorias de metales pesados y B) control.

Con respecto a la clasificación de arqueas (Figura 2), los principales géneros identificados en la muestra de escorias fueron *Halorubrum* (10.7%), seguido por *Halobaculum* (9.22%), *Haloplanus* (6.95%) y *Halomicroobium* (6.75%), así como otros 137 géneros < 6.7%; mientras que para el control fueron *Nitrosphoera* (9.78%), *Halorubrum* (9.29%), *Halobacterium* (6.02%), así como 129 géneros < 6.00%. Estos géneros pertenecen a arqueas halófilas extremas, las cuales se han demostrado experimentalmente como tolerantes a altas concentraciones de sales y otros factores estresantes como la presencia de metales pesados (Tavoosi *et al.*, 2023).

En el caso de los hongos (Figura 3), en la muestra de escorias se identificaron los géneros *Fusarium* (15.36%), *Aspergillus* (11.86%) y *Colletotrichum* (7.28%), seguido de 51 géneros con abundancias relativas < 6.35%. En el caso del control, se identificaron *Aspergillus* (14.51%), *Pyricularia* (10.68%), *Fusarium* (10.36%), *Thermothielavioides* (9.65%) y 37 géneros < 8.6% de abundancia relativa. Estos géneros fúngicos, además de ser resistentes a condiciones de estrés, se han reportado como potenciales agentes biorremediadores por su capacidad de producir exopolisacáridos y atrapar metales pesados para su posterior eliminación (Ghosal *et al.*, 2020).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

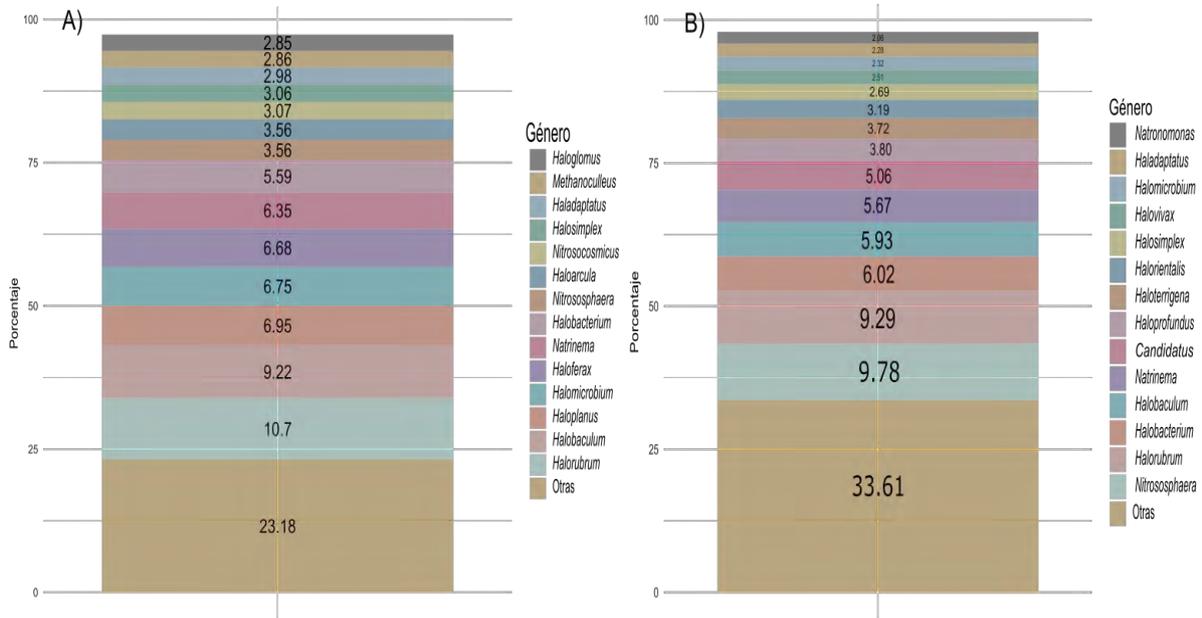


Figura 2. Gráficos de barras con la abundancia relativa de arqueas a nivel género de muestras de A) escorias de metales pesados y B) control.

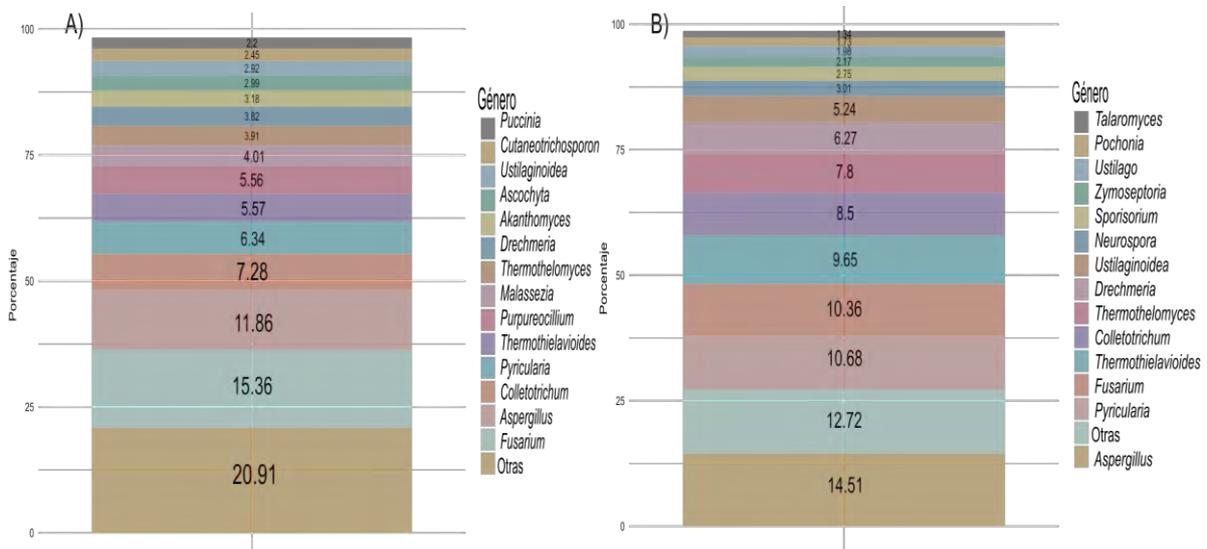


Figura 3. Gráficos de barras con la abundancia relativa de hongos a nivel género de muestras de A) escorias de metales pesados y B) control.

Diversidad alfa

En general, los índices de diversidad alfa fueron mayores en el suelo de escorias de metales pesados, mostrando una mayor riqueza, diversidad y dominancia de especies (Cuadro 1).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cuadro 1. Análisis de diversidad alfa.

Muestra	Chao1	Shannon	Simpson
Suelo con escorias	17,123.81	5.62	0.97
Control	10,813.51	5.32	0.96

Finalmente, se observan las características fisicoquímicas de ambas muestras, así como las concentraciones de metales pesados (Cuadro 2). Los resultados muestran que las concentraciones de As, Pb y Cd son superiores a los establecidos por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Es importante destacar que las concentraciones fueron más bajas en el suelo de escorias de metales pesados, de donde fue analizado el suelo rizosférico.

Cuadro 2. Análisis fisicoquímicos y determinación de concentración de metaloides y metales pesados.

Muestra	pH	EC (mS cm ⁻¹)	MO (%)	Textura	As (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)
Suelo con escorias	7.14	1.78	1.3	Franco arenoso	172.92	1,495.03	57.77
Control	7.32	1.18	3.03	Limoso	320.01	7,516.46	325.38

EC = Conductividad eléctrica MO = Materia orgánica

CONCLUSIONES

El estudio metagenómico de los suelos contaminados por metales pesados en la ex fundidora de Ávalos, Chihuahua, permitió identificar una comunidad microbiana diversa, altamente adaptada a condiciones ambientales extremas. Los resultados evidenciaron que tanto bacterias, arqueas como hongos han desarrollado mecanismos específicos que les permiten sobrevivir y prosperar en ambientes con concentraciones elevadas de contaminantes. Entre los géneros más destacados se encuentran *Streptomyces*, *Bradyrhizobium*, *Halorubrum*, *Fusarium* y *Aspergillus*, organismos que no solo presentan resistencia a metales pesados, sino que también poseen un considerable potencial biotecnológico para su aplicación en estrategias de biorremediación. Este estudio proporciona una base sólida para futuras investigaciones enfocadas en la restauración de suelos contaminados mediante la utilización de estos microorganismos, lo que contribuye al desarrollo de enfoques más sostenibles en la recuperación de sitios impactados por la actividad industrial.

BIBLIOGRAFÍA

- Escobedo-Bautista, R. (2021). Remoción de arsénico en agua por medio de humedales construidos con sustrato de zeolita clinoptilolita y *Eleocharis macrostachya*. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Ghosal, D., Tarafder, M., & Datta, B. (2020). *Fusarium oxysporum* isolates showed varied benzimidazole fungicides sensitivity under low temperature and heavy metal stress. *Rhizosphere*, 15, 100227.
- Muñoz-Ramírez, Z. Y., González-Escobedo, R., Avila-Quezada, G. D., Ramírez-Sánchez, O., Higareda-Alvear, V. M., Zapata-Chávez, E., & Muñoz-Castellanos, L. N. (2024). Exploring microbial rhizosphere communities in asymptomatic and symptomatic apple trees using amplicon sequencing and shotgun metagenomics. *Agronomy*, 14(2), 357.
- Mosbah, R., & Sahmoune, M. (2013). Biosorption of heavy metals by *Streptomyces* species – an overview. *Central European Journal of Chemistry*, 11(9), 1412-1422.
- Rekadwad, B. N., & Warghane, A. J. (2024). Metagenomics for microbial degradation and detoxification of heavy metals. *Microbiome-Assisted Bioremediation* (pp. 129-137). Academic Press.
- Sales da Silva, I. G., Gomes de Almeida, F. C., Padilha da Rocha e Silva, N. M., Casazza, A. A., Converti, A., & Asfora Sarubbo, L. (2020). Soil bioremediation: Overview of technologies and trends. *Energies*, 13(18), 4664.
- Salmi, A., & Boulila, F. (2021). Heavy metals multi-tolerant *Bradyrhizobium* isolated from mercury mining region in Algeria. *Journal of Environmental Management*, 289, 112547.
- Tavoosi, N., Akhavan Sepahi, A., Amoozegar, M. A., & Kiarostami, V. (2023). Toxic heavy metal/oxyanion tolerance in haloarchaea from some saline and hypersaline ecosystems. *Journal of Basic Microbiology*, 63(5), 558-569.

NANOPARTÍCULAS DE SiO_2 COMO INDUCTORAS DE TOLERANCIA AL ESTRÉS ABIÓTICO

Ileana Vera-Reyes^{1*}; Luis A. Garcia-Cerda²; Luis A. Valdes-Aguilar³

¹Departamento de Biociencias y Agrotecnología, Centro de Investigación en Química Aplicada. Blvd. Enrique Reyna Hermosillo 140, Col. San José de los Cerritos C.P. 25294, Saltillo, Coah.

²Departamento de Materiales Avanzados, Centro de Investigación en Química Aplicada. Blvd. Enrique Reyna Hermosillo 140, Col. San José de los Cerritos C.P. 25294, Saltillo, Coah.

³Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, alzada Antonio Narro 1923, Buenavista. 25315 Saltillo, Coahuila, México.

RESUMEN

El cambio climático y el estrés abiótico asociado a este como sequías, inundaciones, salinidad, temperaturas extremas y la deficiencia de nutrientes representan una amenaza importante para la productividad agrícola y la seguridad alimentaria en todo el mundo. Las nanopartículas de dióxido de silicio (NPSi) son cruciales para mitigar el estrés abiótico que sufren las plantas en condiciones ambientales desfavorables y promover aún más el crecimiento de las plantas, como la sequía. Este estudio tuvo como objetivo investigar el efecto de diferentes concentraciones de NPSi y NPSi-ZnO en el crecimiento de las plántulas de maíz, bajo estrés de sequía severo (contenido de agua en el suelo, 30). El tratamiento se inició rociando diferentes concentraciones de NPs en plántulas de NPs, el tratamiento con NPSi-Zn (200 ppm) indujo un crecimiento radicular, mientras que las NPSi en todos los tratamientos incrementaron la altura y diámetro de tallo, esto acompañado de un incremento en peróxido de hidrógeno y la inducción de la actividad de las enzimas antioxidantes. Este estudio reveló que la síntesis combinada de estos nanomateriales nos induce la tolerancia al estrés por sequía realizando un efecto sinérgico entre estos materiales.

PALABRAS CLAVE

Agronotecnología; Bioestimulantes; Crecimiento; Estrés hídrico; Nanomateriales.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático y el estrés abiótico asociado a este como sequías, inundaciones, salinidad, temperaturas extremas y la deficiencia de nutrientes representan una amenaza importante para la productividad agrícola y la seguridad alimentaria en todo el mundo (Di Benedetto *et al.*, 2017). La sequía se encuentra entre el estrés abiótico más destructivo, debido a la menor productividad, por lo que actualmente se están realizando investigación y desarrollo a nivel mundial para mejorar la tolerancia a la sequía en los cultivos. Dichos esfuerzos incluyen la selección de variedades tolerantes a la sequía utilizando enfoques biotecnológicos o de mejoramiento convencional, cambiando los calendarios de cultivos y mejorando las prácticas de manejo de recursos, así como utilizando nanotecnología (Muhammad *et al.*, 2022; Sahoo *et al.*, 2020).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

La sequía restringe la fotosíntesis tanto por limitaciones en las estomas o por limitaciones bioquímicas. El cierre de las estomas incorpora señales hormonales desde las raíces que involucra la acumulación de ácido abscísico en la corriente del xilema (Muhammad *et al.* 2022).

La nanotecnología (NT) se considera una herramienta prometedora para mejorar el rendimiento de cultivos a fin de superar las limitaciones actuales y futuras de la producción agrícola mediante la inducción de mecanismos de tolerancias de las plantas en condiciones de estrés abiótico, incluida la sequía. Las nanopartículas (NP) exhiben efectos de alivio contra el estrés por sequía a través de la inducción de señales bioquímicas que la modulan de la expresión génica involucrada en la respuesta/tolerancia a la sequía. Mejorando el crecimiento de las raíces, la inducción de la expresión de acuaporinas, la acumulación de solutos compatibles y la homeostasis iónica para mitigar el estrés osmótico causado por el déficit hídrico (Kandhol *et al.*, 2022). Las NP reducen la pérdida de agua de las hojas a través del cierre de estomas debido a la acumulación de ABA, y ayudan a proteger a la planta del daño por estrés oxidativo al activar el sistema de defensa antioxidante (Du *et al.*, 2017; Heikal *et al.*, 2022).

El Si se considera una sustancia beneficiosa, debido a que además de mejorar el rendimiento, aumenta la resistencia a condiciones de estrés biótico y abiótico (Salim *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2022). La silica tiene dos procesos clave en la contribución a la resistencia al estrés: 1) protección física y mecánica de los depósitos de Si en la pared celular, lo que reduce la conductancia estomática y la transpiración de las hojas; 2) Señalización bioquímica que causa cambios metabólicos (Suriyaprabha *et al.*, 2012). En condiciones de estrés, la aplicación de nano-silicio (NPSi) mejora la absorción y el transporte de este elemento en las plantas, el efecto de las NPSi sobre el estrés de las plantas está relacionado con las propiedades físicas y químicas (p. ej., el tamaño de las partículas y la carga superficial) de los estas, el suelo y el tipo de estrés (Wang *et al.*, 2022). Mientras las nanopartículas de ZnO (NPZnO) han demostrado inducir tolerancia al estrés por sequía mediante la de factores de transcripción (TF) de genes implicados en reducir y/o proteger el daño por estrés celular (Sun *et al.*, 2021). Por lo anterior, el objetivo de este estudio es investigar el efecto combinado de las nanopartículas de SiO₂ y modificadas con ZnO en plantas de maíz bajo estrés por déficit hídrico; para comprender los mecanismos involucrados con la tolerancia al estrés inducida por estos tratamientos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Síntesis y caracterización de nanopartículas de SiO₂. Las nanopartículas de SiO₂-ZnO (100:1.5 en peso) se prepararán por el método de sol-gel utilizando ortosilicato de tetraetilo (TEOS, 98%) como precursor para el SiO₂ y nitrato de zinc [Zn(NO₃)₂] como fuente para el ZnO. Las NPSi se caracterizaron por difracción de rayos X (XRD).

Evaluación de las NPSi-ZnO bajo condiciones de riego deficitario. El experimento se realizó en un invernadero de media tecnología, se utilizaron semillas maíz. Las se irrigaron con el 70% de la capacidad total de retención de agua del suelo.

Se fertilizó con NPK en la dosis recomendada para el cultivo. Las soluciones del complejo NPSi-ZnO se aplicarán foliarmente en una solución de Tween-80 (0.01%) después de 2 semanas de germinación colocando y cubriendo el suelo para evitar el

depósito de las NP al suelo. En total, se realizarán cuatro aplicaciones foliares con 1 semana de intervalo entre cada aplicación. El estrés por limitación de agua se iniciará cuando las plantas tengan 6 semanas de edad. Para ello, las macetas de cada tratamiento se separarán en dos grupos y un grupo se regó con riego normal (70% WHC) y el otro grupo se regará con suministro de agua limitado (35% WHC) y estos regímenes se mantendrán durante el resto de la duración del crecimiento, pesando las macetas dos veces por semana (Adrees, *et al.* 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestra el patrón de Patrón de difracción de rayos X de nanopartículas de SiO_2 y $\text{SiO}_2\text{-ZnO}$, con dos porcentajes de ZnO 1.5% y 3%. Se observaron picos de difracción intensos de las nanopartículas de SiO_2 en $2\theta = 36,01^\circ$, $32,11^\circ$, $46,10^\circ$ y $57,13^\circ$. Los picos de difracción informados fueron similares a los de Goswami y Mathur (2022) que confirmaron la estructura cristalográfica de las nanopartículas de SiO_2 . La cantidad de ZnO es pequeña que no puede ser con respecto a la proporción de zinc por lo cual no puede ser detectada. Sin embargo, se cuantifico la proporción de Zn en la partícula por ICP-ESI, donde los resultados mostraron que las $\text{SiO}_2\text{-ZnO}$ 1.5% contiene 20.01 mg/kg, mientras que las $\text{SiO}_2\text{-ZnO}$ 3% 37.68 kg/mg. Con lo que se comprueba que si existe la proporción adicionada en el proceso de síntesis.

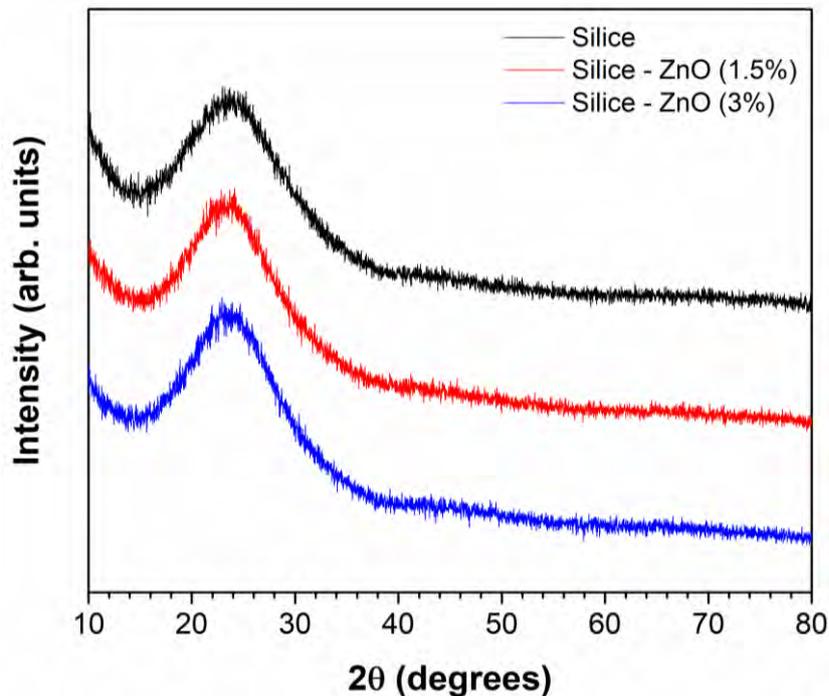


Figura 1. Patrón de difracción de rayos X de nanopartículas de SiO_2 y $\text{SiO}_2\text{-ZnO}$.

La evaluación de las NP en el crecimiento y desarrollo de plantas de maíz bajo estrés por sequía, se muestran en la figura 2. Las plantas bajo tratamiento de 50 ppm fueron las más altas comparadas con el control, incrementando 1.2 veces su tamaño (figura 2a), sin haber diferencias significativas entre NP. Por otro lado, todas las plantas tratadas con las NP mostraron un incremento en el diámetro de tallo, siendo el tratamiento de

NP-Si las que mostraron un valor numérico más elevado que los demás tratamientos incrementando 1.2 veces aproximadamente su grosor (figura 2b). Aunque que parece que el Zn no tiene un efecto aparente en la planta, el efecto se vio en el crecimiento radicular al incrementar 4 veces el peso seco de las raíces a una dosis de 200 ppm (Figura 2c).

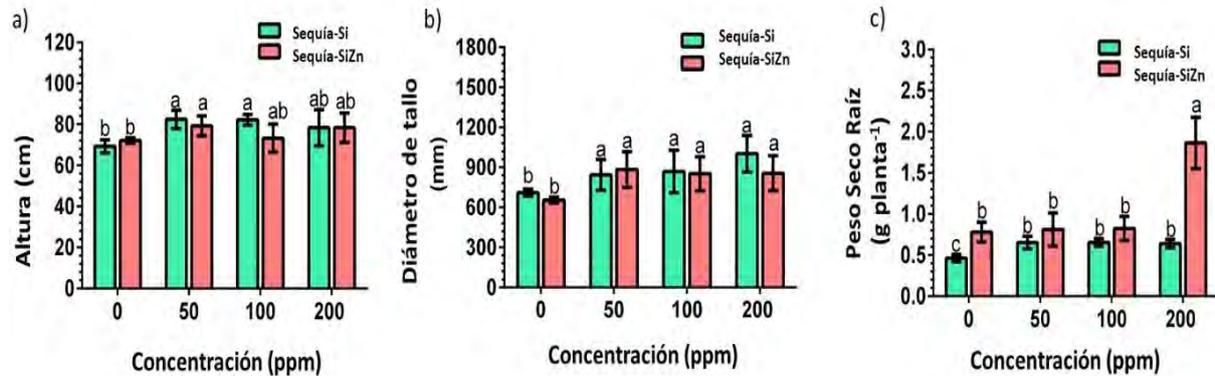


Figura 2. Efecto de NPSi y NPSi-ZnO en el crecimiento y desarrollo de plantas de frijol bajos estrés hídrico. A) Altura de la planta; B) diámetro de tallo; C) Peso seco de la raíz.

En general, los resultados revelaron que la longitud de la raíz y la altura aumentaron ligeramente en concentraciones en las concentraciones evaluadas de NPSi, mientras que las que contenían Zn, los cambios se observaron en el crecimiento radicular que se observa en el peso seco de la biomasa a concentraciones de 200 ppm. Estos resultados coinciden por lo reportado por Goswami y Mathur, (2022), quienes al aplicar NPSiO₂ a *Eruca sativa* incrementó la longitud de la raíz y altura de las plantas, a su vez modificó la fisiología y su capacidad de inhibición de fitopatógenos. Análisis fisiológicos, transcriptómicos y metabolómicos demostraron que las nanopartículas de SiO₂ pueden mejorar la tolerancia a la sequía de las plántulas de *E. macrophylla* al inhibir la acumulación de MDA y H₂O₂ y mejorar aún más la actividad de las enzimas antioxidantes, activando con la expresión de genes relacionados con LOX, otros relacionados con el estado redox y la actividad de enzimas antioxidantes para reducir el daño de ROS. Además de mejorar el crecimiento de las plántulas al controlar genes importantes en la vía de transducción de señales de auxina MAPK y el metabolismo de ácidos grasos y ácidos α -linolénicos (Cheng *et al.*, 2024).

CONCLUSIONES

Este estudio reveló que la aplicación de nanopartículas de SiO₂-Zn mejoran la tolerancia a la sequía del maíz, brindando una referencia teórica para el estudio de este nanomaterial en otras especies sometidas a estrés abiótico.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Proyecto interno de CIQA 6757, y al personal que apoyo al proyecto Fátima Grajales-Sarabia, Yolanda Ortega-Ortega y Adolfo Baylon Palomino.

BIBLIOGRAFÍA

- Adrees, M., Khan, Z. S., Ali, S., Hafeez, M., Khalid, S., ur Rehman, M. Z., Hussain A., Hussain K., Shahid Chatha S.A., & Rizwan, M. (2020). Simultaneous mitigation of cadmium and drought stress in wheat by soil application of iron nanoparticles. *Chemosphere*, 238, 124681.
- Benedetto, N. A., Corbo, M. R., Campaniello, D., Cataldi, M. P., Bevilacqua, A., Sinigaglia, M., & Flagella, Z. (2017). The role of plant growth promoting bacteria in improving nitrogen use efficiency for sustainable crop production: a focus on wheat. *AIMS microbiology*, 3(3), 413.
- Du, W., Tan, W., Peralta-Videoa, J. R., Gardea-Torresdey, J. L., Ji, R., Yin, Y., Guo, H. (2017). Interaction of metal oxide nanoparticles with higher terrestrial plants: physiological and biochemical aspects. *Plant Physiology and Biochemistry*, 110, 210-225.
- Chen M, Jiao S-q, Xie L, Geng X, Qi S, Fan J, Cheng S, Shi J and Cao X (2024) Integrated physiological, transcriptomic, and metabolomic analyses of drought stress alleviation in *Ehretia macrophylla* Wall. seedlings by SiO₂ NPs (silica nanoparticles). *Front. Plant Sci.* 15:1260140. doi: 10.3389/fpls.2024.1260140
- Goswami, P., & Mathur, J. (2022). Application of agro-waste-mediated silica nanoparticles to sustainable agriculture. *Bioresources and Bioprocessing*, 9(1), 9.
- Heikal, Y. M., El-Esawi, M. A., El-Ballat, E. M., Abdel-Aziz, H. M. (2022). Applications of nanoparticles for mitigating salinity and drought stress in plants: an overview on the physiological, biochemical, and molecular genetic aspects. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 1-31.
- Kandhol, N., Jain, M., & Tripathi, D. K. (2022). Nanoparticles as potential hallmarks of drought stress tolerance in plants. *Physiologia Plantarum*, 174(2), e13665.
- Muhammad Usman, Anjala Ayoub, Ghulam Mustafa, Kaynat Rasheed, Muhammad Kashif Nadeem, Huda Ashfaq, Muhammad Usman Shahid, Mafia Parveen. (2022). Nanotechnology: A New Technology in Insect and Disease Control. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, 26(01), 1605-1615. Retrieved from <https://annalsofrscb.ro/index.php/journal/article/view/11088>.
- Sahoo, B., Rath, S.K., Mahanta, S.K., Arakha, M. (2022). Nanotechnology Mediated Detection and Control of Phytopathogens. In: Arakha, M., Pradhan, A.K., Jha, S. (eds) *Bio-Nano Interface*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-2516-9_7.
- Salim, B. B. M., Abou El-Yazied, A., Salama, Y. A. M., Raza, A., Osman, H. S. (2021). Impact of silicon foliar application in enhancing antioxidants, growth, flowering and yield of squash plants under deficit irrigation condition. *Annals of Agricultural Sciences*, 66(2), 176-183.
- Wang, L., Ning, C., Pan, T., Cai, K. (2022). Role of Silica Nanoparticles in Abiotic and Biotic Stress Tolerance in Plants: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4), 1947.
- Zhang, Z., Jatana, B. S., Campbell, B. J., Gill, J., Suseela, V., Tharayil, N. (2022). Cross-inoculation of rhizobiome from a congeneric ruderal plant imparts drought tolerance in maize (*Zea mays*) through changes in root morphology and proteome. *The Plant Journal*, 111(1), 54-71.

MICROENCAPSULACIÓN DE UN CONSORCIO DE BACTERIAS *Streptomyces* PROMOTORAS DE CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE PAPAYA Y CHILE HABANERO

Élida Gastélum Martínez; Rosa Alejandra Cruz Córdoba;
Frida García Sarmiento; Dania Pulido Bautista; Alberto Uc Vázquez;
Zahaed Evangelista Martínez

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco –
Subsede Sureste, Km 5.5 Carretera Sierra Papacal-Chuburná Puerto, Mérida,
Yucatán, México. zevangelista@ciatej.mx

RESUMEN

La salud del suelo es crucial para la seguridad alimentaria, en este sentido es evidente buscar estrategias que ayuden a mantenerla, recuperarla y fortalecerla. El uso de bioinoculantes no solo mejora la salud del suelo, sino que aumenta la resistencia de los cultivos a los microorganismos patógenos promoviendo una agricultura sostenible. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la microencapsulación de un bioinoculante elaborado con cepas de *Streptomyces spp.*, en el crecimiento de plántulas de papaya maradol y chile habanero. Se probaron dos combinaciones de maltodextrina y alginato como matrices poliméricas protectoras de los microorganismos durante el secado por aspersión (P1 y P2). Estas formulaciones de bioinoculantes se aplicaron en dos dosis (T0 y T7 días) y el crecimiento de las plántulas se mantuvo durante 35 días. Posteriormente se determinó la tasa de crecimiento, contenido de clorofila a, b y total, contenido de carotenoides y fortaleza del tallo. Los resultados mostraron que la aplicación de las bacterias *Streptomyces* utilizadas como bioinoculante no ejercieron un efecto negativo sobre el crecimiento de las plantas. En segundo lugar, el bioinoculante con el consorcio de bacterias *Streptomyces* generó que las plántulas aumentaran su contenido de las clorofilas y carotenoides. El consorcio de bacterias P2 les dio a los tallos de las plántulas una mayor resistencia al daño mecánico. Análisis complementarios durante un periodo más amplio deben realizarse para validar las evidencias observadas y estimar el impacto a mayor escala.

PALABRAS CLAVE

Bacterias PPGR; Consorcio; Secado por aspersión; *Streptomyces*.

INTRODUCCIÓN

La salud del suelo es fundamental para la seguridad alimentaria, y forma parte de los objetivos buscados en la agenda de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. Un suelo fértil y bien estructurado proporciona los nutrientes esenciales, el agua y el soporte necesario para el crecimiento de las plantas. Prácticas agrícolas insostenibles y otros factores de degradación amenazan su capacidad de producir alimentos suficientes y de calidad (Salinas 2024). El uso de microorganismos benéficos como bioinoculantes es una estrategia prometedora para mejorar la salud del suelo y, por

ende, la seguridad alimentaria (Singh *et al.*, 2024). Esto gracias a que pueden aumentar la disponibilidad de nutrientes, mejorar la estructura del suelo, promover el crecimiento de las plantas, aumentar la resistencia de los cultivos a enfermedades y estrés ambiental, entre otros, lo que resulta en rendimientos más altos y sostenibles (Dhaiguide *et al.*, 2024; Kundu *et al.*, 2024). La integración de bioinoculantes en las prácticas agrícolas representa un avance en la implementación de una agricultura resiliente y sostenible. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la microencapsulación de un consorcio de bacterias *Streptomyces* spp., en el crecimiento de plántulas de papaya maradol roja (*Carica papaya*) y chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.); para lo cual se probaron 2 concentraciones de maltodextrina y alginato como protectores de los microorganismos en la preparación del bioinoculante por medio de secado por aspersión.

MATERIALES Y MÉTODOS

El bioinoculante empleado se elaboró con un consorcio de bacterias *Streptomyces* conformado por las cepas 1.1HGO, 1.3 HGO, CACIA-1.16CA, CACIS-2.17CA y AGS-58 (Evangelista-Martínez 2014a; Evangelista-Martínez 2014b; Evangelista-Martínez *et al.*, 2018). Cada cepa se inoculó en arroz integral durante 2 semanas a 29 °C y 60-70 % de humedad. Las esporas se recuperaron para formar una suspensión que se mezcló con mezclas de maltodextrina:alginato a 2 concentraciones diferentes de cada polímero: P1) 7.5 y 2.5 % (w/v) y P2) 9.5 y 0.5 % (w/v), respectivamente. Las formulaciones se secaron por aspersión a una temperatura de entrada de 120 °C y 80 °C de salida, una velocidad de alimentación de 10-12 ml/min y una presión de 3 bares.

El material vegetal empleado se obtuvo de la germinación de semillas de *Carica papaya* maradol roja y *Capsicum chinense* Jacq. (Marca: Semillas del Caribe). Las formulaciones P1 y P2 se aplicaron durante las dos primeras semanas a una concentración de 1×10^6 UFC/ml/plántula para evaluar su efecto en el crecimiento. Se determinó la tasa de crecimiento a diferentes tiempos. El tratamiento control únicamente consistió en la aplicación de agua. El riego se mantuvo a libre demanda y las plántulas se mantuvieron en un invernadero.

Después de 35 días de tratamiento, las raíces se pesaron por separado de las hojas y tallos para determinación de peso fresco. Luego se secaron a 65 °C por 48 h para determinación de peso seco. La cuantificación de clorofila (a, b y total) y carotenoides se realizó con el método de Strickland y Parsons (1972) y Jeffrey y Humphrey (1975) con modificaciones. 0.5 g de hojas se maceraron en mortero con 3 ml de etanol al 96 %, se adicionaron 2 ml extra de etanol y el macerado se centrifugó a 4,700 rpm, 5 min, 4 °C. El sobrenadante se aforó a 10 ml con etanol al 96 % y se resguardó en frascos ámbar. Las muestras se leyeron a 480 y 510 nm para cuantificación de carotenoides y 645, 663 y 652 nm para cuantificación de clorofila a, b y total, respectivamente. La resistencia del tallo se evaluó mediante medición de dureza con un texturómetro Shimadzu EZ-SX. Los tallos se sometieron a un ciclo de compresión descendente con una cuchilla que indujo un corte en el primer entrenudo, se usó una velocidad de 8 mm/s y un límite de desplazamiento de 15 mm/s. El software Trapezium X, V. 1.4.0, 2013 muestra curvas de fuerza en función del desplazamiento de la cuchilla, por lo que la resistencia del tallo se expresa como la fuerza máxima (N) detectada durante el desplazamiento de la cuchilla al cortar el tallo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el periodo de evaluación, se midió el crecimiento de las plántulas de papaya y chile habanero para determinar su tasa de crecimiento. Para ambas plantas, hasta los 35 días de crecimiento no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento control respecto a las plántulas inoculadas con P1 y P2 (Figura 1A-B).

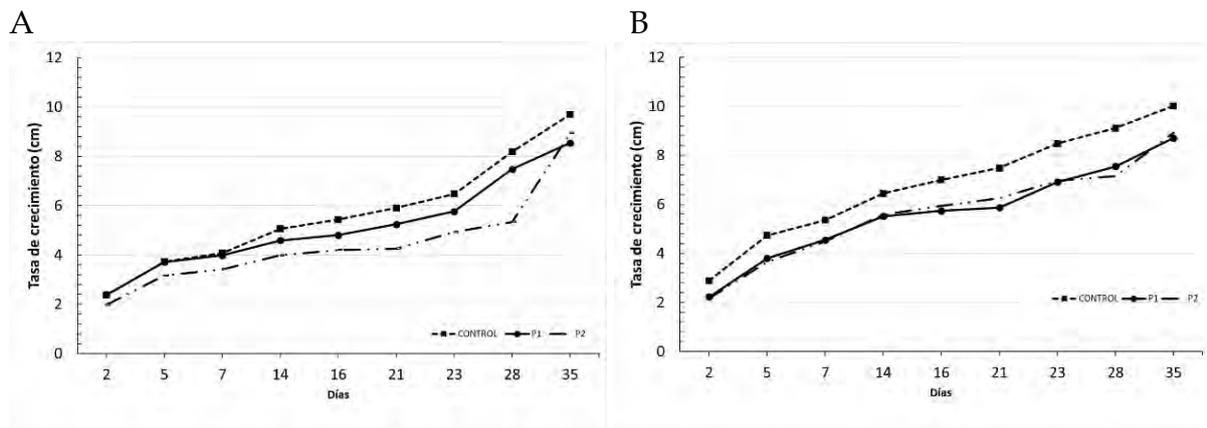


Figura 1. Tasa de crecimiento de plántulas inoculadas con P1 (bioinoculante encapsulado con 7.5 % maltodextrina + 2.5 % alginato), P2 (bioinoculante encapsulado 9.5 % maltodextrina + 0.5 % alginato) y Control (sin bioinoculante). A. Plántulas de *Carica papaya*. B. Plántulas de *Capsicum chinense* Jacq.

Los resultados de la cuantificación de clorofila a, b y totales se muestran en la Figura 2 para plántulas de papaya (Figura 1-A) y chile habanero (Figura 1-B). En la Figura 1-A se observa que el contenido de clorofila a fue mayor en las plántulas inoculadas con P1 y P2 (0.13 ± 0.06 y 0.17 ± 0.07 mg/g) con respecto al control (0.111 ± 0.06 mg/g). La clorofila b y total cuantificada en plántulas inoculadas con P1 presentó valores menores (0.05 ± 0.03 y 0.17 ± 0.10 , respectivamente) que las inoculadas con P2 y control (0.12 ± 0.11 y 0.12 ± 0.14 mg/g para clorofila b; 0.27 ± 0.19 y 0.26 ± 0.17 mg/g para clorofila total). Este comportamiento es diferente en las plántulas de chile habanero, donde se observa que las plántulas inoculadas con P1 y P2 tuvieron mayor concentración de clorofila b (0.43 ± 0.06 y 0.42 ± 0.11 mg/g, respectivamente) con respecto al control (0.25 ± 0.08 mg/g), no así para la clorofila a y total (Figura 1-B).

La cuantificación de carotenoides en las plántulas de papaya inoculadas con P1 (8.83 ± 1.35 mg/g) y P2 (10.11 ± 1.51 mg/g) no mostraron incremento con respecto al control (10.81 ± 1.43 mg/g). Mientras que, para chile habanero, las plántulas que recibieron el inoculante P1 (20.97 ± 3.78 mg/g) presentaron mayores valores con respecto al control (18.15 ± 3.98 mg/g) y P2 (16.80 ± 3.85 mg/g), respectivamente (Figura 3).

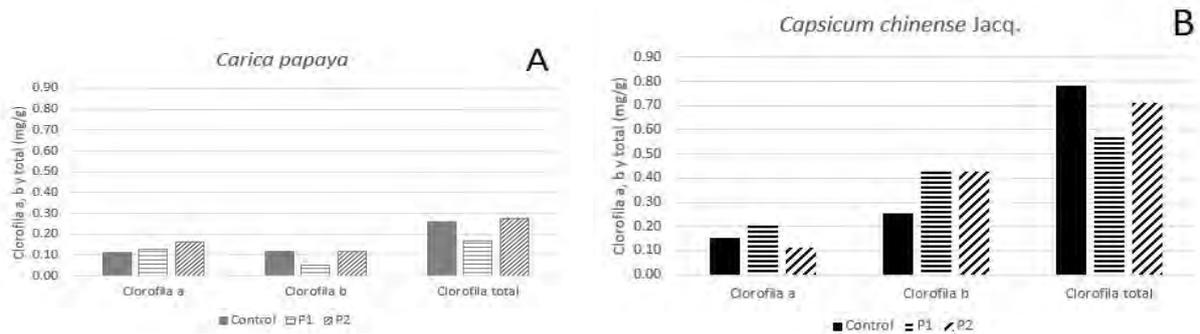


Figura 2. Cuantificación de clorofila a, b y total en plantas inoculadas con P1 (bioinoculante encapsulado con 7.5% maltodextrina + 2.5% alginato), P2 (bioinoculante encapsulado 9.5% maltodextrina + 0.5 % alginato) y Control (sin bioinoculante). A. Plántulas de *Carica papaya*. B. Plántulas de *Capsicum chinense* Jacq.

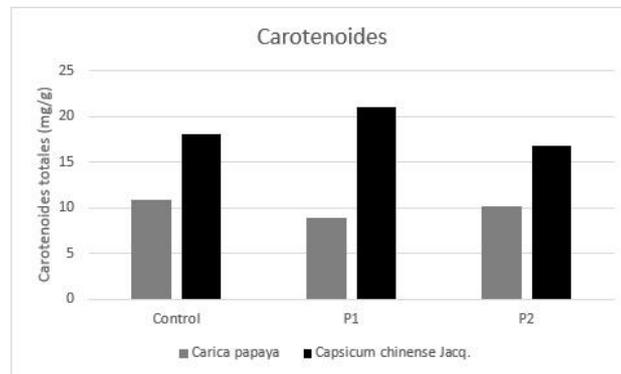


Figura 3. Cuantificación de carotenoides en plantas de *Carica papaya* y *Capsicum chinense* Jacq inoculadas con P1 y P2. Control (sin bioinoculante).

Con respecto a la dureza del tallo de las plántulas a los 35 días de crecimiento, se observó que la inclusión del inoculante P2 aumentó la dureza del tallo 13.24 % con respecto al control en plántulas de papaya, mientras en chile habanero P1 incrementó la dureza un 54.27 % y P2 un 24.08 % con respecto al control (Figura 4).

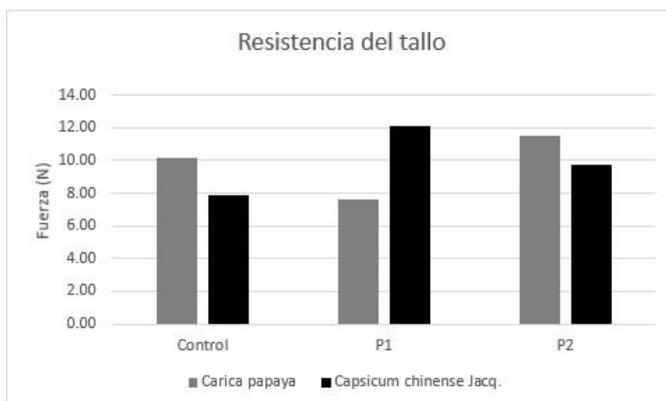


Figura 4. Resistencia del tallo de plantas de *Carica papaya* y *Capsicum chinense* Jacq. inoculadas con P1 (bioinoculante encapsulado con 7.5 % maltodextrina + 2.5 % alginato), P2 (bioinoculante encapsulado 9.5 % maltodextrina + 0.5 % alginato) y Control (sin bioinoculante).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

CONCLUSIONES

El secado por aspersión como método de microencapsulación para formulación de un bioinoculante a base de las bacterias *Streptomyces* mostró tener efecto positivo en el crecimiento de papaya y chile habanero. En necesario repetir el experimento incluyendo determinación de más parámetros de crecimiento, así como incrementar el periodo de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Fondo de Cooperación Bilateral México - Uruguay, AMEXCID - AUCI. Proyecto Ciencia de Frontera No. 320612.

BIBLIOGRAFÍA

- Dhaigude, V., Chaudhary, A., Gore, P., Kaur, J., Ghosh, A., Aravindharajan, S. T. M., Bhandari, G., Upadhayay, V. G. & Abou Fayssal, S. A. (2024). Microbial Inoculants for Improved Soil Nutrient Accessibility and Maintenance of Soil Fertility. In *Microbial Inoculants: Applications for Sustainable Agriculture* (pp. 281-301). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Evangelista-Martínez, Z. (2014a). Isolation of soil actinomycete species from a mesophyll mountain forest and their potential to antagonize fungal pathogens. *British Microbiology Research Journal*. 4:272-281.
- Evangelista-Martínez, Z. (2014b). Isolation and characterization of soil *Streptomyces* species as a potential biological control agent against fungal plant pathogens. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 30:1639-1647
- Jeffrey, S. W., & Humphrey, G. F. (1975). New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen (BPP)*, 167(2), 191-194.
- Kundu, M., Sarkar, M., Bisht, T. S., & Chakraborty, B. (2024). Bioinoculants: a sustainable tool for enhancement of productivity and nutritional quality in horticultural crops. In *Bio-Inoculants in Horticultural Crops* (pp. 373-408). Woodhead Publishing.
- Salinas Becerra, F. (2024). Predicción de la degradación del suelo en México a partir de un modelo factorial, 2022.
- Singh, R., Kaur, S., Bhullar, S. S., Singh, H., & Sharma, L. K. (2024). Bacterial biostimulants for climate smart agriculture practices: Mode of action, effect on plant growth and roadmap for commercial products. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*, 3(1), e12085.
- Strickland, J. D. H., & Parsons, T. R. (1972). *A practical handbook of seawater analysis* (2nd ed.). Fisheries Research Board of Canada.

IMPACTO DEL MICROBIOMA RIZOSFÉRICO EN LA SALUD DE VIDES SANAS Y CON CÁNCER FÚNGICO EN CHIHUAHUA

Debanih I. Chávez-Santillán^{1*}; Zilia Y. Muñoz-Ramírez¹; Erika Salas-Muñoz¹;
Laila N. Muñoz-Castellanos¹

¹ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Circuito Universitario, Campus UACH II, 31125 Chihuahua, Chih. México. Correspondencia: *p311226@uach.mx

RESUMEN

Los microorganismos rizosféricos son componentes clave en la salud del suelo y en la eficiencia de los sistemas agrícolas. Su estudio, aunque ha sido limitado por métodos tradicionales de cultivo, ha avanzado gracias a herramientas como la bioinformática que permiten la recuperación de secuencias genómicas independientemente del cultivo. Este estudio abordó la caracterización comparativa y determinación de las diversidades α y β del microbioma rizosférico en vides sanas y enfermas por patógenos fúngicos que afectan la madera de la vid en el Estado de Chihuahua, México, con el fin de determinar la diferencia entre el microbioma rizosférico de plantas de condición saludable y enfermas. Para ello, se recolectaron 6 muestras de suelo de vides en ambas condiciones, en dos zonas Winkler, seguido de la extracción de ADN y la secuenciación del gen 16S rRNA mediante la tecnología Illumina. Los análisis revelaron una predominancia del género *Pseudomonas* en las vides sanas, mientras que en las plantas enfermas se detectó un incremento de géneros como *Streptomyces*, *Nocardioides* y *Bacillus*. Estos hallazgos sugieren una posible correlación entre las alteraciones en la comunidad microbiana y la presencia de agentes fúngicos.

PALABRAS CLAVE

Ecología microbiana; Fitopatología; Interacciones microorganismo-planta; 16S RNA.

INTRODUCCIÓN

La salud de las vides está relacionada con la presencia de microorganismos beneficiosos en su rizosfera. Se ha observado que las vides afectadas por enfermedades presentan una disminución en la diversidad microbiana, lo que sugiere una correlación con la pérdida de especies beneficiosas. En México, las condiciones pedoclimáticas propician la vitivinicultura, sector que ha ganado prominencia Chihuahua en los últimos años. Dada la significativa importancia económica de la viticultura, es importante desarrollar estrategias eficaces para la prevención y manejo de enfermedades que aseguren la sostenibilidad y competitividad del sector. La meta es informar estrategias que refuercen la industria enológica nacional, siguiendo las directrices de organismos como SAGARPA (2016) y alineándose con las tendencias investigativas internacionales (Yang *et al.*, 2021).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolectaron 6 muestras de suelo rizosférico de vides, de las cuales tres pertenecen a condiciones saludables como enfermas, de dos zonas Winkler de

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Chihuahua, México (28°04'38.3" N 105°25'03.7" W y 28°20'46.8" N 106°22'10.7" W). La extracción de ADN se efectuó utilizando el Kit de purificación de ADN de microbioma PureLink™. El ADN fue enviado a Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., en donde llevaron la secuenciación del gen 16S *rRNA* utilizando Illumina. Las lecturas se procesaron con QIIME2, donde se utilizó DADA2 para el control de calidad y la obtención de secuencias exactas de variantes (ASVs). Se evaluó la diversidad α mediante los índices Chao1, Shannon, Simpson y equitatividad, además se realizó una prueba de Kruskal-Wallis. Para la diversidad β , se emplearon las matrices de distancias de Bray-Curtis y UniFrac ponderado. Con los resultados obtenidos, se realizó una prueba de ANOSIM (González-Escobedo *et al.*, 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizaron 6 muestras de suelo rizosférico de vides sanas y enfermas, identificándose un total de 189 especies bacterianas.

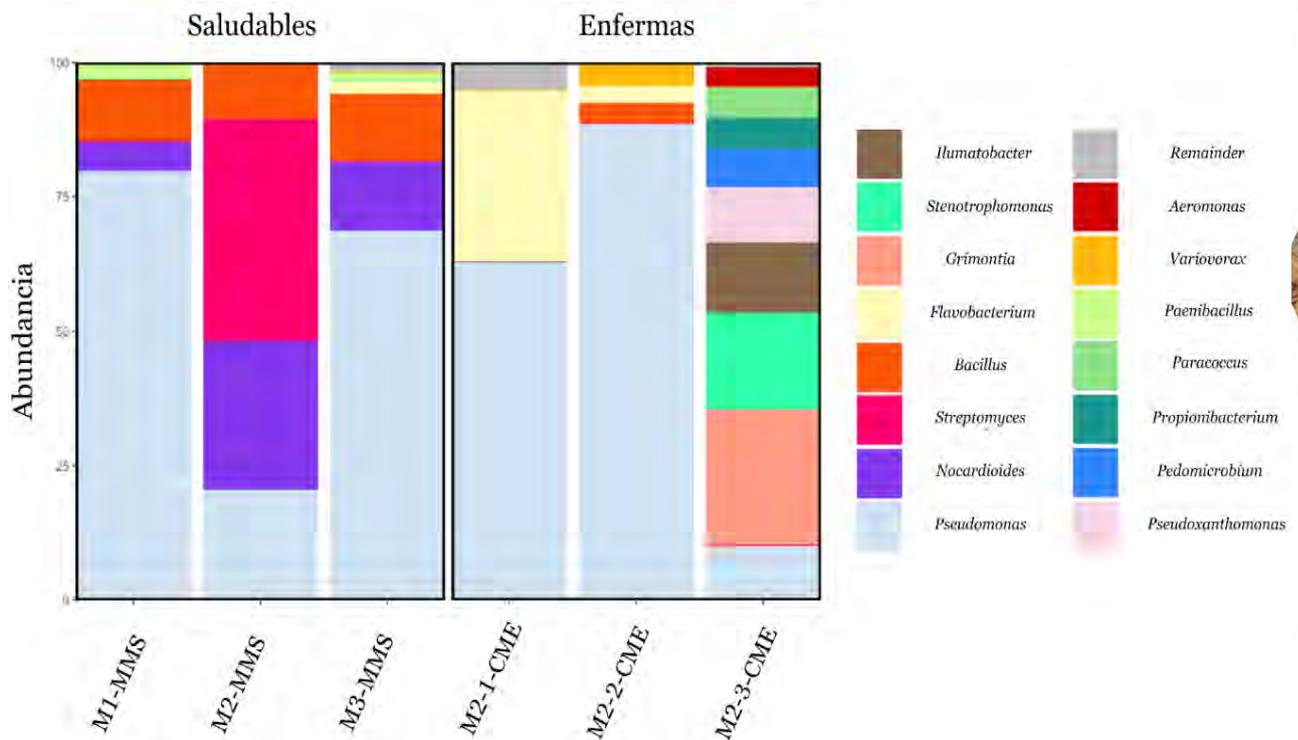


Figura 1. Barplot de géneros bacterianos en vides sanas y enfermas.

En las vides sanas, el género *Pseudomonas* fue predominante, representando el 60.85% del microbioma, seguido por *Flavobacterium* (17.28%), *Grimontia* (4.71%), *Stenotrophomonas* (3.33%) e *Ilumatobacter* (2.50%). En cambio, en las vides enfermas, *Pseudomonas* continuó siendo el género más abundante (52.49%), pero con una mayor presencia de *Streptomyces* (16.73%), *Nocardioides* (16.70%) y *Bacillus* (11.52%).

El estudio de Pacifico *et al.* (2019) reportó la identificación de 11 cepas bacterianas de géneros variados como *Bacillus*, *Nocardioides* y *Stenotrophomonas*, aisladas de viñedos de la uva Corvina, las cuales demostraron actividad antifúngica in vitro contra *Botrytis cinerea*, agente causante de la podredumbre gris en las vides. Por otro lado, Saccà *et al.* (2019) destacaron la función de *Flavobacterium* como promotor del crecimiento vegetal, no solo en vides sino también en otros cultivos. También

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

subrayaron que cepas de *Streptomyces* pueden reducir significativamente la incidencia de infecciones por patógenos fúngicos causantes de enfermedades del tronco de la vid, incluyendo *Dactylonectria* sp., *Ilyonectria* sp., *Phaeomoniella chlamydospora* y *Phaeoacremonium minimum*. Por último, se señaló que *Bacillus* spp. contribuye al desarrollo saludable de las plantas mediante su actividad antagonista contra hongos patógenos del tronco de la vid, como *Phaeomoniella chlamydospora*, y promoviendo la resistencia sistémica en las plantas de vid.

CONCLUSIONES

La comparación entre plantas sanas y enfermas reveló cambios significativos en la composición bacteriana del microbioma, donde *Pseudomonas* dominó en ambos casos, pero con proporciones variables en las diferentes condiciones. Además, se identificó que cepas de *Flavobacterium*, se vieron reducidas en la condición de plantas enfermas, por otro lado, *Actinobacterias* como *Streptomyces* se vieron aumentadas en la condición enferma, al igual que *Bacillus* spp. La interacción entre microorganismos y plantas puede influir en la calidad del suelo, la productividad, la salud de las plantas, afectando significativamente en la agricultura. La metagenómica y la secuenciación por amplicones son herramientas clave para comprender esta relación en la rizosfera, especialmente en cultivos como las vides, donde se busca entender la influencia del microbioma en el estado de salud de la planta.

BIBLIOGRAFÍA

- González-Escobedo, R., Muñoz-Castellanos, L. N., Muñoz-Ramírez, Z. Y., Guigón-López, C., & Avila-Quezada, G. D. J. C. R. (2022). Rhizosphere bacterial and fungal communities of healthy and wilted pepper (*Capsicum annuum* L.) in an organic farming system.
- Pacifico, D., Squartini, A., Crucitti, D., Barizza, E., Lo Schiavo, F., Muresu, R., Carimi, F., & Zottini, M. (2019). The Role of the Endophytic Microbiome in the Grapevine Response to Environmental Triggers. *Frontiers In Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01256>
- Saccà, M. L., Manici, L. M., Caputo, F., & Frisullo, S. (2019). Changes in rhizosphere bacterial communities associated with tree decline: grapevine esca syndrome case study. *Canadian journal of microbiology*, 65(12), 930-943.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2016). *Plan rector 2016 sistema productivo vid Chihuahua*. <https://producechihuahua.org/sistemas/PlanRecorVid.pdf> (Consultado el 19 de agosto de 2024)
- Yang, C., Chowdhury, D., Zhang, Z., Cheung, W. K., Lu, A., Bian, Z., . . . Journal, S. B. (2021). A review of computational tools for generating metagenome-assembled genomes from metagenomic sequencing data.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

EVALUACIÓN TOXICOLÓGICA DEL RÍO ESPAÑITA DE SAN LUIS POTOSÍ

Leonardo Daniel García Torres¹; Ángeles Martínez Toledo²; Germán Santacruz De León³; César Arturo Ilizaliturri Hernández²; Guillermo Espinosa Reyes²; José Alfredo Ramos Leal⁴; Janete Morán Ramírez⁴

¹Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, UASLP. Av. Dr. Manuel Nava 8, Zona Universitaria, San Luis Potosí, S.L.P. ²Facultad de Medicina-Centro de Investigación Aplicada en Ambiente y Salud, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Coordinación para la Aplicación de la Ciencia y la Tecnología (CIACyT-CIAAS), Av. Sierra Leona # 550, 2da. Lomas de San Luis, San Luis Potosí, México. ³Programa Agua y Sociedad, Colegio de San Luis CA (COLSAN), Parque Macul 155, Colinas del Parque, CP 78294, San Luis Potosí, México. ⁴Instituto Potosino de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, CA (IPICYT), División de Geociencias Aplicadas, Camino a la Presa San José # 2055, Lomas 4a, Sección, CP 78216, San Luis Potosí, México. Autor de correspondencia: angeles.martinez@uaslp.mx

RESUMEN

El río Española es uno de los principales ríos urbanos de la Zona Metropolitana de San Luis Potosí, mismo que actualmente está expuesto a diversas descargas contaminantes, por lo que es de interés evaluar si la contaminación del río le está confiriendo toxicidad debido a que una parte de estas aguas es utilizada para riego agrícola. Para esto se realizó un muestreo en 10 puntos a lo largo del cauce del río tanto de agua como de sedimentos. Se analizaron metales en sedimentos, parámetros fisicoquímicos (agua y sedimentos), además de bioensayos toxicológicos en el agua con especies sensibles. El agua del punto no. 2 generó los más altos niveles de mortalidad en *Artemias s.*, la CL50 se fue de 838 mg/L, además de los niveles más bajos los índices de germinación, y de elongación radicular en *Lactuca sativa* var. Crispa, estos resultados se atribuyen a los altos niveles de sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica, y metales como Hg y V. Se concluye que el río presenta puntos críticos de contaminación que generan efectos tóxicos sobre especies sensibles en consecuencia, se deben generar acciones urgentes de prevención y control de la contaminación en el río Española con fines de protección de salud humana y recuperación de sus servicios ambientales.

PALABRAS CLAVE

Artemia salina; *Lactuca sativa*; Metales; Ríos urbanos; Toxicología.

INTRODUCCIÓN

El río Española es uno de los principales cuerpos de agua de la Zona Metropolitana, el cual es utilizado en parte para riego agrícola (López-Mares *et al.*, 2018), en su cauce se han identificado la presencia de grasas y aceites (Martínez y Santacruz, 2014). Actualmente, no se cuentan con acciones de prevención y/o control de la contaminación para este cuerpo de agua intraurbano. Tampoco cuenta con acciones correctivas o preventivas para su aprovechamiento hídrico, por otro lado, se reconoce el impacto que ha tenido la urbanización en el río, así como el riesgo que representa

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

por ser una fuente de contaminación y de inundación, además de reconocer la existencia de descargas de aguas residuales que llegan al cauce (IMPLAN, 2021). En el caso de los ríos urbanos es prioritario identificar los puntos críticos y/o segmentos de cauce donde exista una mayor presencia de contaminantes, para ello es necesario realizar una caracterización representativa a lo largo de diferentes secciones del cauce con fines de intervención (Madera-Parra *et al.*, 2018). Por lo que el objetivo de nuestro estudio identificar la contaminación presente en muestras de agua y sedimentos del río Españita, así como el análisis toxicológico del agua, que permitan identificar los puntos críticos de contaminación y así, apoyar acciones de preservación y control de la contaminación en el río.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio y muestreo. San Luis Potosí cuenta con un clima semicálido, con una temperatura media anual 17.6° C y una precipitación anual de 350.5 a 577.7 mm (INEGI, 2002). El río Españita, pertenece a la región hidrología núm. 37 "El Salado", se concentra en la Cuenca (G) Presa San José-Los pilares y otras. El cauce del río Españita es la principal corriente que emana de la presa Cañada del Lobo. Se seleccionaron 10 puntos de muestreo bajo criterio del investigador. El muestreo se realizó durante el mes de febrero de 2023. Las muestras de agua superficial y sedimentos fueron tomadas en envases estériles de color ámbar de 500 ml y almacenados a 4°C en campo. En el laboratorio fueron separadas en alícuotas de 50 ml en tubos estériles y almacenados a 4°C hasta sus respectivos análisis.

Parámetros fisicoquímicos de agua y sedimentos. En el sitio se registraron el pH, temperatura (°C), sólidos disueltos totales (SDT), y conductividad eléctrica (CE), para las muestras de agua se empleó el quipo multiparámetros HI98194, y para las muestras de sedimentos el equipo Waterproof ORP/Tem., se realizaron duplicados.

Análisis de metales en sedimentos. Se utilizó el espectrofotómetro de fluorescencia de rayos X (EDX 7000 Shimadzu) para el análisis de metales en sedimentos secos (1 g) y tamizados por malla de 0.4mm, se utilizó el SQC001-30G (Sigma-Aldrich) como estándar. Se realizaron duplicados (Bautista *et al.*, 2004).

Ensayos toxicológicos en agua

(1) Bionesayos con *Artemia salina*. Se empleó el método desarrollado por Hamidi *et al.* (2014). En las muestras de agua (1mL) se incubaron 10±1 nauplios de *A. salina* a 25°C por 24 h. Posteriormente, se observaron en un estereoscopio, los individuos sin movimientos después de 10 seg se consideraron muertos. Se utilizaron dos controles, el positivo con 1 ml de K₂Cr₂O₇ a 500 mg/l, y el negativo con 1 ml de agua salina filtrada, se realizaron triplicados. Este procedimiento se repitió con diluciones de las muestras con agua salina al 100%, 80%, 60% y 40%, para determinar la concentración letal media (CL50), se realizaron triplicados.

(2) Bionesayos con *Lactuca sativa*: En cajas de Petri con papel filtro No. 3 humedecido con 4 ml de muestra de agua y se colocaron de manera dispersa 20 semillas de *L. sativa*. Se incubaron sin iluminación por 120 h a 22°C (Fletcher *et al.*, 1985).

Se observaron en un estereoscopio con regla milimétrica y se registró el número de semillas germinadas y se midió la longitud del tallo, hoja y raíz los resultados se

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

reportaron en cm. Se utilizaron dos controles, el positivo (4 ml de $MgSO_4$ a 500 mg/l) y el negativo (4 ml de agua purificada), se realizaron triplicados.

Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó STATISTICA (versión 13.0 Dell Inc.®, Tulsa, Okla-homa, USA), medias y desviación estándar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características fisicoquímicas del agua y sedimentos se presentan en la Cuadro 1, se puede observar que el punto no. 2 presentó los niveles más altos en SDT y CE en sedimentos y en agua, seguidos por los valores del punto no. 8. De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA, 2024) la temperatura y pH de las muestras se encuentra dentro de los niveles adecuados para el desarrollo de la vida acuática en ríos y arroyos (35 °C y pH 6.5-8.0.), excepto la muestra no. 1 más, sin embargo, los valores de CE únicamente el punto no. 1 cumple con lo normado (150 a 500 μS).

Cuadro 1. Parámetros fisicoquímicos de agua y sedimentos del río Españita.

Punto de muestreo	Agua superficial				Sedimentos		
	pH	T (°C)	SDT (mg/L)	CE ($\mu S/cm$)	pH	SDT (mg/kg)	CE ($\mu S/cm$)
1	7.6	15	60	130	8.7	44	88
2	7.0	19.2	970	1960	6.9	944	1888
3	7.8	24.1	490	980	7.3	471	904
4	7.3	24	470	940	7.0	323	654
5	7.3	23.3	440	890	7.0	270	534
6	7.4	23.8	500	994	7.6	502	1010
7	6.9	21.3	640	1290	7.3	758	1730
8	7.1	17.8	640	1270	7.3	414	864
9	7.3	19.4	600	1200	6.4	408	812
10	7.2	20.2	650	1300	7.5	674	1730

En este estudio se infiere que los SDT constan principalmente de materia orgánica en descomposición (producto de descargas domésticas) y sales, debido a que no existen cambios significativos en el pH que indiquen la presencia de agentes oxidantes o reductores y/o metales pesados (Saalidong *et al.*, 2022). Las muestras (excepto el punto no.1) superan los valores reportados por Toledo *et al.* (2014), quienes encontraron valores de SDT (mg/L) en un rango de 12.9 a 364 en diferentes puntos del Río Sta. Rosa pertenecientes al área natural protegida de la Sierra de Quila JAL., MEX., el cual es utilizado para consumo humano y riego.

Con relación al contenido de metales en sedimentos (Cuadro 2), el punto no.1 presentó el más alto contenido de Hg y Tl. El más alto contenido de Cu y Ni se observó en el punto no. 8. Para evaluar la toxicidad en sedimentos por metales se utilizaron las concentraciones con efecto probable sobre los organismos (PEC, siglas en inglés) reportadas por NOAA (Buchman, 2008) y se encontró que las concentraciones (mg/kg) de Hg y de Ni en todos los puntos se encuentran sobre los valores reportados (1.06 y 48.6, respectivamente). Mora *et al.* (2016) reportaron concentraciones de metales en sedimento del río Puyango, Ecuador, mayores en Mn, similares en Cu, pero menores

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

en Ni, Co y Hg a las encontradas en nuestro estudio, se atribuye dicha contaminación a la entrada de lixiviados de una industria minera.

Cuadro 2. Concentración de metales en sedimentos del río Española.

Punto de muestreo	As	Ba	Co	Cr	Cu	Hg (mg/kg)	Mn	Ni	Ti	Tl	V
1	0.5±0.8	20.5±2	30.9±0.6	14.3±4.5	24.1±6.7	100±70	20.3±7.1	64.5±8.3	6.3±0.6	50.1±27.1	1.1±1.2
2	1.8±2.2	90.6±1.2	32.7±0.4	8.9±10.1	28.7±7.3	68.2±87.9	48.3±28.2	62.1±18	28.6±1.3	51.4±18.7	68.4±9.1
3	0.5±0.3	121.1±5.6	27.2±0.6	9.3±3.4	41.3±4.9	71.5±67.4	6.3±5.5	78.4±12.3	39.4±1.7	44.3±7.8	122.4±13.9
4	0.8±0.5	102.8±25.4	25.3±3.4	3.3±1.6	45.8±4.5	68.9±63	2.4±4.1	81.3±13.3	33.1±8.9	44.1±7.2	73.7±21.5
5	1.9±1.9	25.8±4.1	25.6±0.8	17±11.7	26.1±5.6	81.3±52.7	20.8±20.2	59.9±11.8	7.7±1	40.5±9.2	0.4±0.7
6	0.4±0.4	85.9±6.4	24.5±3.9	3.9±4.1	44.9±7	68.2±63.7	1.9±3.2	72.2±6.3	27.4±1.7	36.7±5.8	48.5±14.8
7	0.7±0.6	78.6±13.5	24.7±2.7	5±5.8	39.9±3.1	78.1±60.2	3.9±4.1	74.4±12.2	24.7±4.2	39.6±2.5	43.8±22.8
8	0.8±0.7	81.8±2.6	27.4±1	2.2±3.8	47.6±6.1	61±52.7	8.8±8.1	91.4±2.2	25.2±1.3	33.6±5.5	23.5±0.5
9	1.3±1.5	54.6±4.8	30.8±2.7	7.3±4.8	41.3±3.1	74±59.4	18.7±19.6	64.4±10.2	16.6±1.5	40.6±7.7	19.7±10.4
10	0.9±0.9	106.6±6.4	28.2±0.9	5.6±3.4	38±4	55.5±52.4	2.4±2.1	54.4±10.5	33.8±2	34.6±10.1	71.1±36.1

Los análisis toxicológicos en agua (Cuadro 3) indicaron que los niveles más altos de letalidad de *A. salina*. se presentaron en el punto no. 2 seguido del punto no. 7. En el punto no. 2 se obtuvo la CL50 con una dilución del agua al 83.8% (838 mg/L), este resultado es menor al reportado por Delgado-Zambrano *et al.* (2020) de 34.29 mg/L para el agua del estuario del río Burro en la ciudad de Manta, Ecuador, cuya toxicidad se atribuye a la presencia de Cr, Cl⁻, NH₄⁺, NO₂⁻ y sulfuros. Por lo que se sugiere realizar un análisis más amplio de los componentes del agua del río Española en este punto. Los resultados de fitotoxicidad con *L. sativa* var. Crispa (Cuadro 4), indicaron que en los puntos no. 2 y no. 8 se presentaron los porcentajes de germinación relativa (GRS) más bajos. Los valores más bajos en los índices de crecimiento relativo radicular (CRR), y de germinación (IG) también se presentaron en el punto no. 2.

El índice de germinación normalizado (IGN) clasifico el punto no. 2 de muy alta toxicidad y los sitios 4, 5 y 6 se clasificaron como muy tóxicos (-0.5<IGN< -0.75), mientras que los sitios 1, 3, 7, 8 y 10 se clasificaron con toxicidad moderada (-0.25 <IGN< -0.5). Rodríguez-Romero *et al.* (2014) reportaron en 5 sitios de muestreo del río Chalma en MOR., MEX., valores de IGN de toxicidad moderada a baja (-0.5 y -0.21, respectivamente) atribuida a las actividades turísticas del sitio.

Cuadro 3. Porcentaje de letalidad con exposición directa a agua del río Española.

Parámetro	Puntos de muestreo									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GRS	57.41	7.41	55.56	48.15	40.74	40.74	64.81	1.85	37.04	37.04
CRR	74.82	0.96	86.26	88.71	58.73	70.19	109.09	56.75	67.88	65.76
IG (%)	42.95	0.07	47.92	42.71	23.93	28.60	70.71	1.05	25.14	24.35
Longitud hoja (cm)	0.27±0.1	0.38±0.1	0.33±0.1	0.30±0.1	0.32±0.1	0.22±0.1	0.3±0.02	0.35±0.1	0.27±0.1	0.29±0.1
Longitud tallo (cm)	2.60±0.7	1.28±0.3	3.86±1.3	3.72±1.0	2.63±1.3	2.41±1.6	4.31±0.7	3.09±1.2	3.42±1.2	2.77±1.2
Longitud raíz (cm)	1.94±1.02	0.03±0.04	2.24±1.02	2.30±1.06	1.52±0.69	1.82±0.77	2.83±0.76	1.47±0.68	1.76±0.89	1.71±0.89
IGN	-0.43	-0.93	-0.44	-0.52	-0.59	-0.59	-0.35	-0.48	-0.63	-0.44

Por otra parte, en los resultados morfométricos se observó que el valor más bajo en long. radicular y el más grande en tamaño de hoja se presentaron en el punto no. 2, y el valor máx. en la long. del tallo se presentó en el punto no. 7. En el sitio de muestreo no. 2 se obtuvo el menor porcentaje de germinación, e igualmente, para este sitio se reportaron los valores mín. en la extensión radicular y elongación del tallo. En otro estudio (Curado *et al.*, 2017) se reportó inhibición de la germinación y crecimiento radicular de *L. sativa* tanto en agua del río Uberaba, Brazil, y domésticas de la región.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Atribuyendo el efecto tóxico al exceso de nutrientes que se presentan en las descargas domésticas.

Cuadro 4. Resultados del ensayo de fitotoxicidad con *L. sativa* en agua del río Española.

Puntos de muestreo	Letalidad (%)
1	6.1±10.5
2	100.0±0
3	0
4	32.7±32.5
5	16.7±20.8
6	23.3±15.3
7	24.2±41.9
8	50.0±26.4
9	7.0±6.1
10	23.3±32.1

CONCLUSIONES

El río Española presenta puntos críticos de contaminación por metales pesados, el punto de muestreo no. 2 se considera muy tóxico con una CL50 de 838 mg/L, con efectos tóxicos en especies sensibles, lo que pone en riesgo la salud humana al encontrarse dentro del área metropolitana y por ser utilizado en el riego agrícola. Debido a esto se deben tomar medidas correctivas y preventivas para evitar la pérdida de este recurso hídrico, con una perspectiva integral y planificada desde la gestión ambiental.

REFERENCIAS

- Bautista, Z. F., Delfín, G. H., Palacio, P. J.L., y Delgado, C. M.C. (2004) Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. II El Ambiente, 4 Cuerpos de agua superficiales. pp. 117- 143. UNAM, UAY, CONACyT, INE. México. ISBN 970-32-1778-8.
- Buchman, M. F. (2008) NOAA Screening Quick Reference Tables, NOAA OR&R Report 08-1, Seattle WA, Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 34 pages. <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/9327>
- Curado, A. L., De Oliveira, C. C., Costa, W. R., et al. (2017). Urban influence on the water quality of the Uberaba River Basin: an ecotoxicological assessment. Revista Ambiente y Agua, 13(1), 1. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2127>
- Delgado-Zambrano, D. M., Zambrano-García, D.P., Alcívar-Cedeño, U. E., et al. (2020). Toxicidad del agua en el estuario del río Burro en la ciudad de Manta. Pol. Con. 5(1): 305-316. ISSN: 2550 - 682X. DOI: 10.23857/pc.v5i1.1899
- Environmental Protection Agency of United Estate (USEPA). Water: Monitoring y Assessment. (2024) EPA's Web Archive. Chapter 5 Water Quality Conditions | Monitoring & Assessment | US EPA. <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/vms59.html>

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Fletcher, J. S., Muhitch, M. J., Vann, D. R., et al. (1985). Phytotox database evaluation of surrogate plant species recommended by the U.S. environmental protection agency and the organization for economic cooperation and development. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 4(4), 523-532. <https://doi.org/10.1002/etc.5620040412>
- Hamidi, M., Jovanova, B., y Kadifkova P. T. (2014). Toxicological evaluation of the plant products using Brine Shrimp (*Artemia salina* L.) model. *Macedonian Pharmaceutical Bulletin*. 60. 9-18.
- IMPLAN. (2021). Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de San Luis Potosí. <https://sanluisimplan.gob.mx/planes-y-programas/pduc-p-2021/>
- INEGI. (2002). Síntesis de Información Geográfica del Estado de San Luis Potosí. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825224240/702825224240_1.pdf
- López Mares, L., Lozano de Poo, J., Torre Silva, F., et al. (2018). El ciclo hidro-social de los ríos urbanos: Transformaciones al paisaje hídrico en San Luis Potosí, México. *Revista De Ciencias Ambientales*, 53(1), 45-69. <https://doi.org/10.15359/rca.53-1.3>
- Madera-Parra, C., Jiménez-Bambague, E., Toro-Vélez, A., et al. (2018). Estudio exploratorio de la presencia de microcontaminantes en el ciclo urbano del agua en Colombia: caso de estudio Santiago de Cali. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 34(3), 475-487. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.03.10>
- Martínez, R. y Santacruz, G. (2018). Impacto ambiental generado por el crecimiento industrial sobre el recurso hídrico en la ciudad de San Luis Potosí, México., Tesis de Licenciatura, Escuela de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Mora, A., Jumbo-Flores, D., González-Merizalde, M., y Bermeo-Flores, S. A. (2016). Niveles de metales pesados en sedimentos de la cuenca del río Puyango, Ecuador. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 32(4), 385-397. <https://doi.org/10.20937/rica.2016.32.04.02>
- Rodríguez-Romero, A., Robles, C., Ruíz, R., et al. (2014). Índices de germinación y elongación radical de *Lactuca sativa* en el biomonitoreo de la calidad del agua del río Chalma. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(3), 307-316
- Saalidong, B. M., Aram, S. A., Otu, S., y Lartey, P. O. (2022). Examining the dynamics of the relationship between water pH and other water quality parameters in ground and surface water systems. *PloS one*, 17(1).
- Toledo, S., González, T., Pérez, A., et al. (2014). Calidad del agua de microcuencas en el área natural protegida Sierra de Quila en Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencia*, 5(26). <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v5n26/v5n26a9.pdf>

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

MANZANA: ANÁLISIS DE INDICADORES PARA APOYO DE LOS PRODUCTORES DEL MUNICIPIO DE NAMIQUIPA, CHIHUAHUA, MÉXICO

Arwell Nathan Leyva Chávez¹; Silvia Amanda García Muñoz¹; Ramón Saúl Lujan Aguirre¹; Francisco Javier Piña Ramírez¹; Addy Anchondo Aguilar¹; Anabel Ortega Rodríguez¹

¹Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Campus Universitario No. 1. Av. Pascual Orozco s/n, colonia Santo Niño. C.P. 31160. Chihuahua, Chih., México
aortegar@uach.mx

RESUMEN

El municipio de Namiquipa, ubicado en el estado de Chihuahua, es una región destacada por su producción de manzana. Este análisis se centra en evaluar diversos indicadores entre productores, asesores técnicos, compradores e investigadores del Municipio de Namiquipa, Chihuahua. Se busca brindar información pertinente al productor sobre plagas, enfermedades, agua, tipo de suelo, cambios para que sean más competitivos, variedades que se producen, entre otras, para que coadyuve a la generación de mayores ingresos y ser más competitivos. La metodología utilizada fue analítico-sintética, técnicas bibliográficas y estadísticas para estudiar el tema de mercado de la manzana en México. Dentro de los resultados, la variedad que señalan los investigadores como más susceptible a plagas y enfermedades es la Golden Delicious con un 30%, mientras que los asesores técnicos señalan la variedad Gala con un 58%. El tipo de suelo arenoso es el más recomendado por los investigadores así como también, por los asesores. La variedad que más se produce gracias a la demanda, precio y sabor, según productores, es la Golden Delicious. Se entrevistó a personas expertas en la manzana ya que el estudio se llevó a cabo a raíz de la inquietud de un productor manzanero de Namiquipa para tener información de diversos indicadores. Como conclusiones, Chihuahua se posiciona en los primeros lugares de estados con mayor producción de manzana y los productores están conscientes de que hay cambios y hay que adherirse a ellos para seguir satisfaciendo las necesidades de los compradores y la sociedad en general.

PALABRAS CLAVE

Competitividad; Revisión; Suelo; Variedades.

INTRODUCCIÓN

El nombre científico de la manzana es *Malus domestica*. Borkh. Es un fruto de estructura firme y carnosa, que deriva del receptáculo de la flor. Este tipo de fruto es resistente al frío y no requiere grandes cantidades de calor y luz para su maduración. En cuanto al suelo, la manzana prefiere suelos franco-arenosos con una profundidad mínima de 50 cm y un pH que oscile entre 5.5 y 6 (SIAP, 2016).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

La investigación iniciada se hace con el fin de analizar diversos indicadores de la manzana en Chihuahua, ya que por los tiempos que se estuvieron pasando debido a la pandemia por el Covid-19, ha cambiado mucho la oferta y demanda de la manzana y se quiere analizar hacia qué rumbo va la manzana para que el productor chihuahuense tome medidas y sepa si en la actualidad se está tomando otra tendencia de mercado con este fruto que es muy importante. Llevar esta fruta a nuestras mesas requiere de un arduo trabajo de los productores mexicanos, los cuales conjugan conocimientos científicos y recursos económicos y tecnológicos para lograr los altos estándares de calidad que tiene la manzana mexicana (El Economista, 2019). En el contexto productivo, de las 58,528 hectáreas sembradas en 2017, el 79.04% de la superficie se encuentra mecanizada, 73.47% cuenta con tecnología aplicada a la sanidad vegetal, y 61.98% del territorio sembrado con este cultivo contó con asistencia técnica (SIAP, 2017). El estado de Chihuahua continúa con plantaciones de alta densidad y mecanización con aspersores, microaspersores y/o riego por goteo (Inforural, 2021). La calidad es un concepto múltiple y complejo. Puede suceder que un producto tenga una alta calidad en un aspecto y baja en otro (Clarifrut, 2021). En el presente estudio, como objetivo general, queremos que el productor conozca sobre tipo de suelo, variedades más propensas a plagas, enfermedades, agua, cambios para que sean más competitivos, variedades que se producen más, entre otras, que se están utilizando en la actualidad en el mercado para generar mayores ingresos y no quedarse como un productor obsoleto con variedades que ya no se manejan.

MATERIALES Y MÉTODOS

La región de estudio fue el municipio de Namiquipa, Chihuahua, México. Las actividades de investigación se dividieron en dos etapas, de gabinete y de campo. El trabajo de gabinete consistió en la obtención, recopilación y análisis de la información estadística y bibliográfica sobre la manzana. La investigación de campo radicó en la aplicación de encuestas y entrevistas a los diferentes actores y a expertos, con el propósito de obtener información sobre su percepción en diversos aspectos de la cosecha, oferta y demanda de las variedades de manzana. La encuesta se aplicó a 30 productores, 20 asesores, 10 investigadores, y 15 compradores finales. Los métodos empleados en la siguiente investigación fueron, el método deductivo, histórico, científico, estadístico y analítico (Ponce, 2011). La información recabada se analizó con el programa de la tabla de cálculo de Microsoft Excel 2020.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diversos estudios en las variedades de manzana más producidas en la zona de Namiquipa, Chihuahua realizados por los investigadores del tema, demuestran que la variedad más susceptible a plagas y enfermedades es la Golden Delicious (Figura 1) y con respecto a la opinión de los asesores técnicos, mencionaron dos variedades con más problemáticas con plagas, de las cuales, la variedad Gala tiene más problemática (Figura 2).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

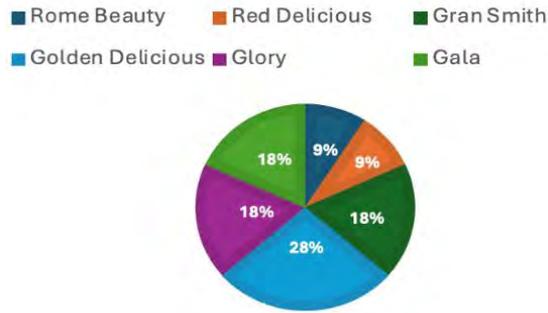


Figura 1. Variedades más susceptibles a plagas y enfermedades.

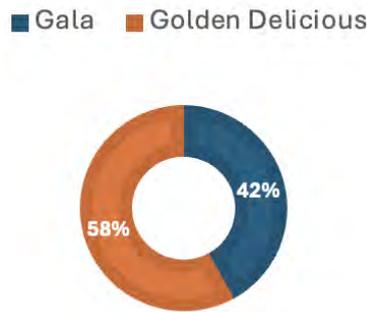


Figura 2. Variedad con más problemas refiriéndose a insectos.

Con respecto al tipo de suelo que recomiendan los investigadores, se puede apreciar que el 60% de los investigadores recomiendan un tipo de suelo arenoso mientras que el otro 40% recomiendan un suelo arcillo arenoso en la zona de Namiquipa (Figura 3), y los asesores de igual manera, recomiendan el suelo arenoso con un porcentaje de 50%, seguido del suelo arcillo arenoso con un 30% y finalmente el suelo arcilloso con un 20% (Figura 4).



Figura 3. Tipo de suelo más recomendable.

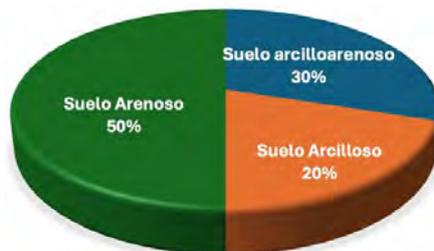


Figura 4. Tipo de suelo más recomendable.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Con respecto a la variedad que requiere más agua, los investigadores señalan que es la variedad Red Delicious con un 36% (Figura 5).

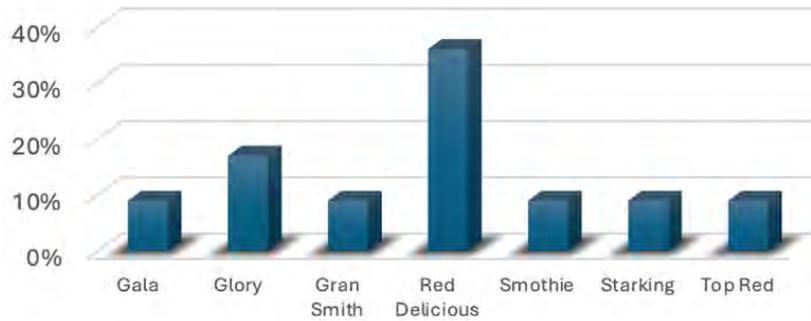


Figura 5. Variedades que requieren más agua.

En el tema de la manzana se incluyen al menos 1,000 variedades, y de esas variedades tan solo se produce una docena en Chihuahua, la cual, la que se más produce gracias a su demanda y precio y sobre todo el sabor, es la Golden Delicious con un 29%, señalan los productores (Figura 6).

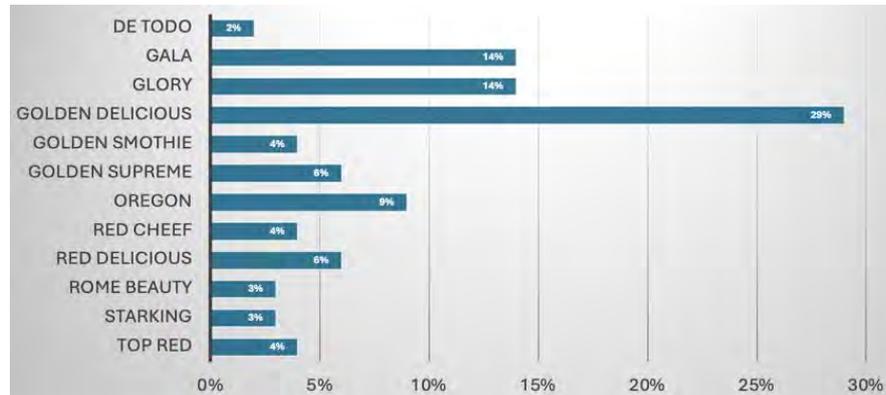


Figura 6. Variedades que se produce.

Se les preguntó sobre los cambios que deben realizar los productores para que sean más competitivos, a lo cual, los investigadores mencionan que el sistema de riego es muy importante en los cultivos ya que no debe ni de faltar ni de sobrar agua dependiendo del tipo de suelo y variedad de manzana entre otras cosas a valorar. Y en la zona de Chihuahua, se recomienda mejorar los sistemas de riego con mayor tecnología (Figura 7), y los asesores en un 50% señalan que los productores deben asesorarse más, el 40% comentan que deben invertir y el 10% señaló sobre el ver que está haciendo la competencia americana (Figura 8).



Figura 7. Cambios importantes que tienen que hacer los productores para que la zona sea más competitiva.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

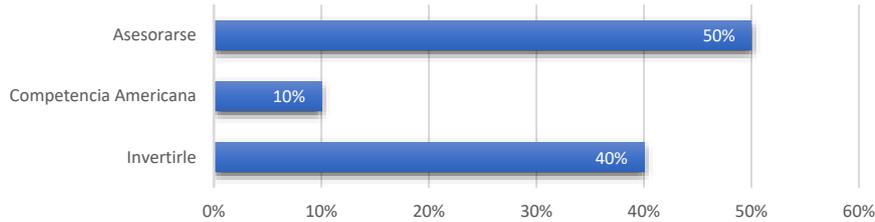


Figura 8. Cambios que necesita hacer el productor para que la zona sea más competitiva a nivel internacional.

Los asesores mencionan que la clave para el “amarre” del fruto es la polinización con un 50% (Figura 9).

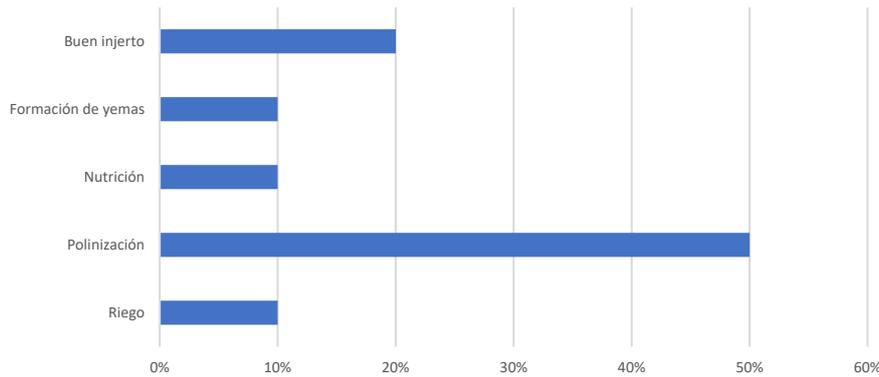


Figura 9. Clave para el amarre del fruto

Los compradores señalan la consideración que tienen con el precio y calidad de la manzana nacional vs la manzana importada, a lo cual, los compradores consideran que es mejor la manzana nacional ya que el sabor, precio y calidad le favorecen (Figura 10).

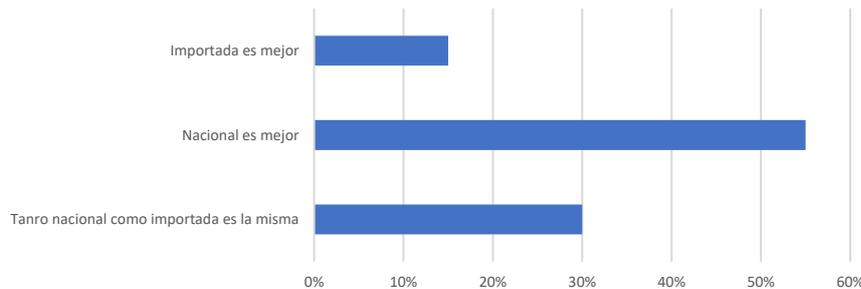


Figura 10. Consideración de precio y calidad de la manzana nacional vs importada.

CONCLUSIONES

Los productores deben considerar diversos indicadores para incrementar su competitividad en el mercado. Además, cuentan con el apoyo de los compradores, quienes están dispuestos a adquirir y consumir manzanas nacionales, valorando especialmente la calidad y el sabor de la manzana chihuahuense. Se recomienda a los productores que se acerquen a asesores e investigadores para optimizar el rendimiento de sus cosechas. Es crucial que piensen en el futuro, ya que aquellos que no se adapten a los cambios podrían verse obligados a abandonar la producción de manzanas, lo cual queremos evitar, dado que la demanda continúa y seguirá en aumento. A los asesores

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

e investigadores se les recomienda que continúen capacitándose para ofrecer un conocimiento y apoyo más completo a los productores. Es esencial que se actualicen constantemente para mejorar la producción de manzanas en el estado de Chihuahua.

AGRADECIMIENTOS

Queremos dar un agradecimiento al Ing. Guillermo Villalobos, productor manzanero del municipio de Namiquipa del estado de Chihuahua, México por el financiamiento de dicha investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Clarifrut (2021). La importancia de las pruebas y control de calidad de las manzanas. <https://www.clarifrut.com/es/knowledge-base/categorias-de-productos-frescos/manzanas/>
- El Economista (2019), Oportunidades para la tecnificación de la manzana en México. <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Oportunidades-para-la-tecnificacion-de-la-manzana-en-Mexico-I-20190813-0087.html>
- Inforural (2021), Perspectivas de México para la producción de manzana. <https://www.inforural.com.mx/perspectivas-de-mexico-para-la-produccion-de-manzana/#:~:text=El%20pron%C3%B3stico%202021%2F22%20para,contin%C3%BAe%20aumentando%20en%20el%20futuro>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2016), Gobierno de México. <https://www.gob.mx/siap/articulos/manzana-mexico-produjo-716-930-toneladas-en-2016?idiom=es>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2017), Gob. de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256430/B_sicoManzana.pdf

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

EFECTO DE BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO VEGETAL SOBRE EL DESARROLLO DE LA INSULINA (*Salvia amarissima* Ortega)

Fanny Amayrany Galvez Trejo¹; Hortencia Gabriela Mena Violante¹;
María Dolores Rodríguez Torres¹; Jeanette Guadalupe Cárdenas Valdovinos¹

¹CIIDIR IPN Unidad Michoacán, Justo Sierra Ote. 28, Centro, 59510 Jiquilpan de Juárez, Michoacán, México. Correo electrónico: fgalvez2200@alumno.ipn.mx; hmena@ipn.mx; mdrodriguez@ipn.mx; jeanettegcv@gmail.com

RESUMEN

La “insulina” (*Salvia amarissima* Ortega) es una planta endémica de México que posee propiedades medicinales, utilizada principalmente para el tratamiento de la diabetes en Cherán, y otros municipios de la meseta Purépecha. Sin embargo, la sobrecolecta, las actividades agropecuarias y el cambio climático, entre otros factores, han reducido las poblaciones de esta y otras plantas medicinales. Estudios han demostrado que la inoculación de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) en plantas medicinales puede mejorar su adaptación al medio ambiente e incrementar el contenido de ciertos compuestos fitoquímicos, lo que beneficia el crecimiento y producción, y puede contribuir a su conservación favoreciendo una exitosa propagación. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de BPCV sobre el desarrollo de la *Salvia amarissima*. Para ello, se estableció un experimento en invernadero con un diseño completamente al azar y cuatro tratamientos: *B. subtilis*, *Pseudomonas* sp, un consorcio de ambas y un control sin inóculo. El experimento se mantuvo hasta la etapa de floración y se midieron variables biométricas como, altura, número de flores, área foliar y biomasa fresca y seca total. Las plantas inoculadas con BPCV, especialmente con *Pseudomonas* sp. y el consorcio, mostraron una floración temprana y mayor crecimiento y desarrollo.

PALABRAS CLAVE

BPCV; Metabolitos, Planta de insulina, Plantas medicinales.

INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad, el uso de plantas medicinales ha sido fundamental en diversas culturas del mundo (Dafni, A., & Böck, B., 2019). Actualmente, más de dos tercios de la población, según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO), utilizan plantas medicinales para atender sus dolencias psicofísicas (Chaves *et al.*, 2014). Este fenómeno es mayormente notable en regiones menos desarrolladas, donde se estima que el 80% de las personas utilizan la medicina tradicional con plantas para el cuidado de la salud (Loraine & Mendoza-Espinoza, 2010).

México, debido a su gran riqueza biológica, diversidad de ecosistemas y variabilidad genética, posee una gran diversidad de plantas útiles; en el país se han identificado alrededor de 4,000 especies con propiedades medicinales empleadas por la población mexicana.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Sin embargo, la sobreexplotación, la destrucción de hábitat natural, la pérdida del conocimiento tradicional de estos recursos, entre otros factores,, provocan que la tasa de extinción de recursos vegetales sea de 100 a 1,000 veces más alta que las tasas naturales de desaparición (Loraine & Mendoza-Espinoza, 2010).

El género *Salvia* (tribu *Mentheae*) es el segundo género de mayor diversidad en la República Mexicana con alrededor de 292 especies (Villaseñor, 2004). La *Salvia amarissima* también conocida como “planta de la insulina” o “hierba del cáncer”, es una planta que se encuentra en México en forma silvestre y en cultivo. Debido a sus propiedades medicinales, aplicadas de forma tradicional principalmente por su actividad hipoglucemiante (Ferrer *et al.*, 2010).

En Michoacán, la existencia de esta especie ha disminuido por diversos factores como las actividades urbanas, agropecuarias, el cambio climático y la recolección directa en el campo, que afecta su permanencia en su hábitat natural. En este sentido, existen tecnologías que permiten aumentar el crecimiento y la adaptación de las plantas a nuevas condiciones de desarrollo, tal como la inoculación con microorganismos benéficos del suelo (Moreno-Reséndez *et al.*, 2018), entre los que se encuentran las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV), que favorecen el desarrollo de las plantas. Estas bacterias promueven una mejor estructura de la raíz y una mayor absorción de los nutrientes que la planta necesita para su crecimiento. Además, influyen en el contenido de metabolitos secundarios, reguladores del crecimiento, vitaminas, y protegen a la planta contra estrés biótico y abiótico (Moreno-Reséndez *et al.*, 2018).

Actualmente, existen estudios que demuestran que la aplicación de BPCV favorece notablemente el crecimiento y la acumulación de metabolitos secundarios en plantas medicinales (Cappellari *et al.*, 2013; Palma-Ramos *et al.*, 2022). Tomando en cuenta esta información, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de BPCV sobre el desarrollo de la *Salvia amarissima* proveniente de la meseta Purépecha en Michoacán, México. Con este estudio se busca contribuir al conocimiento de cómo preservar y proteger esta especie y su posible uso en la medicina tradicional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio. La investigación se llevó a cabo en el invernadero del CIIDIR IPN Unidad Michoacán, ubicado en Jiquilpan, Michoacán (1560 msnm; 20°03'02"N, 102°39'33"O).

Material Biológico. Se utilizaron plantas de *Salvia amarissima* Ortega obtenidas de San Francisco Cherán, Michoacán, y propagadas en el invernadero del CIIDIR IPN Unidad Michoacán.

Material Microbiológico. Dos cepas bacterianas, *Pseudomonas* sp. ANH-4 y *Bacillus subtilis* CH90, fueron desarrolladas en Infusión Papa Dextrosa (PDI) y usadas como inóculos. Las cepas se mantuvieron en agitación durante 120 h, y luego fueron centrifugadas para preparar un inóculo ajustado a 1×10^8 UFC/ml.

Desarrollo de Plántulas en Condiciones Controladas. Las plántulas se desarrollaron en charolas con una mezcla de musgo de turba, perlita y vermiculita. Se mantuvieron a $25 \pm 2^\circ\text{C}$ con luz magenta y riego cada dos días.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Diseño Experimental. Se utilizó un diseño completamente al azar con 4 tratamientos: *Bacillus subtilis* CH90, *Pseudomonas* sp. ANH-4, consorcio de ambas cepas y control sin inóculo, con 20 repeticiones por tratamiento.

Trasplante e Inoculación. Las plántulas fueron trasplantadas a macetas de 6.5 litros con suelo de encino no estéril y arena (1:1). Se inocularon con 10 ml de suspensión bacteriana cada 15 días hasta la floración.

Medición y Análisis de Variables Biométricas. Se evaluaron variables como número de hojas, altura, número de flores, y biomasa seca en plantas seleccionadas cada 22 días hasta la floración.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el desarrollo de plántulas en condiciones controladas, se obtuvo un porcentaje de germinación total de 72.5%, coincidiendo con Magaña (2024), quien obtuvo un 70% con *Agastache mexicana* ssp. *xolocotziana*.

En cuanto a la altura de las plantas de invernadero los resultados mostraron que el tratamiento con *Pseudomonas* resultó en la altura mayor con una media de 49.15 cm, lo que representa un aumento del 12.36% en comparación con el control, que resultó en una media de 43.74 cm (Cuadro 1). Estos resultados superan a lo que reportado por Martos Trenado. (2012) quien inoculó con *Pseudomonas* plantas de *Salvia officinalis* y obtuvieron un aumento del 8.59% en comparación con el control.

Cuadro 1. Efecto de BPCV en altura de plantas en invernadero de *S. amarissima* Ortega.

Tratamiento	Altura
Control	43.74±8.74 ^b
<i>B. subtilis</i>	47.07±4.80 ^{ab}
<i>Pseudomonas</i>	49.15±5.34 ^a
Consortio	48.85±4.80 ^{ab}
SIGNIFICANCIA	*

Los resultados se presentan como medias de 5 repeticiones \pm desviación estándar, así como un análisis de varianza (ANVA) y una prueba de comparación de medias Tukey en altura de plántulas de *S. amarissima*. Control (Sin inóculo), *B. subtilis*, *Pseudomonas* sp. y Consortio. NOTA: Los valores tienen una significancia de $P \leq 0.001$ (***). Letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos.

Los resultados muestran que no hubo diferencias significativas en el tamaño de hojas y área foliar entre los tratamientos y el control en *S. amarissima* (Cuadro 2). Sin embargo, *Pseudomonas* y el consorcio incrementaron significativamente el número de hojas en un 33.7% comparado con el control, lo cual supera lo reportado por Martos Trenado (2012) que inoculó con *Pseudomonas S. officinalis* y resultó un total de 230 hojas. Además, estos tratamientos también aumentaron la biomasa fresca y seca, con un incremento del 32.88% en biomasa seca. Este aumento es crucial en plantas medicinales, ya que está relacionado con la concentración de principios activos, mejorando su eficacia terapéutica (Nascimento *et al.*, 2021; Kunle & Ahmadu, 2012). De manera similar, Comeau *et al.* (2021) evaluaron el mismo consorcio de *Pseudomonas* y *B. subtilis* en *Cannabis sativa* y reportaron un aumento del 30% en biomasa.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cuadro 2. Efecto de BPCV en follaje de plantas en invernadero de *S. amarissima* Ortega.

Tratamiento	Número de hojas	Ancho de hojas (cm)	Largo de hojas (cm)	Área foliar (cm ²)	Biomasa Fresca (g)	Biomasa Seca (g)
Control	289.6±13.54 ^b	3.30±0.90 ^a	3.96±0.53 ^a	12.58±3.58 ^a	165.35±0.9 ^c	76.95±6.36 ^c
<i>B. subtilis</i>	384.73±11.5 ^a	2.68±0.42 ^a	3.83±0.60 ^a	10.49±2.97 ^a	213.67±0.81 ^b	88.68±0.81 ^b
<i>Pseudomonas</i>	387.0±13.28 ^a	2.95±0.40 ^a	4.15±0.39 ^a	12.79±2.77 ^a	382.77±0.58 ^a	101.54±0.39 ^a
Consortio	383.0±11.49 ^a	2.95±0.43 ^a	4.28±0.61 ^a	12.38±3.56 ^a	381.86±0.88 ^a	102.25±1.04 ^a
SIGNIFICANCIA	***	-	-	-	***	***

Los resultados se presentan como medias de 5 repeticiones ± desviación estándar, así como un análisis de varianza (ANVA) y una prueba de comparación de medias Tukey en altura de plántulas de *S. amarissima*. Control (Sin inóculo), *B. subtilis*, *Pseudomonas* sp. y Consortio. NOTA: Los valores tienen una significancia de $P \leq 0.001$ (***); $P \leq 0.01$ (**); $P \leq 0.05$ (*). Letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos.

En cuanto a la floración los tratamientos con *Pseudomonas* y el consorcio bacteriano, aumentaron la floración y las ramificaciones con flor en *Salvia amarissima* en comparación con el control (Cuadro 3). Los incrementos en el número de flores fueron del 86% y 83% con respecto al control, superando los reportes de Alcalán (2024), quien obtuvo un aumento de 40% en *Oenothera rosea*.

Cuadro 3. Efecto de BPCV en flores de plantas en invernadero *S. amarissima* Ortega.

Tratamiento	Número de flores	Ramificaciones con flor	Número de verticilastos
Control	13.60±7.79 ^b	3.80±1.53 ^b	8.70±1.67 ^b
<i>B. subtilis</i>	15.70±4.63 ^b	3.02±0.99 ^b	10.05±1.35 ^a
<i>Pseudomonas</i>	25.05±5.53 ^a	5.13±1.06 ^a	10.90±1.33 ^a
Consortio	25.30±6.67 ^a	5.25±1.54 ^a	11.01±1.37 ^a
SIGNIFICANCIA	***	***	***

Los resultados se presentan como medias de 5 repeticiones ± desviación estándar, así como un análisis de varianza (ANVA) y una prueba de comparación de medias Tukey en altura de plántulas de *S. amarissima*. Control (Sin inóculo), *B. subtilis*, *Pseudomonas* sp. y Consortio. NOTA: Los valores tienen una significancia de $P \leq 0.001$ (***); $P \leq 0.01$ (**); $P \leq 0.05$ (*). Letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos.

CONCLUSIONES

Los resultados indicaron que el consorcio de *Pseudomonas* y *B. subtilis* promovió el desarrollo de la *S. amarissima* Ortega en términos de biomasa, seca, fresca, número de flores, ramificaciones con flor y número de verticilastos. Este aumento en los factores de crecimiento puede ser aprovechado por sus propiedades medicinales, potenciando el uso de esta especie en aplicaciones terapéuticas.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), al Instituto Politécnico Nacional, y al CIIDIR, IPN Unidad Michoacán, por el apoyo económico y la educación de calidad que me permitieron culminar mi maestría. A mis directoras de tesis Hortencia Gabriela Mena Violante y María Dolores Rodríguez Torres por guiar mi proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcalán, L., M. (2024). Efecto de bacterias promotoras de crecimiento vegetal sobre el desarrollo y contenido fitoquímico de la hierba del golpe (*Oenothera rosea*). Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional.
- Cappellari, L. del R., Santoro, M. V., Nievas, F., Giordano, W., & Banchio, E. (2013). Increase of secondary metabolite content in marigold by inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria. *Applied Soil Ecology*, 70, 16–22.
- Comeau, D., Balthazar, C., Novinscak, A., Bouhamdani, N., Joly, D. L., & Filion, M. (2021). Interactions between *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp. and *Cannabis sativa* promote plant growth. *Frontiers in Microbiology*, 12, 715758.
- Chaves AG, Brunetti PC, Massuh Y, Ocaño SF, Torres LE, Ojeda MS. 2014. Variabilidad entre poblaciones silvestres de *Baccharis crispa* Spreng. de la Provincia de Córdoba, Argentina. *Phyton* 83: 145 - 153.
- Dafni, A., & Böck, B. (2019). Medicinal plants of the Bible—revisited. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*, 15(1), 1-14.
- Ferrer, C. E. L., Dirzo, G. S., Baez, D. A., & García, J. H. R. (2010). Estudio preliminar fitoquímico y de la actividad antimicrobiana de *Salvia amarissima* Ort. *Investigación Universitaria Multidisciplinaria: Revista de Investigación de la Univ. Simón Bolívar*, (9), 7.
- Kunle, O. F., Egharevba, H. O., & Ahmadu, P. O. (2012). Standardization of herbal medicines-A review. *International J. of Biodiversity and Conservation*, 4(3), 101-112.
- Loraine, S., & Mendoza-Espinoza, J. A. (2010). Las plantas medicinales en la lucha contra el cáncer, relevancia para México. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 41(4), 18-27.
- Magaña González, J., A. (2024). Efecto de hongos micorrízicos sobre la propagación y perfil fitoquímico de toronjil blanco (*Agastache mexicana* ssp. *xoloxotziana*). Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional.
- Martos Trenado, P. (2012). Estudio sobre la influencia de la inoculación de las rizobacterias *Azospirillum brasilense* y *Pseudomonas fluorescens* sobre el desarrollo morfológico y el contenido de aceites esenciales en las especies aromáticas *Ocimum basilicum* var. *genovesse*, *Ocimum basilicum* var. *minimum*, *Petroselinum sativum* var. *lisa* y *Salvia officinalis*. Proyecto de Fin de Grado, E.U.I.T. Forestal (UPM) [Antigua denominación].
- Moreno Reséndez, A., Carda Mendoza, V., Carrillo, R., Luis, J., Vásquez Arroyo, J., & Cano Ríos, P. (2018). *Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable*. *Rev. Colombiana de Biotec*, 20(1), 68-83.
- Nascimento, L. D. D., Silva, S. G., Cascaes, M. M., Costa, K. S. D., Figueiredo, P. L. B., Costa, C. M. L., Andrade, E. H. A., & de Faria, L. J. G. (2021). Drying effects on chemical composition and antioxidant activity of *Lippia thymoides* essential oil, a natural source of thymol. *Molecules*, 26(9), 2621.
- Villaseñor, J. L. 2004. *Los géneros de plantas vasculares de la ora de México*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 75:105-135.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

NOGALERAS MICORRIZADAS DE FORMA NATURAL

Hilda Karina Sáenz-Hidalgo¹; Juan Luis Jacobo-Cuellar²;
Víctor Olalde-Portugal³; Esteban Sánchez-Chávez¹; Damaris Ojeda-Barrios¹;
Graciela Avila-Quezada²

¹ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Av. 4ª sur No. 3820,
C.P. 33089, Delicias, México.

² Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Calle Escorza 900,
C.P. 31000, Chihuahua, México.

³ Cinvestav-Instituto Politécnico Nacional, Libramiento Norte Carretera Irapuato-León Km 9.6,
C.P. 36821, Irapuato, México.
Correo: gdavila@uach.mx

RESUMEN

El estudio investigó la presencia y abundancia de hongos ectomicorrízicos (EC) en huertas de nogales en Chihuahua, y su relación con factores del suelo y condiciones del cultivo. Para ello se eligieron tres nogales del cv Western Schley sobre portainjerto criollo en cada una de diez huertas de diferentes edades. La colonización de EC se identificó y cuantificó en raíces de nogales, analizando su correlación con la textura del suelo, el contenido de fósforo, el tipo de riego y la edad de los árboles. La prueba no paramétrica de Mann-Whitney se utilizó debido a varianzas heterogéneas. Los resultados mostraron que todas las raíces de los nogales estaban colonizadas por ectomicorrizas con porcentajes de 31 a 57%. El mayor porcentaje de colonización se observó en suelos de textura migajón-arenoso con un contenido de fósforo inferior a 22 mg Kg⁻¹. Por el contrario, la menor ectomicorrización se encontró en las huertas con suelo franco, y un contenido de fosforo superior a 22 mg Kg⁻¹. Con relación al tipo de riego y a la edad de los árboles, no se encontró una correlación significativa con la presencia de EC. Este estudio evidenció la presencia de poblaciones de hongos ectomicorrízicos en huertas nogaleras de la región centro-sur del estado de Chihuahua. La presencia, el desarrollo y la actividad de estos hongos se vieron favorecidos por características específicas del suelo como un bajo contenido de fósforo y una textura migajón arenoso.

PALABRAS CLAVE

Ectomicorrizas; Nogal pecanero; Nutrientes; Raíces; Simbiosis.

INTRODUCCIÓN

Las plantas leñosas establecen relaciones simbióticas con hongos ectomicorrízicos (EC) para facilitar el transporte de agua y nutrientes (Smith y Read, 2008). Esta relación ha sido demostrada en las raíces de nogal pecanero, donde se encuentran diversas especies de EC (Ge *et al.*, 2017). Por lo tanto, para asegurar una producción óptima de nogal, es crucial mantener un suelo saludable (Olivas-Tarango *et al.*, 2021).

En el nogal pecanero, la colonización por EC varía considerablemente, y se ha observado que propiedades del suelo como el pH, cobertura vegetal y el contenido de fósforo pueden influir en la abundancia y diversidad de la comunidad EC en las raíces (Sánchez *et al.*, 2020).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

La información disponible sobre la colonización de EC en el nogal pecanero en el norte de México se centra en la interacción simbiótica de ectomicorrizas y micorrizas arbusculares, así como en la presencia de *Pisolithus arenarius* y *Pisolithus tinctorius* en asociación con este árbol (Sánchez *et al.*, 2020; Olivas-Tarango *et al.*, 2021; Sáenz-Hidalgo *et al.*, 2023). Sin embargo, aún faltan estudios que exploren la relación entre la ectomicorrización y factores como la textura del suelo, la concentración de fósforo, el tipo de riego y la edad del árbol.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es determinar la presencia de EC y relacionar su abundancia micorrízica con la textura del suelo, el contenido de fósforo, el tipo de riego y la edad del árbol.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

La toma de muestras de raíces alimentadoras y suelo rizosférico se realizó entre marzo y agosto de 2020 en 10 huertas de nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangeh) K. Koch] sobre portainjerto criollo, ubicadas en los municipios de Aldama, Delicias, Chihuahua, Jiménez, Meoqui, Saucillo y San Francisco de Conchos, en el estado de Chihuahua. Las huertas seleccionadas incluían árboles con edades comprendidas entre 3 y 48 años, con sistemas de riego por microaspersión y rodado (Cuadro 1).

Cuadro 1. Huertas de nogal pecanero de diferentes edades y municipios en Chihuahua, México, incluidas en este estudio.

Nombre del huerto	Edad	Municipio	Tipo de riego
El general	3	Saucillo	Microaspersión
4H	6	Saucillo	Microaspersión
El escondido SM	8	Saucillo	Microaspersión
El Maguey	9	Delicias	Microaspersión
La Concha	17	Chihuahua	Microaspersión
La Reyna	30	Meoqui	Microaspersión
La carpintería	38	San Fco. Conchos	Rodado
Gaby	40	Meoqui	Rodado
Parcela Escolar Juárez	40	Aldama	Rodado
Don Miguel	47	Saucillo	Rodado

Colonización micorrízica en nogal

Se seleccionaron al azar tres nogales de diámetro y tamaño similar, asegurando una distancia mínima de 40 m entre ellos en cada huerta. Se recolectaron raíces alimentadoras de los cuatro puntos cardinales de cada árbol a una profundidad de 5 a 35 cm (Cruz-Álvarez *et al.*, 2020).

Las raíces fueron lavadas y examinadas bajo un microscopio estereoscópico. La colonización por EC se determinó a partir de tres segmentos de raíz de 10 cm de cada árbol, con un total de nueve lecturas por huerta. Cada segmento de 10 cm correspondió a una de las tres repeticiones (Muñoz *et al.*, 2015).

Análisis del suelo rizosférico

Se seleccionaron áreas homogéneas del suelo para recolectar a una profundidad de 30 cm, cuatro submuestras de suelo rizosférico de cada uno de los cuatro puntos cardinales alrededor de tres árboles (Cruz-Álvarez *et al.*, 2020). Estas submuestras se combinaron para obtener una muestra compuesta por huerta.

El suelo se secó a temperatura ambiente y se tamizó. La textura se determinó utilizando la técnica de Bouyoucos (1936), mientras que el contenido de fósforo se midió mediante el método de Olsen (1954).

Análisis estadístico

El porcentaje de colonización EC se evaluó mediante la prueba no paramétrica de Mann-Whitney, con corrección por empates y un nivel de significancia del 95%. Se realizó un análisis de correlación entre las variables: porcentaje de ectomicorrización, textura del suelo, fósforo, edad del árbol y tipo de riego. Para estos análisis se utilizó el programa Minitab, versión 19.2020.1.0 (© 2021 Minitab).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Colonización ectomicorrízica

El presente estudio proporciona nueva información, revelando la presencia de micorrizas nativas en todas las raíces de los nogales analizados. Los porcentajes de ectomicorrización varían entre 31.4% y 59.9% (Cuadro 2), sin diferencias estadísticamente significativas.

Hongos ectomicorrízicos y textura del suelo

Nuestros resultados indican que las raíces de los árboles establecidos en suelos con textura franca presentaron un 31.4% de ectomicorrización, valor que fue estadísticamente igual al porcentaje de EC en otros suelos. Los mayores porcentajes de EC se observan en suelos con textura migajón arenoso (Cuadro 2). La textura del suelo influye en la porosidad del suelo, la cual ha demostrado tener una influencia significativa en la colonización por EC, ya que facilita el crecimiento y la elongación del micelio (Glassman *et al.*, 2015). Sin embargo, en todos los suelos analizados en este estudio se encontraron micorrizas activas, es decir, en proceso de colonización de las raíces del nogal.

Hongos ectomicorrízicos y riego

En el 60% de las huertas analizadas se utiliza un sistema de riego por microaspersión; en estas, el promedio de EC fue de 45.3%, valor estadísticamente igual al 45.5% observado en huertas con riego rodado. No se encontraron diferencias ni correlaciones significativas entre la colonización por EC y el tipo de riego utilizado.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cuadro 2. Colonización ectomicorrízica en nogal pecanero en función de las propiedades del suelo rizosférico.

Nombre del huerto	Tipo de riego	Textura suelo	Fósforo (mg Kg ⁻¹)	Edad	Ectomicorriza (%)
Don Miguel	Rodado	Migajón-arenoso	13.27	47	56.6
4H	Microaspersión	Migajón-arenoso	25.04	6	55.1
La carpintería	Rodado	Migajón-arenoso	20.91	38	49.8
El escondido SM	Microaspersión	Arena-arcillosa	12.64	8	49.6
La Concha	Microaspersión	Franco Arcillo-arenoso	5.14	17	49.6
El general	Microaspersión	Arcilla-arenosa	9.26	3	47.4
Gaby	Rodado	Migajón-arenoso	7.01	40	44.2
La Reyna	Microaspersión	Migajón-arenoso	29.5	30	35.9
El Maguey	Microaspersión	Migajón-arcilloso	48.2	9	34.1
Parcela Escolar Juárez	Rodado	Franco	23.46	40	31.4

Hongos ectomicorrízicos y fósforo

El promedio de colonización por EC fue del 49.5% en suelos con menos de 22 mg Kg⁻¹ de fósforo. En contraste, en suelos con más de 22 mg Kg⁻¹ de fósforo, el porcentaje de EC fue menor, alcanzando el 39%, aunque esta diferencia no es estadísticamente significativa. Estudios previos han demostrado la importancia del fósforo en la relación simbiótica con los EC, ya que una deficiencia de este nutriente, puede inducir la producción de enzimas en el árbol, que favorecen la simbiosis con los hongos, mejorando así la disponibilidad del fósforo edáfico (García *et al.*, 2015).

Hongos ectomicorrízicos y edad del árbol

Se encontró igualdad estadística en la colonización por EC y la edad del árbol. El menor porcentaje de EC se observó en árboles adultos de 40 años, mientras que la mayor colonización se observó en árboles de 47 años. La huerta con árboles de 3 años presentó un porcentaje de ectomicorrización 47.4%, superando el 45.4% que fue el promedio de EC de todas las huertas.

CONCLUSIONES

Esta investigación aporta información valiosa sobre la presencia natural de poblaciones ectomicorrízicas en suelos de huertas de nogal en el estado de Chihuahua.

Los resultados evidencian la colonización por micorrizas en raíces de nogales establecidos en los diferentes tipos de suelo, incluso prosperan en suelos de textura arenosa y con bajos niveles de fósforo (menores a 22 mg Kg⁻¹). Estos hallazgos podrían ser relevantes para los productores, ya que la presencia cosmopolita de ectomicorrizas en los árboles de nogal permite señalar que, no es necesario añadir micorrizas comerciales.

BIBLIOGRAFÍA

- Cruz-Álvarez, O., Hernández-Rodríguez, A. O., Jacobo-Cuellar, J. L., Ávila-Quezada, G., Morales-Maldonado, E., Parra-Quezada, R. A., Robles-Hernández, L., & Ojeda-Barrios, D. L. (2020). Nitrogen fertilization in pecan and its effect on leaf nutrient concentration, yield and nut quality. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 26(3), 163-173.
- Ge, Z. W., Brenneman, T., Bonito, G., & Smith, M. E. (2017). Soil pH and mineral nutrients strongly influence truffles and other ectomycorrhizal fungi associated with commercial pecans (*Carya illinoensis*). *Plant Soil*, 418, 493-505.
- Glassman, S. I., Peay, K. G., Talbot, J. M., Smith, D. P., Chung, J. A., Taylor, J. W., Vilgalys, R. & Bruns, T. D. (2015), A continental view of pine-associated ectomycorrhizal fungal spore banks: a quiescent functional guild with a strong biogeographic pattern. *New Phytologist*, 205, 1619-1631.
- Olivas-Tarango, A. L., Tarango-Rivero, S. H., & Ávila-Quezada, G. D. (2021). Pecan production improvement by zinc under drip irrigation in calcareous soils. *Terra Latinoamericana*, 39, 1 - 12. e992.
- Sáenz-Hidalgo, H. K., Jacobo-Cuellar, J. L., Zúñiga-Rodríguez, E., Avila-Quezada, G. D., Olalde-Portugal, V., Hashem, A., & Abd_Allah, E. F. (2023). Soil Structure and Ectomycorrhizal Root Colonization of Pecan Orchards in Northern Mexico. *Journal of Fungi* 9, (4). 440.
- Sánchez, E., Muñoz, E., Macías, B.C., & Sida, J. P. (2020). Importancia de las micorrizas en huertas nogaleras. *PACANA*, 5(27), 32-35.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*, 3rd Edition. Cambridge, MA: Academic Press.

POTENCIAL IN VITRO DE AISLADOS RIZOSFÉRICOS DE *G. bicuspidata* COMO PROMOTORES DEL CRECIMIENTO VEGETAL

Jeanette Guadalupe Cárdenas-Valdovinos¹; Silvia Luna-Suárez¹; María Valentina Angoa-Pérez²; Hortencia Gabriela Mena-Violante^{2*}

¹ Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Instituto Politécnico Nacional, CIBA-IPN, Tepetitla, Tlaxcala 90700, México

² CIIDIR IPN Unidad Michoacán, Jiquilpan, Michoacán 59510, México; *corresponding author: hmena@ipn.mx.

RESUMEN

Las Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (BPCV) son microorganismos que habitan en la rizosfera o raíces de las plantas, favoreciendo su desarrollo mediante la producción de fitohormonas, la solubilización de minerales y la fijación biológica de nitrógeno, mejorando la tolerancia al estrés y facilitando simbiosis beneficiosas. En investigaciones recientes, se ha destacado su potencial para mejorar el desarrollo y rendimiento de plantas medicinales, influenciando la producción de metabolitos secundarios con propiedades terapéuticas. La Meseta Purépecha de Michoacán, conocida por su rica biodiversidad y suelos fértiles, es un entorno propicio para la flora medicinal, como la flor de hielo (*Gentiana bicuspidata*, GB). Sin embargo, la diversidad de esta planta ha disminuido en las últimas décadas. Para contribuir a su conservación y adaptación al cultivo, se aislaron y estudiaron bacterias de rizosfera, aprovechando la riqueza del suelo de la región. Se evaluó in vitro su capacidad de promover el crecimiento vegetal mediante la producción de ácido indol acético (AIA) determinado por método colorimétrico y solubilización de fosfatos por el método del fosfovanadato. A partir del aislamiento, se obtuvieron 10 bacterias, de las cuales GBS9 y GBS1 destacaron por su alta producción de AIA, superando los 100 µg eq AIA/mL, mientras que GBS8 y GBS9 solubilizaron fosfatos por encima de 200 µg eq P soluble/mL. Con los resultados obtenidos, se consideró a GBS 1 y GBS 9 como candidatas prometedoras para promover el crecimiento vegetal de GB. Estos aislados tienen el potencial para evaluar su efectividad en el crecimiento vegetal y la acumulación de metabolitos secundarios de interés en GB en condiciones de invernadero.

PALABRAS CLAVE

BPCV, Fitohormonas, Lamiáceas, Plantas medicinales, Solubilización de fosfatos.

INTRODUCCIÓN

La Meseta Purépecha, ubicada en el estado de Michoacán, México, se caracteriza por una diversidad de suelos que reflejan tanto su compleja geología como su historia volcánica. Son suelos ricos en materia orgánica y minerales esenciales, con una alta capacidad de retención de agua, suelen tener una textura ligera y bien estructurada, lo que facilita la penetración de las raíces y el desarrollo de plantas; generalmente presentan un pH ligeramente ácido a neutro, favoreciendo el crecimiento de una amplia gama de cultivos. Esta región está compuesta por suelos que han evolucionado

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

a partir de materiales volcánicos, lo que les confiere una alta fertilidad y características únicas que favorecen la agricultura y el crecimiento de diversas especies vegetales, incluyendo plantas medicinales (Garibay-Orozco & Bocco-Verdinelli, 2011).

La flor de hielo (*Gentiana bicuspidata*) pertenece a la familia Gentianaceae, es una planta perenne con raíces largas y delgadas, y tallos de 10 a 40 cm que pueden estar recostados o erguidos; sus hojas son pequeñas y estrechas, con bordes finamente dentados. Las flores, de color azul púrpura, aparecen solas en los extremos de los tallos. Los frutos son cápsulas alargadas con semillas pequeñas y aladas (Villarreal-Quintanilla et al., 2009). Es una planta nativa y endémica de México, que se puede encontrar en laderas y claros en medio de bosques de pino-encino y pino-oyamel en las porciones montañosas, en alturas entre 1800 a 3300 msnm. Florece durante casi todo el año, principalmente entre diciembre y marzo. Comúnmente se le conoce como flor de hielo, hielera o yolera, y recibe este nombre debido a que florece en las épocas más frías del año (Aguilar-Hernández et al., 2020). En la medicina tradicional se usa para tratar diversos problemas de salud, incluyendo afecciones digestivas, estimular el apetito y mejorar la digestión, reducir inflamaciones, aliviar dolores, fiebre, afecciones respiratorias, y para tratar problemas hepáticos (Vidari & VitaFinzi, 2010).

La Meseta Purépecha, con suelos ricos y fértiles, es ideal para plantas medicinales como *Gentiana bicuspidata* (GB). Sin embargo, factores como la demanda en medicina tradicional, el cambio climático y la urbanización han reducido sus poblaciones naturales. Para conservar GB, es crucial aprovechar los suelos purépechas de manera sostenible. Las Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (BPCV) son clave, ya que mejoran la disponibilidad de nutrientes y promueven el crecimiento saludable de las plantas mediante la producción de ácido indol acético (AIA) y la solubilización de fosfatos, esenciales para la fotosíntesis y el desarrollo celular.

El uso de BPCV, en combinación con los suelos fértiles de la meseta purépecha, no solo puede favorecer el cultivo y conservación de GB, sino también mantener la riqueza de los conocimientos ancestrales asociados a su uso, asegurando así la preservación de este valioso recurso medicinal. Por ello, el objetivo de esta investigación fue aislar BPCV de rizosfera de GB y evaluar su capacidad para producir indoles y solubilizar fosfatos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico. Se colectaron ejemplares silvestres de GB en enero de 2022 en el cerro de San Francisco, en el municipio de Tlalpujahuá, Michoacán (19° 46' 10.29" N, 100° 13' 16.94" W). La cepa HFC 103 (*Bacillus subtilis*) fue usada como referencia positiva.

Aislamiento de bacterias rizosféricas y caracterización morfológica y bioquímica. Se eligieron tres plantas de la colecta para explorar la diversidad de bacterias rizosféricas, se retiró el exceso de suelo sacudiendo las raíces sin tocarlas. En condiciones de esterilidad, se sacudió el suelo adherido a las raíces y se colocó sobre placa con medio Luria Bertani (LB) y se incubó a 28°C hasta la aparición de colonias bacterianas, que se purificaron y conservaron en glicerol a -20°C, hasta su análisis (Rat et al., 2021). La morfología, el tamaño, la forma, el color y el patrón de crecimiento de las colonias se registró después de 24 h de crecimiento y se realizó la reacción de Gram.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Además, se realizaron pruebas bioquímicas (motilidad, prueba de catalasa, oxidasa, prueba de citrato) (Cappuccino & Welsh, 2018).

Determinación de indoles por método colorimétrico (Anguiano-Cabello et al., 2017). Cada aislado se cultivó en caldo LB adicionado con triptófano (0.2%, v/v), adicionando 100 μl de inóculo bacteriano ajustado a 10^8 UFC/mL, se incubaron a 30°C con agitación constante por 10 días, se centrifugaron a 10,000 rpm por 30 min a 4°C , y 100 μl del sobrenadante se colocó en microplaca de 96 pocillos seguida de 100 μl de reactivo Salkowski; se incubó a 30°C por 30 min, y se leyó a 520 nm. La concentración de indoles se determinó por curva de calibración con el estándar ácido 3-indol acético (Sigma-Aldrich®) a 5 puntos (0-100 ppm; $y = 0.0018x + 0.0101$, $R^2 = 0.9911$). Los resultados se reportaron como μg equivalentes de AIA por mililitro ($\mu\text{g eq AIA/mL}$).

Solubilización de fosfatos por método del fosfovanamolibdato (modificado de (Hu et al., 2010). Los aislados se cultivaron en tubos con 10 ml de medio líquido Pikovskaya, y se incubaron por 7 días a 28°C en agitación; se centrifugaron a 7,000 rpm por 15 min, y se colectó el sobrenadante, del cual 100 μl se colocaron en microplaca y se añadieron 50 μl de NH_4VO_3 al 0.25% y 50 μl de $(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24}$ al 5%; reposaron 5 min y se leyó su absorbancia a 420 nm. La concentración de P soluble se determinó usando una solución de fosfato monoamónico (MAP) como referencia (curva de calibración a 5 puntos (0-160 $\mu\text{g/mL}$, $y = 0.0013x + 0.0461$, $R^2 = 0.9232$). Los resultados se reportaron como μg equivalentes de P solubilizado por mililitro ($\mu\text{g eq P soluble/mL}$).

Análisis estadístico. Todos los ensayos fueron realizados por triplicado; los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANDEVA) y una prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para la separación de medias con el software estadístico R® para Windows versión 3.3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron 10 aislados rizosféricos de GB (denominados GBS1 a GBS10). La caracterización morfológica y bioquímica mostró que todos los aislados son gram negativos, de forma bacilar, consistencia cremosa o seca, bordes ondulados o enteros y color blanco-beige; móviles, citrato-negativos, ornitina positivos, lisina-desaminasa negativos, ureasa negativos y fermentadores de glucosa, lactosa y sacarosa.

En todos los aislados GBS se observó la producción de indoles a diferentes concentraciones, sin embargo, GBS 1 y GBS 9 fueron los mejores productores de AIA al obtener hasta 2.5 y 3 veces más que la cepa de referencia HFC 103 (Cuadro 1). Asimismo, los resultados mostraron que todos los aislados tienen potencial como solubilizadores de P; no obstante, el P solubilizado obtenido de GBS 9 fue hasta 1.5 veces mayor comparado con la cepa de referencia (Cuadro 1).

Los resultados son superiores a lo obtenido por Sharma et al. (2015), quienes aislaron cepas de *Azotobacter* y *Pseudomonas* a partir de la rizosfera de *Swertia ciliate* y *S. chirayita* (Gentianaceae) y analizaron su producción de AIA; los autores reportaron que los aislados produjeron hasta 18 $\mu\text{g AIA/mL}$, lo que resulta 9 veces menor a lo obtenido para los aislados de GB. El AIA tiene un rol importante en la formación de raíces, la absorción de nutrientes y la resistencia a varios estreses abióticos como la sequía, la salinidad y la toxicidad por metales pesados, mejorando la resiliencia de las plantas y ofreciendo así rutas prometedoras hacia una agricultura sostenible (Etesami & Glick, 2024).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cuadro 1. Producción de indoles y solubilización de fosfatos de los aislados rizosféricos de GB.

AISLADO	PRODUCCIÓN DE INDOLES	P SOLUBILIZADO
	$\mu\text{g eq AIA/mL}$	$\mu\text{g eq P soluble/mL}$
GBS 1	150.17 \pm 7.67 a	183.98 \pm 16.5 d
GBS 2	78.71 \pm 16.8 e	217.07 \pm 12.38 bc
GBS 3	91.61 \pm 7.43 cd	236.42 \pm 16.75 b
GBS 4	50.94 \pm 7.19 f	141.53 \pm 11.6 fg
GBS 5	104.93 \pm 9.14 b	160.73 \pm 12.76 ef
GBS 6	80.67 \pm 10.15 de	132.9 \pm 9.79 g
GBS 7	108.78 \pm 4.34 b	212.95 \pm 21.88 c
GBS 8	36.52 \pm 2.28 g	177.2 \pm 16.17 de
GBS 9	121.52 \pm 4.34 ab	288.55 \pm 16.1 a
GBS 10	43.63 \pm 3.1 fg	142.25 \pm 16.59 fg
HFC 103	50.04 \pm 10.51 h	189.48 \pm 3.99 d

Se muestra la media \pm desviación estándar; letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$; $n=9$).

Sharma et al. (2015) analizaron la solubilización de P en los aislados de *Azotobacter* y *Pseudomonas* de *Swertia ciliate* y *S. chirayita*. Los autores reportaron hasta 14 $\mu\text{g/mL}$ de P soluble después de 96 h de incubación; los resultados obtenidos para los aislados de GB fueron hasta 20 veces mayores, por lo que se consideraron como excelentes solubilizadores de fosfatos. El principal mecanismo de solubilización de P es la secreción de compuestos que disuelven minerales de P, como ácidos orgánicos, protones y sideróforos. Los ácidos orgánicos producidos aumentan el P disponible para las plantas en la rizosfera al formar complejos con cationes (P-Al o P-Fe) o al bloquear los sitios de absorción de P en las partículas del suelo. Estos ácidos orgánicos son producto del metabolismo microbiano, principalmente por respiración oxidativa o fermentación de fuentes orgánicas como la glucosa (Elhaisoufi et al., 2022). Además, la disponibilidad de fósforo puede influir en la expresión de genes relacionados con el metabolismo secundario, que es responsable de la producción de compuestos fitoquímicos como alcaloides, flavonoides, y terpenoides (Egamberdieva & Teixeira, 2015).

CONCLUSIONES

Todos los aislados nativos rizosféricos de GB produjeron indoles, destacando a GBS 1 y GBS 9 como los mejores productores de AIA. Asimismo, todos los aislados se consideraron solubilizadores de P, con GBS 9 como el mayor solubilizador de P. La acción combinada del AIA y la solubilización de fosfatos puede maximizar el crecimiento vegetal al estimular el crecimiento, expandir el sistema radicular y mejorar el acceso a nutrientes básicos para las plantas, por lo que se considera a los aislados GBS 1 y GBS 9 como candidatos prometedores para promover el crecimiento vegetal.

AGRADECIMIENTOS

La primera autora agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo económico a través de la beca nacional 558794.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguiar-Hernández, A., Lugo-Ríos, I., & Vargas-Rivera, L. A. (2020). La flor del hielo: *Gentiana spathacea* Kunth, uso medicinal en Hidalgo, México. *Herreriana, Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo*, 1(2), 34–35. <https://doi.org/https://doi.org/10.29057/h.v1i2>
- Anguiano-Cabello, J. C., Flores-Olivas, A., Ochoa-Fuentes, Y. M., Arredondo-Valdés, R., & Olalde-Portugal, V. (2017). Fast Detection of Auxins by Microplate Technique. *American Journal of Plant Sciences*, 8, 171–177. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.82013>
- Cappuccino, J. G., & Welsh, C. (2018). Microbiology, a laboratory manual. In *Pearson Education Limited*.
- Egamberdieva, D., & Teixeira, J. A. (2015). Medicinal Plants and PGPR: A New Frontier for Phytochemicals. In D. Egamberdieva, S. Shrivastava, & A. Varma (Eds.), *Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) and Medicinal Plants* (Vol. 42, pp. 287–303). Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-13401-7>
- Elhaisoufi, W., Ghoulam, C., Barakat, A., Zeroual, Y., & Bargaz, A. (2022). Phosphate bacterial solubilization: A key rhizosphere driving force enabling higher P use efficiency and crop productivity. *Journal of Advanced Research*, 38, 13–28. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2021.08.014>
- Etesami, H., & Glick, B. R. (2024). Bacterial indole-3-acetic acid: A key regulator for plant growth, plant-microbe interactions, and agricultural adaptive resilience. *Microbiological Research*, 281. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2024.127602>
- Garibay-Orozco, C., & Bocco-Verdinelli, G. (2011). *Cambios de uso del suelo en la meseta purépecha (1976-2005)* (SEMARNAT, Ed.; 1°). INECOL.
- Hu, X.-J., Li, Z.-J., Cao, Y.-C., Zhang, J., Gong, Y.-X., & Yang, Y.-F. (2010). Isolation and identification of a phosphate-solubilizing bacterium *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* g6, and effects of temperature, salinity, and pH on its growth under indoor culture conditions. *Aquacult Int*, 18, 1079–1091. <https://doi.org/10.1007/s10499-010-9325-8>
- Rat, A., Naranjo, H. D., Krigas, N., Grigoriadou, K., Maloupa, E., Alonso, A. V., Schneider, C., Papageorgiou, V. P., Assimopoulou, A. N., Tsafantakis, N., Fokialakis, N., & Willems, A. (2021). *Endophytic Bacteria From the Roots of the Medicinal Plant Alkanna tinctoria Tausch (Boraginaceae): Exploration of Plant Growth Promoting Properties and Potential Role in the Production of Plant Secondary Metabolites*. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.633488>
- Sharma, V., Kamal, B., Srivastava, N., Negi, Y., Dobriyal, A. K., & Jadon, V. S. (2015). Enhancement of in vitro growth of *Swertia chirayita* Roxb. Ex Fleming co-cultured with plant growth promoting rhizobacteria. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 121(1), 215–225. <https://doi.org/10.1007/s11240-014-0696-9>
- Vidari, G., & VitaFinzi, P. (2010). Las Gentianaceae: botánica, fitoquímica y actividad biológica. *La Granja, Revista de Ciencias de La Vida*, 11(1), 3–14. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476047395002>
- Villarreal-Quintanilla, J. A., Estrada-Castillón, A. E., & Jasso de Rodríguez, D. (2009). El género *Gentiana* (Gentianaceae) en México. *Polibotánica*, 27, 1–16.

EFFECTO BIOESTIMULANTE DE QUITINA Y QUITOSANO EN GERMINACIÓN Y DESARROLLO DE *Vitis tiliifolia* HUMB. & BONPL. EX SCHULT

**Verenice Borbonio-Fernández¹; Humberto Mata-Alejandro¹;
Daniel Tapia-Maruri²; Paul Edgardo Regalado Infante¹;
Luz Irene Rojas-Avelizapa^{*1}**

¹Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Peñuela-Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C.P. 94945.

²Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del IPN. Carretera Yauatepec-Jojutla S/N, Km 85. San Isidro. CP62739. San Isidro, Morelos, México. *luzrojas@uv.mx

RESUMEN

El género *Vitis* comprende en su mayoría especies nativas de regiones templadas. En Veracruz, México, se reportan 13 vitáceas de las cuales cinco pertenecen al género *Vitis*, entre ellas *Vitis tiliifolia*. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto estimulante en la germinación y crecimiento de *V. tiliifolia* inducido por quitina y quitosano en suelo. Para ello durante el periodo octubre 2023 a junio 2024 se evaluó el crecimiento y desarrollo de plantas de uva silvestre a partir de semillas obtenidas de fruto fresco que provenían del municipio de San Andrés Tuxtla, Veracruz; dichas semillas fueron tratadas *in vitro* con quitosano al 2 % y con quitina al 2 % adicionada al suelo, más el testigo absoluto (agua), bajo un diseño completamente al azar. Se registraron las siguientes variables: altura de planta, número de hojas, número de ramificaciones, número de raíces secundarias, diámetro de tallo, largo y ancho de hoja. Los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias por Tukey ($p < 0.05$). El tratamiento con quitosano al 2% mostró diferencias significativas en la variable altura con un valor de 114.13 cm ($p < 0.01$) mientras que la quitina al 2% en suelo mostro mejores resultados para las variables número de hojas y número de ramificaciones alcanzando valores de 23.85 y 4.57, respectivamente ($p < 0.01$; $p < 0.05$). El uso combinado de quitina y quitosano en el cultivo de *V. tiliifolia* podría representar un potencial para el fitomejoramiento de especies de uva silvestre.

PALABRAS CLAVE

Biostimulante de suelos; Inductor radical; Quitina; Quitosano; *Vitis tiliifolia*.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la vid (*Vitis vinífera* L.) es considerado uno de los cultivos más antiguos y económicamente rentables de los que se tiene registro (Borja-Bravo *et al.*, 2016). A nivel mundial representa una actividad importante, debido a su producción, exportación y explotación. En México, la producción de uva está relacionada con la llegada de los españoles, sin embargo, algunos registros estiman que en el nuevo mundo las civilizaciones prehispánicas hacían uso de vides nativas, con finalidades medicinales o de consumo en épocas de invierno (Franco-Mora y Cruz-Castillo, 2012).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Vitis, es un género con unas 60 especies las cuales en su mayoría son nativas de regiones templadas del hemisferio boreal y unas pocas del área intertropical (Rzedowski, 2005). A pesar de que las vides están presentes en la mayoría de los estados de la república mexicana, los reportes afirman su mayor presencia en la zona centro y sur del país, encontrándose en los estados de: Guanajuato, Michoacán, Morelos, Estado de México, Hidalgo, Querétaro, Veracruz, Oaxaca, Tabasco, Chiapas, Guerrero y Yucatán.

Para el estado de Veracruz, se reportan alrededor de 13 vitáceas de las cuales cinco de ellas pertenecen al género *Vitis* siendo: *tiliifolia*, *bourgaeana*, *biformis*, *cinérea* y *popenoei*, presentes en 61 municipios principalmente en la zona montañosa del estado (Mata, et al., 2019). Particularmente *V. tiliifolia*, es un arbusto trepador a modo de liana, donde sus frutos son aprovechados para hacer jaleas, mermeladas y vinos artesanales, además de poseer propiedades medicinales, constituyendo un excelente alimento medicinal (SIAP, 2017). En Veracruz existen importantes viñedos de *V. tiliifolia*, principalmente en San Andrés Tuxtla, destinados a la producción de vino artesanal, sin embargo, una de las problemáticas que presenta es la baja tasa de germinación en semillas, por lo que el presente trabajo buscó determinar el efecto bioestimulante en el crecimiento de *V. tiliifolia* inducido por quitina y quitosano, biopolímeros naturales extraídos de la cáscara de camarón, los cuales poseen diversas propiedades, entre ellas la estimulación de crecimiento vegetal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente experimento se llevó a cabo en el periodo octubre 2023- junio 2024, en el invernadero del Laboratorio de Biotecnología Microbiana de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana, campus Peñuela, Región Orizaba-Córdoba, localizada entre las coordenadas latitud norte 18°51'36" y longitud oeste 96°54'10" a una altura de 738 m.s.n.m.

El material biológico empleado fue semillas de uva silvestre extraídas de fruto maduro recolectado en la Región de Los Tuxtlas, región vinícola veracruzana" en el municipio de San Andrés Tuxtla, Veracruz, en el viñedo "Finca Tepach". Se trabajó con 150 semillas, las cuales fueron lavadas con agua hasta eliminar los restos de pulpa, posteriormente fueron sumergidas en agua destilada por 72 h para reblandecer la testa. Posteriormente, 50 semillas fueron destinadas para el tratamiento uno (T1) que consistió en sembrarlas directamente en el suelo, en el tratamiento dos (T2), 50 semillas fueron sumergidas ahora en quitosano solubilizado al 2 % durante 24 h y posteriormente sembradas en suelo, para el tratamiento tres (T3), dado que la quitina es un material insoluble, fue agregada directamente al suelo a una concentración del 2%, donde posteriormente fueron colocadas las semillas. De esta manera los tratamientos fueron los siguientes: T1 (agua), T2 (quitosano al 2%) T3 (quitina al 2%). Las semillas fueron colocadas en charolas de germinación de plástico de 25 cavidades, ocupando dos charolas por tratamiento, en un suelo compuesto por Peetmost, agrolita, composta y suelo agrícola en una relación 1:1:1:1.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Para el tratamiento con quitina se agregó una dosis de 20 gramos por cada kilogramo de suelo adicionado de sustratos. El porcentaje de germinación se calculó a los 20 días. A los dos meses fueron trasplantadas en la misma proporción de suelo-sustrato en bolsas negras de 15 X 25 cm.

Las variables evaluadas para esta segunda etapa fueron las siguientes: porcentaje de germinación (PG), el cual se midió al momento de la emergencia de los cotiledones; altura de planta (ALT), registrando la altura en centímetros desde la base del tallo hasta el ápice de la hoja más joven; número de hojas (NH), se contabilizó desde la base de la planta hasta la última hoja apical vigorosa; largo y ancho de hoja (LH, AH), se registró la dimensión en centímetros de la hoja; diámetro de tallo (DT), se midió en milímetros con ayuda de un vernier; número de ramificaciones (NRM), se contabilizó desde la base de la planta todas las ramificaciones laterales a la guía principal; número de raíces secundarias (NRS), se contaron las raíces secundarias o laterales de la raíz principal. Estas variables, a excepción del porcentaje de germinación, fueron medidas en 15 plántulas tomadas al azar, hasta la parte final del experimento. Para ello se utilizó un diseño completamente al azar, aplicando un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias por Tukey ($P > 0.05$), con el *software* estadístico R (R Core Team 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tratamiento que mostró mayor porcentaje de germinación fue el testigo absoluto (agua), seguido de quitosano al 2%, siendo la quitina al 2% en suelo, el tratamiento con menor porcentaje de germinación, con valores de 36%, 30% y 24%, respectivamente. Estos resultados son similares a los reportado por Reyes-Pérez *et al.* (2022) quienes al evaluar la aplicación de quitosano y ácidos húmicos en semillas de pepino (*Cucumis sativus* L.), encontraron que la aplicación de quitosano presentó el menor porcentaje de emergencia, sin embargo, el porcentaje obtenido es considerablemente mayor a lo reportado por Chanaluisa (2022), quien obtuvo un porcentaje de germinación de 24.03% referente al control al aplicar quitosano en una dosis de 300 mg L⁻¹ en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

De los resultados obtenidos de cada uno de los tratamientos, el que mostro mayor diferencia significativa con respecto a la altura de las plantas (ALT) fue quitosano al 2% con un valor de 114.13 cm, seguido de tratamiento con quitina de 98.35 cm y finalmente el testigo 75.86 cm. Con respecto al número de hojas (NH) el valor más alto fue de 23.85 cm con quitina al 2% y en número de ramificaciones (NRM) se tuvo un valor considerablemente más alto para quitina al 2% de 4.57. (Cuadro 1). En diversos estudios se ha comprobado que, en diferentes cultivos, el quitosano puede estimular el crecimiento de las plantas, logrando un mayor desarrollo de sus elementos como raíces, hojas, etc. Aunado a esto, se sabe que puede propiciar un efecto elicitor en las plantas tratadas (Cabanillas, 2016). Con respecto a la quitina se ha reportado que esta modifica la biota nativa del suelo, prevaleciendo la presencia de actinomicetos, quienes contribuyen al control de hongos fitopatógenos y a la mejora de la estructura de los suelos (Ramírez *et al.*, 2010).

Cuadro 1. Comparación de las variables evaluadas en plantas de *Vitis tiliifolia*.

Fuente de variación	T1 (agua)	T2 (quitosano 2%)	T3 (quitina 2%)
ALT (cm)	75.86 ± 22.5 b	114.13 ± 28.6 a	98.35 ± 18.83 a
NH	19.33 ± 8.02 a	20.93 ± 6.62 a	23.85 ± 10.31 a
NRM	2.26 ± 1.09 b	1.93 ± 0.88 b	4.57 ± 2.40 a
DT (mm)	2.33 ± 0.72 a	2.46 ± 0.74 a	2.42 ± 0.64 a
LH (cm)	5.62 ± 0.62 a	6.04 ± 0.82 a	6.10 ± 0.67 a
AH (cm)	5.48 ± 0.56 b	5.88 ± 0.74 ab	6.09 ± 0.49 a

Nota: Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$); \pm desviación estándar. ALT=altura; NH= número de hojas; NRM= número de ramificaciones; DT= diámetro de tallo; LH= largo de hoja; AH= ancho de hoja. T1=agua; T2= quitosano al 2%; T3= quitina al 2% en sustrato.

Para la variable número de raíces, numéricamente el tratamiento con quitina y quitosano al 2 % en suelo-sustrato mostraron mayor número de raíces, lo cual resultó difícil de contabilizar, sin embargo, fue muy notoria la diferencia en ambos tratamientos con respecto al testigo. Considerando únicamente las raíces de mayor tamaño se encontró que quitina al 2% presentó cinco raíces gruesas y de mayor tamaño con raicillas incontables, quitosano al 2% presentó tres con múltiples raicillas y el testigo solo dos y menos cantidad de raicillas (Figura 2 y 3).

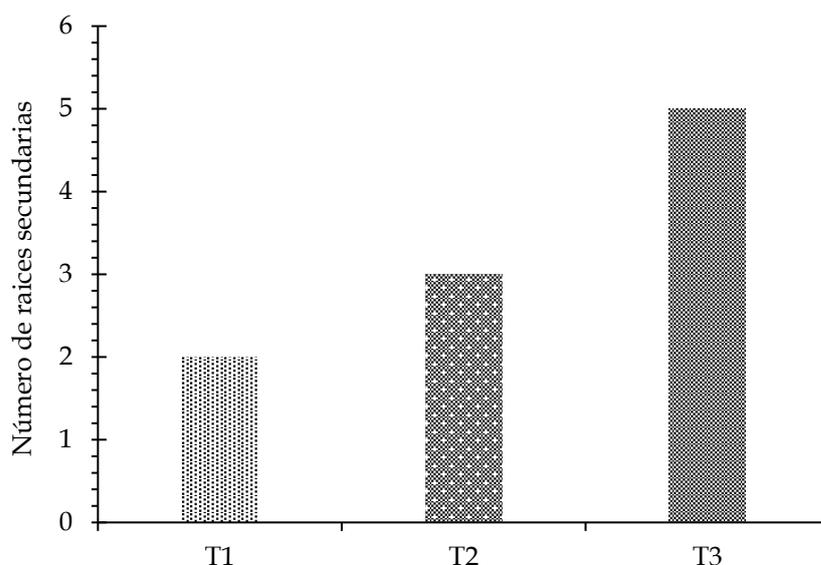


Figura 2. Número de raíces secundarias de *Vitis tiliifolia*. T1=agua; T2= quitosano al 2%; T3= quitina al 2% en sustrato.



Figura 3. Apariencia cualitativa de raíces de uva silvestre (*Vitis tiliifolia*). T1=agua; T2= quitosano al 1%; T3= quitina al 2% en sustrato.

CONCLUSIONES

La quitina y el quitosano al 2% no presentan un efecto sobre la germinación de las semillas de *V. tiliifolia*. Sin embargo, el quitosano al 2% presentó un efecto estimulador del crecimiento de la planta superior a quitina al 2% y al testigo, además de aumentar el número de raíces. La quitina al 2% utilizada solo a nivel de suelo, mostró un mejor efecto en el número de ramificaciones, número de hojas y produjo también raíces más largas y gruesas. Estos datos pueden contribuir como punto de partida para el fitomejoramiento de plantas de *V. tiliifolia*.

AGRADECIMIENTOS

A Finca Tepach y al Lic. Salvador Díaz del Castillo Domínguez por proporcionar la semilla de *Vitis tiliifolia*; al CONAHCYT por la beca otorgada en la maestría en Horticultura Tropical, de la Universidad Veracruzana.

BIBLIOGRAFÍA

- Borja-Bravo, M., García-Salazar, J.A., Reyes-Muro, L., y Arellano-Arciniega, S. (2016). Rentabilidad de los sistemas de producción de uva. *Revista Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 13(1), 151- 168.
- Cabanillas, B. L. (2016). Efecto de cubiertas de Quitosano obtenido en condiciones óptimas de fermentación láctica de cabezas de camarón sobre el comportamiento poscosecha de papaya (*Carica papaya* L.) procesada mínimamente. Tesis de Doctorado. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA).
- Chanaluiza, S. J. S. (2022). Respuesta agronómica y fitosanitaria de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la aplicación de quitosano en condiciones de invernadero Tesis de maestría. Universidad Técnica de Machala.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Franco-Mora, O. y Cruz-Castillo, J. G. (2012). Antecedentes. Evolución y potencial. En F. M. Omar y C. C. Juan Guillermo (Eds), *La vid silvestre en México. Actualidades y potencial.* (pp. 15-30). Editorial Mexicana.
- Mata, A. H. (2019). Modelo de aprovechamiento sostenible de en la región de las altas montañas de Veracruz, México. Tesis de Doctorado. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.
- Ramírez, M. A., Rodríguez, A. T., Alfonso, L. y Peniche, C. (2010). La quitina y sus derivados, biopolímeros con potencialidades de aplicación agrícola. *Biotecnología Aplicada*, 27: 262-269.
- Reyes-Pérez, J. J., Rivero-Herrada, M., Andagoya Fajardo, C. J., Beltrán-Morales, F. A., Hernández-Montiel, L. G., García Liscano, A. E., y Ruiz-Espinoza, F. H. (2021). Emergencia y características agronómicas del *Cucumis sativus* a la aplicación de quitosano, *Glomus cubense* ácidos húmicos. *Biotecnia*, 23(3), 38-44.
- Rzedowski, J. (2005). Flora del bajío y regiones adyacentes. Vitaceae. Recuperado de: <http://incolbajio.incol.mx/floradelbajio/documentos/fasciculos/ordinarios/Vitaceae%20131.pdf>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SIAP. (2022). Vid (*Vitis tiliifolia* H.). Generalidades de la red vid. Recuperado de: <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/vid-vitis-tiliifolia-h>

NANOPARTÍCULAS DE SELENIO MEJORAN LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS Y LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA EN LA LECHUGA

Jazmín M. Gaucin-Delgado¹; Alejandra Gaucin-Delgado²;
Pablo Preciado-Rangel^{3†}

¹ Universidad Politécnica de Gómez Palacio. Carretera El Vergel-La Torreña km 0820, El Vergel. 35120 Gómez Palacio, Durango, México.

² Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico No. 1555, Periférico Lerdo km 14.5, Placido Domingo. 35150 Lerdo, Durango, México.

³ Campus del Instituto Técnico Politécnico Nacional de M.T. Carretera T.S.P km 7.5 ejido Ana, Torreón, Estado de Coahuila, México C.P 27170.

† Autor por correspondencia: ale.gaucin@itsl.edu.mc

RESUMEN

Uno de los elementos más importantes en la salud en los mamíferos es el selenio (Se), pero no se considera esencial en los programas de fertilización de cultivos. En este estudio determina los efectos de la pulverización de nanopartículas de selenio (Se-NPs) sobre el rendimiento, los antioxidantes no enzimáticos en lechuga. Se consideraron seis aplicaciones de diferentes concentraciones de Se-NP: 0, 1, 5, 10, 15 y 20 mg L⁻¹. Los resultados mostraron que las dosis altas disminuyen el rendimiento de antioxidantes no enzimáticos, pero aumentan el aglutinamiento del Se en las hojas de lechuga. La dosis recomendada aquí es de 1 mg L⁻¹ para producción de biomasa y 10 mg L⁻¹ para compuestos bioactivos y actividad enzimática.

PALABRAS CLAVE

Antioxidantes; Biofortificación; *Lactuca sativa* L.; Nanopartículas; Nanotecnología.

INTRODUCCIÓN

Uno de los oligoelementos esenciales para el hombre es el selenio (Se); su consumo previene daños celulares, alteraciones tiroideas, confusión mental, depresión, mutaciones y cáncer, entre otros. En las plantas solo asimilan una pequeña porción (<5%) del Se aplicado (Gaucin *et al.*, 2020).

Una alternativa para incrementar el Se en las plantas es la nanobiofortificación foliar, que puede aumentar el contenido mineral en las partes comestibles de los vegetales (Guillén *et al.*, 2022). Las nanopartículas (NPs) aplicadas vía foliar y a base de oligoelementos como Se son una alternativa de nano-biofortificación agronómica.

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) un fruto importante por su consumo fresco o mezclada en ensaladas (Javaid *et al.*, 2024). El interés de los consumidores por la lechuga ha ido en aumento debido a su composición baja en calorías, y mínima carga microbiana de fitoquímicos benéficos para la salud humana, como ácidos fenólicos, flavonoides, entre otros (El-Nakhel *et al.*, 2020). Por ello el objetivo fue evaluar los efectos de las Se-NPs sobre rendimiento y calidad nutrimental en lechuga mediante aspersiones foliares.

MATERIALES Y MÉTODOS

Realización de la investigación y especie utilizadas

El presente estudio se realizó en el invernadero del (ITT) Instituto Tecnológico de Torreón en Torreón. Plántulas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) de casa Parris Island (Huertas®, México) se colocaron en macetas de 5 L que contenían una mezcla de arena y perlita (80:20; v:v) a una densidad de siembra de 4 plantas m²; uso de sistema de riego por goteo y solución nutritiva Steiner.

Nanopartículas, tratamientos y diseño experimental

Las Se-NPs fueron sintetizadas por Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), bajo la metodología de Quiterio-Gutiérrez *et al.* (2019). El tamaño fue de 2-20 nm en forma esférica y se aplicó con adherencia ADH (resina acrílica adhesiva) sobre las hojas cada 15 días con un total de seis aplicaciones durante las primeras horas de la mañana. Las unidades experimentales tuvieron un diseño completamente al azar y cada tratamiento se repitió siete veces, con las siguientes concentraciones: 0, 1, 5, 10, 15 y 20 mg L⁻¹ (Gaucin *et al.*, 2020). Las aplicaciones se realizaron cada 15 días después del trasplante hasta la cosecha.

Evaluación de variables

Se colectaron a los 60 días después del trasplante siete plantas por tratamiento y se determinó su composición: pigmentos fotosintéticos (mg g⁻¹ PF) Wellburn (1994); contenido de flavonoides totales (mg GAE 100 g⁻¹ PF) (Guillén *et al.*, 2022); flavonoides (mg QE 100 g⁻¹ PF) (Souza *et al.*, 2014) y capacidad antioxidante (μM equivalente en Trolox 100 g⁻¹ PS) (Gaucin *et al.*, 2020)

Análisis estadístico

Para la obtención de los resultados se realizó un análisis mediante un análisis de varianza y la separación de medias mediante la prueba de Tukey (p< 0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las Se-NPs indujeron un aumento en el contenido de clorofila total, y la concentración aplicada por pulverización de 10 mg L⁻¹ aumentó en un 47% (Figura 2a). Utilizando dosis crecientes de Se en plantas de lechuga el rendimiento disminuye a medida que aumenta la concentración de Se. El aumento en el contenido de pigmentos fotosintéticos puede atribuirse a la capacidad del Se para proteger las enzimas del cloroplasto y aumentar la biosíntesis de los pigmentos fotosintéticos (Thakur, Bhattacharya, Khosla y Puri, 2019). En los resultados del presente estudio, la respuesta de las plantas a las Se-NPs depende de la dosis utilizada, ya que una dosis baja promueve el peso de la lechuga, provocando un efecto fitotóxico y dañando los procesos metabólicos de la planta. Además, dosis altas de Se puede mantener una estrecha correlación con la fotosíntesis al realizar una inhibición neta y con ello la disminución del crecimiento en las plantas. Los efectos tóxicos del Se en las células vegetales están relacionados con la interferencia del metabolismo del selenio, lo que resulta en clorosis foliar y dosis altas provocan un decremento en la síntesis de proteínas y baja producción en materia seca. La toxicidad del selenio ocurre generalmente en altas concentraciones foliares (Sindireva *et al.*, 2023).

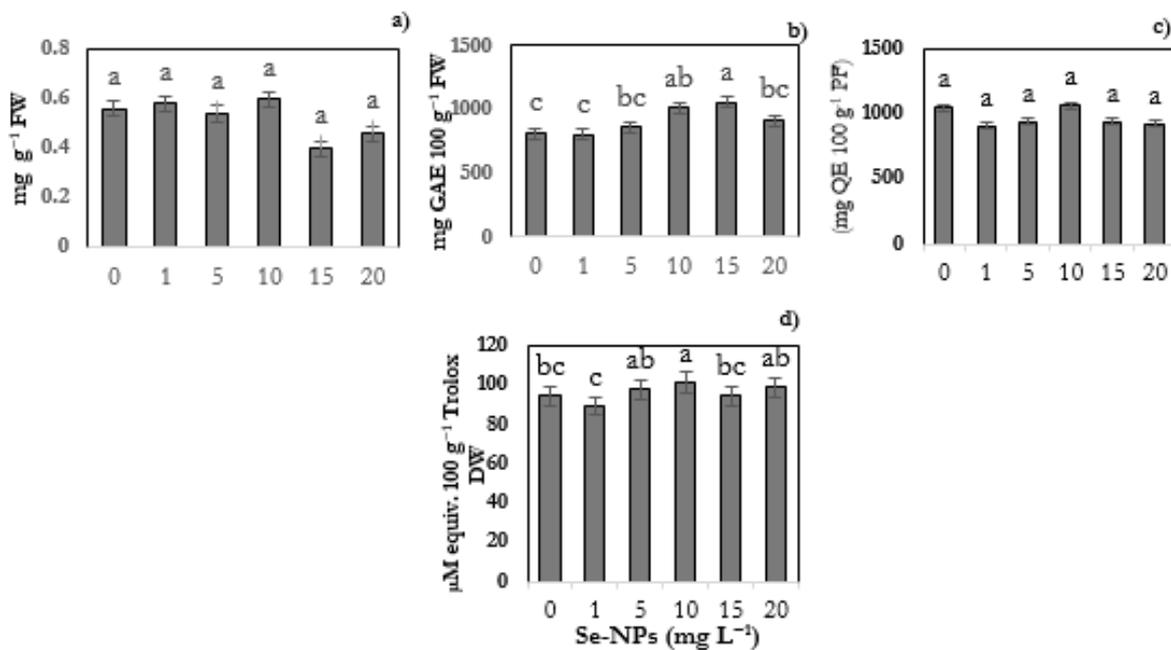


Figura 1. Efecto de las Se-NPS sobre (a) clorofila total, (b) contenido fenólico total, (c) flavonoides y (d) antioxidantes totales en lechuga.

La aplicación foliar de Se-NPs afectó positivamente a los compuestos fitoquímicos (fenólicos totales, flavonoides, actividad antioxidante y glutatión) (Figura 2b, e), obteniéndose mayor acumulación de los compuestos con 10 mg L⁻¹, provocando una superación al control en un 12, 19, 31 y 11%, respectivamente. Las NPs han demostrado mejorar las plantas cultivadas bajo estrés por muchos mecanismos, como mejorar el sistema de defensa antioxidante, promover la fotosíntesis e incrementar el agua, nutrientes y fitohormonas. Este tipo de respuesta depende de la dosis utilizada, ya que las Se-NPs pueden inducir respuestas negativas a la dosis determinada, mientras que, en otras, pueden inducir el efecto contrario o simplemente no tener efecto (Joudeh y Linke, 2022). El resultado anterior puede explicarse porque las plantas experimentan estrés oxidativo causado por la aplicación foliar de Se-NPs, y las plantas necesitan adaptarse metabólicamente para superar el estrés, lo que induce efectos secundarios. síntesis de metabolitos. Esta adaptación mejora las propiedades funcionales en muchas especies vegetales, incluida la lechuga, cuando se induce una mayor biosíntesis de metabolitos secundarios. Estos metabolitos secundarios incluyen compuestos fenólicos, flavonoides, alcaloides, glicósidos y taninos, entre otros, que ayudan a aumentar la capacidad antioxidante en el fruto (Sindireva *et al.*, 2023).

CONCLUSIONES

La aplicación foliar de Se-NPs en dosis altas reduce el rendimiento, la calidad bioactiva en las hojas de lechuga. La dosis recomendada es de 10 mg L⁻¹ maximizando los compuestos bioactivos. Por lo tanto, la aplicación de Se-NPs puede modular la acumulación de compuestos nutrimentales, contribuyendo a mejorar la calidad nutricional de la lechuga.

BIBLIOGRAFÍA

- El-Nakhel, C., Petropoulos, S.A., Pannico, A., Kyriacou, M.C., Giordano, M., Colla, G., Troise, A.D., Vitaglione, P., De Pascale, S., & Rouphael, Y. (2020). The effects of genotype and macronutrient composition on the bioactive properties of lettuce grown in a closed soilless system. *Food Chemistry*, 309, 125713. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125713>
- Gaucin-Delgado, J.M., Hernandez-Montiel, L.G., Sanchez-Chavez, E., Ortega-Ortiz, H., Fortis-Hernandez, M., Reyes-Pérez, J.J., & Preciado-Rangel, P. (2020). Enhancing tomato yield and nutraceutical quality through selenium agronomic biofortification in soilless systems. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48, 1221-1232. <https://doi.org/10.15835/nbha48312000>
- Guillén-Enríquez, R.R., Zuñiga-Estrada, L., Ojeda-Barrios, D.L., Rivas-García, T., Trejo-Valencia, R., & Preciado-Rangel, P. (2022). Influence of iron nanobiofortification on cucumber yield and bioactive compound content. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13, 173-184. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3272>
- Joudeh, N., & Linke, D. (2022). A review of nanoparticle classification, physicochemical properties, and applications for biological research. *Journal of Nanobiotechnology*, 20, 262. <https://doi.org/10.1186/s12951-022-01477-8>
- Sindireva, A., Golubkina, N., Bezuglova, H., Fedotov, M., Alpatov, A., Erdenotsogt, E., & Caruso, G. (2023). Effects of high doses of selenate, selenite, and nanoselenium on biometric traits, yield, and biofortification in *Vicia faba* L. cultivars. *Plants*, 12, 2847. <https://doi.org/10.3390/plants12152847>
- Thakur, M., Bhattacharya, S., Khosla, P.K., & Puri, S. (2019). Enhancement of plant secondary metabolite production through biotic and abiotic elicitation techniques. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 12, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.11.0>

LAS NANOPARTÍCULAS DE HIDROXIAPATITA INCREMENTAN LA CALIDAD FORRAJERA EN ALFALFA

Nahle-Martínez Armando¹; Ramírez-Gottfried Ricardo Israel^{1*};
Rodríguez-García Belén Guadalupe¹; Mario García-Carrillo¹;
Espinosa-Palomeque Bernardo²

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Periférico Raúl López Sánchez s/n colonia valle verde. Torreón, Coahuila. México.

²Universidad Tecnológica de Escuinapa, Camino al Guasimal s/n, colonia Centro, Escuinapa de Hidalgo, Sinaloa, México.

*gottfried_ricardo@hotmail.com

RESUMEN

En esta investigación se evaluó el impacto de la aplicación de nanopartículas de hidroxapatita de calcio en el porcentaje de proteína cruda (%PC), fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente acida (FDA) en el cultivo de alfalfa. Se aplicaron 5 tratamientos que consistieron en diferentes concentraciones de la nanopartícula, T1= 0 mg L⁻¹, T2= 100 mg L⁻¹, T3= 200 mg L⁻¹, T4=300 mg L⁻¹ y T5= 400 mg L⁻¹. Los resultados indican que la aplicación del T2 (200 mg L⁻¹) provocó que se presentara la mayor cantidad de proteína con 24.70 %, además logró los menores porcentajes de FDN y FDA, por lo tanto, estimuló de manera favorable al cultivo para aumentar su calidad forrajera. Concentraciones mayores a 200 mg L⁻¹ de la nanopartícula de hidroxapatita ocasionaron una disminución en la calidad de la alfalfa.

PALABRAS CLAVE

Biofortificación; Fibra; *Medicago sativa*; Proteína.

INTRODUCCIÓN

En la agricultura, uno de los principales problemas que se presenta es el bajo aprovechamiento de los nutrientes que se aplican mediante fertilizantes, como consecuencia se incrementan los costos de producción y se generan impactos ambientales negativos (Marchiol *et al.*, 2019). La biofortificación consiste en incrementar el contenido mineral y propiedades de importancia económica en los cultivos, mediante la aplicación de nanopartículas de manera foliar (Guillen-Molina *et al.*, 2007). La nanotecnología mejora el aprovechamiento de los insumos agrícolas y es sostenible para el medio ambiente. Las nanopartículas impactan de manera benéfica la agricultura, sin embargo, existen incertidumbres en la síntesis, aplicación y absorción celular. Queda un gran camino por recorrer en investigaciones de esta magnitud, evaluando la mecánica y toxicidad de las nanopartículas (Singh *et al.*, 2020). Las nanopartículas de hidroxapatita de calcio, poseen un potencial de suma importancia para poder ser utilizados como nanofertilizante. (Marchiol *et al.*, 2019). Diversos estudios indican el potencial de estas nanopartículas para incrementar la biomasa, calidad nutracéutica y bromatológica en diversos cultivos (Flores-Hernández *et al.*, 2021). La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es un cultivo muy importante en los sistemas

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

agrícolas, su utilización como forraje aporta un sinnúmero de requerimientos nutricionales al ganado (Yan-Jie *et al.*, 2018). La alfalfa es catalogada como la reina de los forrajes, esto debido a su alto valor nutricional, hoy en día es un desafío enorme la producción de esta leguminosa para los agricultores por diferentes factores ambientales y como consecuencia existe una alta amenaza en la seguridad alimentaria del mundo (El-Ramady, *et al.*, 2020). El objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar el impacto de la aplicación foliar de diferentes dosis de nanopartículas de hidroxapatita de calcio en la calidad forrajera del cultivo de alfalfa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo de investigación se realizó bajo condiciones controladas en un invernadero ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Por medio de la metodología descrita por (Flores-Hernández *et al.*, 2021) se obtuvieron las nanopartículas de hidroxapatita. El material vegetal utilizado fue RUVA 101, las macetas en donde se llevó a cabo la siembra se prepararon con un sustrato elaborado a partir de arena de río, peat moss y perlita en proporciones iguales. Se estimó la cantidad de semilla por maceta a una densidad de siembra de 35 kg ha⁻¹. Las macetas se regaron diariamente con solución Steiner manteniéndolas a capacidad de campo. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con cinco tratamientos y cinco repeticiones, el análisis estadístico consistió en una prueba de comparación de medias por el método de Tukey ($p \leq 0.05$) para detectar diferencias estadísticas entre tratamientos utilizando el paquete estadístico SAS versión 9.0. Los tratamientos establecidos fueron T1= 0 mg L⁻¹, T2= 100 mg L⁻¹, T3= 200 mg L⁻¹, T4=300 mg L⁻¹ y T5= =400 mg L⁻¹ de nanopartículas de hidroxapatita de calcio respectivamente, se prepararon en una dilución de 250 ml de agua destilada y se aplicaron de manera foliar por medio de un atomizador manual. Se realizaron seis aplicaciones con un intervalo de tiempo de 15 días entre cada una de ellas. Al terminar las aplicaciones se procedió a realizar la cosecha de la parte aérea de la planta para posteriormente realizar por duplicado las determinaciones de FDN y FDA mediante la metodología de Van Soest. La PC se determinó mediante el porcentaje de nitrógeno por medio del equipo de laboratorio KJELTEC 8100.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al obtener los resultados de las variables analizadas en los tratamientos aplicados al cultivo de alfalfa se puede definir que la aplicación de nanopartículas de hidroxapatita de calcio influye de manera directa en las características bromatológicas del cultivo. Se encontraron diferencias significativas y los resultados se presentan el Cuadro 1.

Porcentaje de Proteína Cruda

En la Figura 1 podemos observar el comportamiento mostrado en el porcentaje de proteína cruda en el cultivo de alfalfa. Existen diversas clasificaciones para medir la calidad de un forraje de acuerdo a su porcentaje de proteína cruda, (Rohweder *et al.*, 1978) indican que cultivos con un porcentaje de proteína mayores a 19 son considerados de calidad excelente, (Moore & Undersander, 2022) mencionan que alfalfa con porcentajes de proteína mayor a 22 se considera de categoría suprema. El T2 presentó la mayor cantidad de proteína con 24.70 % resultando superior al

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

tratamiento testigo en un 9.05 %. En los T3, T4 y T5 que corresponden a mayores concentraciones de la nanopartícula, se observa una tendencia decreciente. Mayor concentración de proteína en un forraje proporciona un alto valor nutritivo para el ganado.

Cuadro 1: Características bromatológicas en el cultivo de alfalfa.

Tratamientos	Variables		
	% PC	%FDA	%FDN
T1	22.65 ± 0.20 b	15.94 ± 2.10 a	32.61 ± 1.60 a
T2	24.70 ± 1.11 a	12.11 ± 2.32 b	27.92 ± 1.32 b
T3	23.37 ± 1.27 b	12.53 ± 1.91 ab	31.81 ± 1.85 a
T4	23.19 ± 1.08 b	13.05 ± 0.27 ab	31.68 ± 0.93 a
T5	23.13 ± 0.53 b	14.06 ± 1.28 ab	30.07 ± 1.09 ab
C.V.	1.95	12.89	4.55

%PC=porcentaje de proteína cruda; FDN= fibra detergente neutra; FDA=fibra detergente acida; CV= coeficiente de variación.

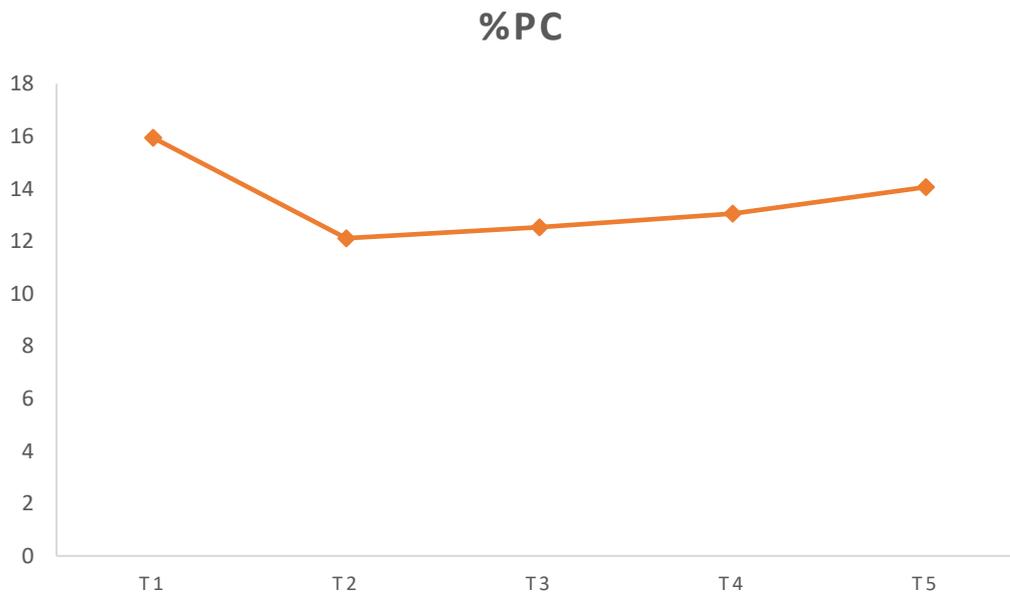


Figura 1: Porcentaje de proteína cruda (%PC)

FDN Y FDA

En la Figura 2 podemos observar el comportamiento mostrado en FDN y FDA para el cultivo de alfalfa. Podemos apreciar que en FDN y FDA se presentaron los menores porcentajes en el T2 con 27.92 y 12.11 %, entre menores sean los porcentajes de estas dos variables, los forrajes serán de mejor calidad (Rohweder et al., 1978). El tratamiento testigo presentó los mayores porcentajes con 32.61 y 15.94 % respectivamente, en este trabajo de investigación obtuvo la calidad forrajera más baja.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

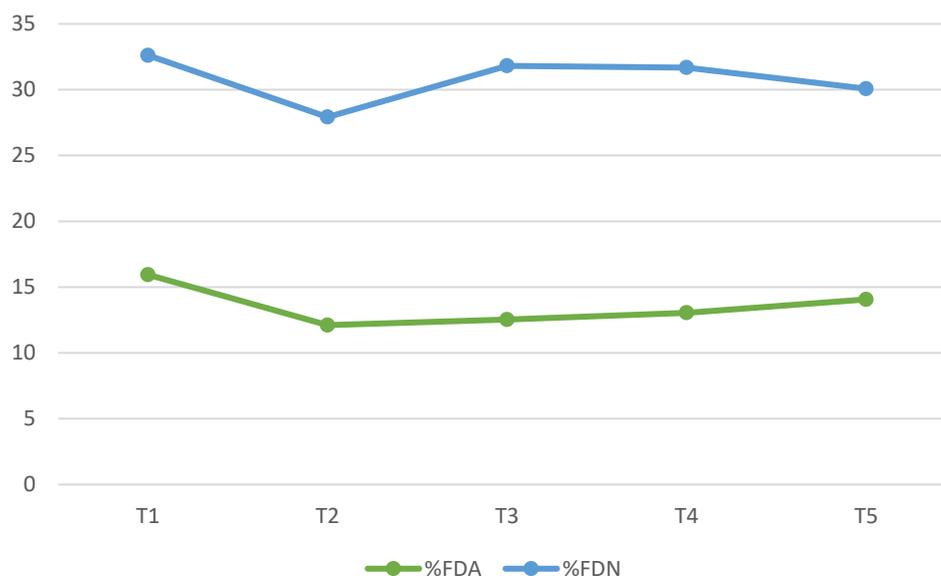


Figura 2: Fibra Detergente Neutra (%FAN) y Fibra Detergente Acida (%FNA)

CONCLUSIONES

La aplicación de nanopartículas de hidroxiapatita de calcio impactó de manera directa todas las variables evaluadas. El T2 obtuvo el mayor porcentaje de proteína cruda y menor porcentaje de FAN y FNA, por lo tanto, este tratamiento estimula de manera favorable al cultivo de la alfalfa para aumentar su calidad forrajera.

BIBLIOGRAFÍA

- El-Ramady, H., Abdalla, N., Kovacs, S., Domokos-Szabolcsy, É., Bákonyi, N., Fari, M., & Geilfus, C. M. (2020). Sustainable biorefinery of alfalfa (*Medicago sativa* L.): A review. *Egyptian Journal of Botany*, 60(3), 621–639. <https://doi.org/10.21608/ejbo.2020.37749.1532>
- Flores-Hernandez, E. A., Lira-Saldívar, R. H., Ruiz-Torres, N. A., Garcia-Lopez, J. I., Moreno-Resendez, A., Preciado-Rangel, P., & Mendoza-Retana, S. S. (2021). Síntesis de nanopartículas de hidroxiapatita y su efecto en plántulas de *Raphanus sativus*. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(1), 1-12.
- Guillen-Molina, M., Márquez-Quiroz, C., de la Cruz-Lazaro, E., Velazquez-Martinez, J. R., Soto Parra, J. M., Garcia Carrillo, M., & Orozco Vidal, J. A. (2007). Biofortificación de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) con hierro y zinc. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícola* (17), 3427-3438.
- Marchiol, L., Filippi, A., Adamiano, A., Esposti, L. D., Iafisco, M., Mattiello, A., Petrusa, E., & Braidot, E. (2019). Influence of hydroxyapatite nanoparticles on germination and plant metabolism of tomato (*Solanum lycopersicum* L.): Preliminary evidence. *Agronomy*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/agronomy9040161>
- Moore, J.E. and Undersander, D.J. 2002. Relative forage quality: An alternative to relative feed value and quality index. *Proceedings 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium*. pp. 16-29.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Rohweder, D., Barnes, R. F., & Jorgensen, N. (1978). Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. *Journal of animal science*, 47(3), 747-759.
- Singh, R. P., Handa, R., & Manchanda, G. (2020). Nanoparticles in sustainable agriculture: An emerging opportunity. *Journal of Controlled Release*. doi:10.1016/j.jconrel.2020.10.051
- Yan-Jie, G., Cheng-Long, H., Jing-Wei, F., Xiao-Peng, S., Meng, K., Xiao-Yan, S., Kadambot, H.M.S., Yang-Yang, Z. & Feng-Min, L. (2018). Alfalfa forage yield, soil water and p availability in response to plastic film mulch and p fertilization in a semiarid environment. *Field Crops Research* 215: 94-103. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.10.010>

DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES CARBONOSOS DERIVADOS DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS PARA APLICACIONES AMBIENTALES

Edgar Vázquez-Núñez ^{1*}

¹Grupo de Investigación sobre Aplicaciones Nano y Biotecnológicas para la Sostenibilidad (NanoBioTS), LASAE, Departamento de Ingenierías Química, Electrónica y Biomédica, División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato, Campus León, Loma del Bosque 103, Col. Lomas del Campestre, MX37150, León, Guanajuato, México.

* Correo de autor: edgar.vazquez@ugto.mx

RESUMEN

Los residuos agroalimentarios ricos en materiales lignocelulósicos han aumentado considerablemente el flujo global de desechos debido a prácticas insostenibles en la agricultura y la producción de alimentos. Estos residuos representan una fuente valiosa para la creación de productos de alto valor agregado mediante procesos termoquímicos, como la producción de biocarbón (BC). En este estudio, se fabricaron y caracterizaron materiales carbonosos como el biocarbón y sus compositos BC-Zn y BC-Fe, orientados a aplicaciones ambientales. El biocarbón mostró gran potencial como adsorbente de contaminantes en el tratamiento de aguas. La caracterización de éstos materiales permitió identificar cualidades aptas para procesos adsorptivos. Esta investigación resalta la versatilidad, asequibilidad y escalabilidad de estos materiales carbonosos para enfrentar desafíos ambientales en el contexto de la economía circular.

PALABRAS CLAVE

Adsorción; Agricultura sostenible; Economía circular; Remediación.

INTRODUCCIÓN

El aumento en la producción de residuos agrícolas lignocelulósicos presenta serios desafíos tanto ambientales como económicos. La gestión sostenible de estos residuos es esencial para reducir la contaminación, promover la economía circular y cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible. Los métodos tradicionales de eliminación, como la incineración o el vertido en rellenos sanitarios, contribuyen a la generación de gases de efecto invernadero y la degradación ambiental. Esto refuerza la urgencia de encontrar soluciones más innovadoras y sostenibles (Gontard *et al.* 2018).

Entre las estrategias emergentes destaca la conversión termoquímica de residuos lignocelulósicos en materiales carbonosos, como el biocarbón (BC) y el hidrocarbón (HC) (Adeniyi *et al.* 2020). El biocarbón, obtenido mediante pirólisis a temperaturas superiores a los 400°C en condiciones de atmósfera inerte, se caracteriza por su alta porosidad, gran superficie específica y capacidad para adsorber contaminantes, lo que lo convierte en un candidato ideal para la remediación de aguas contaminadas (Demirbas y Arin 2002).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

En este trabajo, se sintetizaron compuestos de biocarbón modificados con óxidos metálicos, como BC-Zn y BC-Fe, para mejorar su eficiencia en la captura de contaminantes. Estos materiales representan una opción sostenible y de bajo costo para mejorar la productividad agrícola y la salud del suelo.

El biocarbón y sus compuestos BC-Zn y BC-Fe se emplearon en este estudio para la adsorción de contaminantes en agua, como metales pesados y compuestos orgánicos. La combinación del biocarbón con óxidos metálicos (ZnO y Fe_3O_4) permite aumentar la capacidad de adsorción y la selectividad, lo que lo convierte en una alternativa económica y eficaz para el tratamiento de aguas residuales a escala industrial y municipal (Ambaye *et al.* 2020). Estos materiales tienen la capacidad de adsorber contaminantes mediante mecanismos físicos y químicos, lo que los posiciona como una solución viable frente a los métodos convencionales.

Este trabajo tiene como fin demostrar el potencial de los biocarbones (BC, BC-Zn, BC-Fe) para aplicaciones ambientales, especialmente en la remediación de aguas. Estos materiales, fabricados a partir de residuos lignocelulósicos, ofrecen soluciones sostenibles, asequibles y escalables frente a los desafíos globales de sostenibilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de biocarbón y nanocompositos (BC- Fe_3O_4 , BC-ZnO)

Se recolectaron desechos de vainas de *Ricinus communis* (Rc) en León, Guanajuato, México (21°09'13.7"N 101°42'24.8"W). La biomasa se cortó en trozos de 2–5 cm, el material se secó al sol durante 48 h y se almacenó para su posterior uso.

Biocarbón pristino

La biomasa fue sometida a pirólisis en un horno con una concentración limitada de oxígeno a 700 °C durante 4 h, usando cápsulas de porcelana. Después de enfriar, el biocarbón obtenido (PB-Rc) se trituró y tamizó con un tamiz de 100 mm, se enjuagó con agua destilada, se sometió a secado en un horno a 90 °C durante 24 h y se almacenó para su uso posterior. El PB-Rc se utilizó para sintetizar compuestos BC-ZnO (Zn-BC), mientras que el Fe_3O_4 /biocarbón (Fe-BC) se preparó utilizando biomasa seca no pirolizada.

Compuestos ZnO/Biocarbón

La preparación del compuesto Zn-BC se realizó mediante el siguiente método de coprecipitación: (i) la primera solución contenía 1 g de biocarbón y $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ (0.1 M) disueltos en agua destilada desionizada, que se agitó durante 1 h a temperatura ambiente, y (ii) una segunda solución de KOH (0.15 M). La primera solución se tituló gota a gota con 100 mL de la segunda solución, y la mezcla titulada se agitó durante 30 min a 150 rpm. El sólido resultante se lavó con agua destilada y se secó en un horno a 100 °C durante 30 h. Luego, el polvo se molió en un mortero y se tamizó a través de un tamiz de 100 mm. Finalmente, el compuesto BC-Zn se calcinó a 350 °C durante 1 h para recocer el material.

Compuestos Fe_3O_4 /Biocarbón

Los nanocompuestos de Fe_3O_4 /biocarbón se sintetizaron sumergiendo 5 g de residuos secos de *R. communis* en una solución de Fe^{3+} durante 30 min (relación $\text{FeCl}_3/\text{Rc}=0.1$), seguida de agitación magnética a 25°C . La mezcla fue filtrada, y la biomasa impregnada con Fe se colocó en cápsulas y fue sometida a pirólisis. La pirólisis se realizó a 500°C durante 3 h. Después de la pirólisis, el horno se enfrió a temperatura ambiente, y el producto sólido pirolizado (BC-Fe) se lavó varias veces con agua destilada hasta que el agua fue clara, luego se secó en un horno a 90°C durante 24 h y se almacenó para su uso posterior.

Caracterización

Los grupos funcionales químicos superficiales de las muestras se caracterizaron mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR) en la región de $400-4000\text{ cm}^{-1}$. La morfología y composición elemental de los materiales se analizaron mediante microscopía electrónica de barrido por emisión de campo (SEM). Los patrones de difracción de rayos X (XRD) se registraron utilizando un difractómetro con fuente de rayos X de Cu.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

FTIR y DRX

Los espectros de FTIR para la materia prima (*Ricinus communis*), PrBc, BC-Zn y BC-Fe se obtuvieron en un rango de número de onda de 375 a 4000 cm^{-1} , como se muestra en la Figura 1A. Brevemente, Los espectros de FTIR revelaron que PrBC mostró un pico a 880 cm^{-1} asociado a grupos aromáticos C-H, otro a 1034 cm^{-1} correspondiente a aminas alifáticas, y un pico cercano a 1400 cm^{-1} relacionado con la estructura de lignina con grupos metoxilo (Yap *et al.* 2020).

En los compuestos derivados de PrBC, BC-Zn presentó picos en 624 cm^{-1} y 415 cm^{-1} , asignados a la presencia de ZnO, y una señal a 890 cm^{-1} correspondiente a vibraciones del grupo alcohol (ROH) (Astuti *et al.* 2020). BC-Fe mostró un pico a 528 cm^{-1} , indicativo de la presencia de Fe_2O_3 (Upadhyay *et al.* 2020).

En los difractogramas de rayos X (Fig 1B), para el BC-Zn se observaron señales en los ángulos de Bragg de 31.80° , 34.44° , 36.27° , 47.58° , 56.61° , 62.91° , 66.40° y 67.94° , que corresponden a los planos cristalinos (100), (002), (101), (102), (110), (103), (112) y (201) de ZnO, respectivamente. Estos ángulos son típicos del óxido de zinc en forma de wurtzita, una estructura hexagonal donde cada átomo de Zn está rodeado por un tetraedro de átomos de oxígeno, y viceversa (Upadhyay *et al.* 2020).

En el caso de BC-Fe, los picos característicos a 22.5° se atribuyen al carbono amorfo. Además, se detectaron picos en 31.0° , 32.2° , 35.6° , 37.3° y 38.6° , que corresponden a las estructuras de Fe_3O_4 . Según Ajeesha *et al.* (2020), el FeCl_3 preadsorbido en la biomasa lignocelulósica se hidroliza inicialmente a $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y $\text{FeO}(\text{OH})$ durante el secado, y luego se reduce a Fe_3O_4 a alta temperatura (700°C) durante la pirólisis.

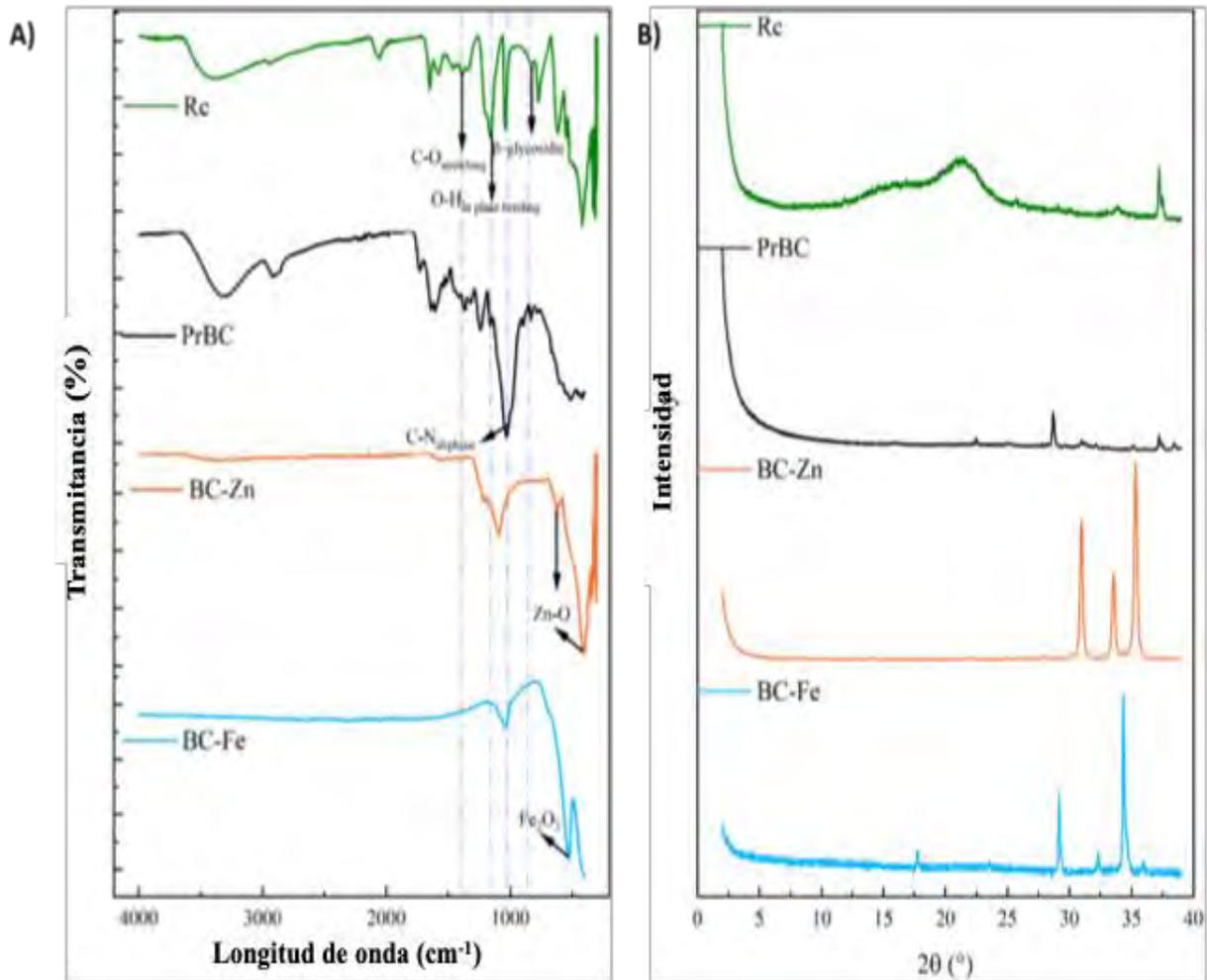


Figura 1. A) Espectros de FTIR y B) difractogramas obtenidos de la materia prima y materiales compuestos manufacturados.

Microscopía electrónica de barrido

Las morfologías de superficie y la composición de **PrBC**, **BC-Zn** y **BC-Fe** se determinaron mediante SEM-EDS (Figura 2). Se observa que las partículas son amorfas en el rango de 2 μm a 30 μm. La superficie de **PrBC** mostró una estructura porosa, atribuida al proceso de pirólisis, lo que aumentó significativamente el área superficial.

En **BC-Zn** y **BC-Fe**, la presencia de nanopartículas metálicas de Zn y Fe depositadas en la superficie del biocarbón proporcionó más sitios para la adsorción de contaminantes. **BC-Zn** mostró nanopartículas de Zn de morfología esférica y distribuidas densamente en la matriz, mientras que **BC-Fe** presentó partículas más pequeñas y amorfas. La composición elemental por EDS indicó una carga de Zn (4.06 %) en **BC-Zn** y de Fe (6.45 %) en **BC-Fe**. Estas nanopartículas mejoraron las propiedades adsorbentes de los materiales.

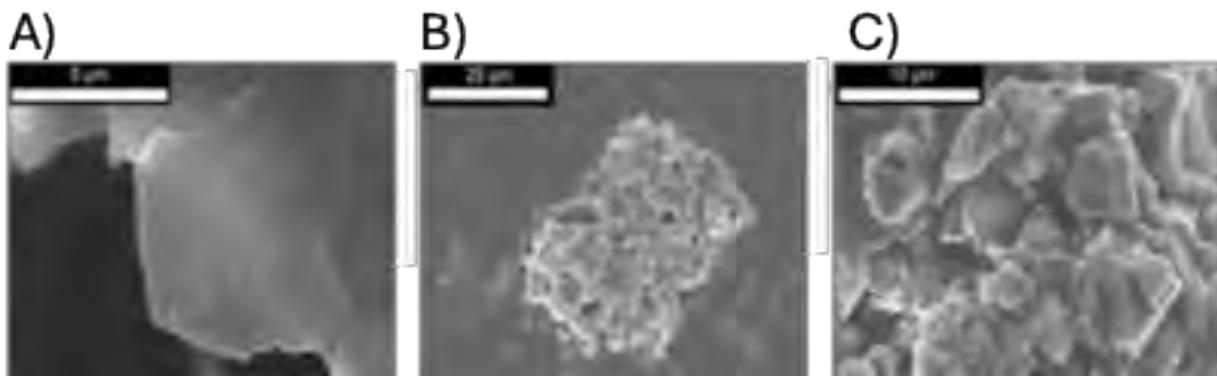


Figura 2. Micrografías de A) PrBC, B) BC-Fe y C) BC-Zn manufacturados.

CONCLUSIONES

Los resultados sugieren un alto potencial de los materiales carbonosos i.e., PrBC, BC-Fe, BC-FE para aplicaciones ambientales, especialmente en la remediación de aguas contaminadas. Se confirmó la incorporación ZnO y Fe₃O₄ en el compuesto, observado como respuesta en las técnicas de caracterización empleadas. Se determinó que los materiales son porosos y podrían ser selectivos a ciertos solutos, esto consolida su viabilidad para abordar desafíos ambientales en el marco de la economía circular.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece el financiamiento recibido por la Universidad de Guanajuato a través del recurso obtenido de la Convocatoria CIIC 2024 con el proyecto 062/2024.

REFERENCIAS

- Adeniyi, A.G., Ighalo, J.O., Onifade, D.V. (2020) Biochar from the Thermochemical Conversion of Orange (*Citrus sinensis*) En: Peel and Albedo: Product Quality and Potential Applications. 3:439–448. <https://doi.org/10.1007/s42250-020-00119-6>
- Ajeesha, T., Anantharaman, A., Baby, J., George, M. (2020) Structural, Magnetic, Electrical and Photo-Fenton Properties of Copper Substituted Strontium M-Hexagonal Ferrite Nanomaterials via Chemical Coprecipitation Approach. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 20:1589–1604. <https://doi.org/10.1166/jnn.2020.17132>
- Ambaye, T.G., Vaccari, M. E.D. van Hullebusch, et al (2020) Mechanisms and adsorption capacities of biochar for the removal of organic and inorganic pollutants from industrial wastewater. *International Journal of Environmental Science and Technology* 18:3273–3294. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-03060-w>
- Astuti, E., Mufrodi, Z., Budiarti, G.I., Dewi, A.C. (2020) Active Charcoal from Palm Kernel Shells as a Catalyst in The Production of Biodiesel. *Journal Bahan Alam Terbarukan* 9:120–125. <https://doi.org/10.15294/jbat.v9i02.21991>
- Demirbas, A., Arin, G. (2002) An overview of biomass pyrolysis. *Energy sources* 24:471–482. <https://doi.org/10.1080/009083110252889979>

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Gontard, N., Sonesson, U., Birkved, M. (2018) A research challenge vision regarding management of agricultural waste in a circular bio-based economy. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1471957>
- Upadhyay, P., Jain, V.K., Sharma, S. (2020) Green and chemically synthesized ZnO nanoparticles: A comparative study. IOP Publishing, p 012025. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/798/1/012025>
- Yap, S.Y., Sreekantan, S., Hassan, M. (2020) Characterization and biodegradability of rice husk-filled polymer composites. *Polymers* 13:104. <https://doi.org/10.3390/polym13010104>

NANOMATERIALES DE FE Y ZN EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL MAÍZ Y ARROZ

Hermes Pérez Hernández^{1*}; Antonio Juárez Maldonado²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Edzná, Campeche. C.P. 24520. México.

²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Saltillo, Coahuila. C.P. 25350. México.

*Autor de correspondencia: hermesph@hotmail.com

RESUMEN

La nanotecnología aplicada a la agricultura se ha utilizado para mitigar problemas de fertilidad y degradación de suelos, así como para mejorar la producción de cultivos. Sin embargo, a la fecha existen muchas lagunas en el conocimiento sobre los impactos positivos y negativos que se pueden generar cuando los nanomateriales (NMs) o nanopartículas (NPs) son aplicados al suelo. En la presente investigación, se evaluó el efecto de las NPs de Fe o Zn en condiciones de invernadero (maíz) y campo (arroz). En ambos experimentos se aplicó el diseño completo al azar. Los resultados demostraron que en maíz, las NPs de Fe mejoraron el peso fresco y seco de la raíz, el peso fresco y seco de la mazorca, así como el peso seco del grano. En el cultivo de arroz la aplicación conjunta de NPs de Fe y Zn + fertilización inorgánica al 50% y 100% de NPK incrementaron la altura de planta, tamaño de raíces, el peso seco de tallos y hojas, así como el número de macollos, el tamaño de la espiga y el rendimiento por planta. Con la investigación se muestra evidencia que el uso de NMs promete mejoras en el crecimiento y rendimiento en los cultivos de maíz y arroz. No obstante, el efecto benéfico se logra con concentraciones de 10 a 400 mg kg⁻¹ de NPs de Fe en el cultivo de maíz, mientras que en arroz, el uso de hasta 100 mg kg⁻¹ de NPs de Fe y Zn es suficiente para bioestimular el crecimiento y rendimiento del cultivo.

PALABRAS CLAVE

Absorción; Nanobioestimulación; Nanopartículas; Nano hierro; Nano zinc.

INTRODUCCIÓN

En la última década, la nanotecnología en el sector agrícola ha despertado mayor interés social, económico y científico entre investigadores, técnicos y productores en todo el mundo, debido a la efectividad que ha mostrado sobre las plantas comestibles. Se consideran nanopartículas NPs o NMs a aquellas partículas de al menos una dimensión en el rango de 1 a 100 nm. Aunado al tamaño, la forma, relación superficie/volumen y carga superficial son propiedades que potencializan el efecto positivo sobre las propiedades morfológicas y bioquímicas de las plantas (Ma *et al.*, 2018).

La degradación y la fertilidad en la mayoría de los suelos es un problema generalizado en todo el mundo. La baja fertilidad del suelo limita la capacidad de las plantas para adquirir los nutrientes, lo que resulta en deficiencias nutricionales, mayor vulnerabilidad a sufrir ataque de plagas y enfermedades, baja tolerancia a factores

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

ambientales y otros. Como alternativa para mejorar los rendimientos, el uso de NPs de Fe y Zn son una opción viable. A diferencia de los fertilizantes convencionales, el Fe y Zn nanométrico puede ingresar con mayor facilidad a las células de las plantas (Rizwan *et al.*, 2019).

En la presente investigación, se informan los resultados de dos estudios, en invernadero se evaluó el efecto de las NPs de Fe sobre plantas de maíz, mientras que en campo se evaluó la acción combinada de NPs de Fe y Zn más la fertilización inorgánica con NPK en el crecimiento y rendimiento de arroz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de estudios, material vegetal y nanopartículas

El Experimento 1 con maíz se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Saltillo, Coahuila, México. El experimento 2 con arroz se realizó en el campo experimental Edzná del INIFAP, Campeche, Campeche, México. Las semillas de maíz var. AN-447 fueron proporcionadas por la UAAAN mientras que las de arroz var. Azteca por el INIFAP. Las nanopartículas de Fe y Zn se obtuvieron de "ID Nano", San Luis Potosí, México. El tamaño promedio de las NPs de Fe fue 65 nm, de forma esférica en las fases magnetita (Fe_3O_4) y hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), mientras que las NPs de Zn fueron esféricas con 45 nm en forma de Oxido de zinc (ZnO).

Acondicionamiento de los experimentos

Experimento 1: Bajo condiciones de invernadero, en macetas de 10 kg con suelo natural se sembraron semillas de maíz. Sobre el suelo por maceta se agregó una capa de materia orgánica (MO) que sirvió para ofrecer un aporte adicional posible de nutrientes y lograr mayor porosidad para el anclaje de raíces. Durante 110 días las plantas se manejaron con solución Steiner (25%) y estuvieron expuestas a las NPs de Fe a concentraciones de 10, 100, 400 y 800 mg kg^{-1} de NPs de Fe y control (sin NPs). Para el experimento 1 y 2, las NPs se colocaron en tubos de vidrio de 10 ml con agua desionizada, se sonicaron durante 30 minutos, se colocó la suspensión en un matraz aforado y se añadió agua desionizada hasta ajustar a 1000 mL y finalmente se depositaron en cada réplica por tratamiento.

Experimento 2: En campo abierto en macetas de 5 kg se sembraron semillas de arroz. Las plantas se manejaron durante 150 días y fueron acondicionadas a los tratamientos T1= Control (sin NPK y NPs), T2 = Aplicación de nanopartículas (100 mg L^{-1} de NPs de ZnO y FeO), T3 = Aplicación de fertilizante al 50%, T4 = Aplicación de fertilizante al 100%, T5 = 50% de fertilizante (NPK) + 100 mg L^{-1} de NPs de ZnO y FeO y T6 = 100% de fertilizante (NPK) + 100 mg L^{-1} de NPs de ZnO y FeO. En este ensayo, del tratamiento T2 al T6 se hicieron en tres aplicaciones, a los 15, 40 y 60 días después de la emergencia. Para el caso de los fertilizantes (NPK), el suministro al 50% y 100% se aplicó según la dosis recomendada para el cultivo de arroz de la región (100-70-50). Al final de cada experimento se midieron parámetros de crecimiento y rendimiento.

Análisis estadístico

Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) bajo el diseño completamente al azar. Cuando se observaron diferencias significativas se aplicó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Además, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para ver la relación de los parámetros y tratamientos evaluados con NPs. Se utilizó el software Minitab versión 20.0 y el software Past (4.09).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experimento 1. La mayor parte de las investigaciones que han evaluado el efecto de las NPs de Fe en plantas de maíz se han realizado en etapas tempranas de crecimiento. En el presente experimento en condiciones de invernadero, los análisis revelaron que las concentraciones de 10, 100 y 400 mg kg⁻¹ de NPs de Fe aumentaron significativamente el peso fresco y seco de la raíz. En contraste, en términos de rendimiento, la concentración de 400 mg kg⁻¹ y ligeramente a 800 mg kg⁻¹ de NPs de Fe mejoraron el peso fresco y seco de la mazorca y el peso seco de granos por mazorca (Cuadro 1, $p \leq 0.05$). Con el ACP, el CP1 y CP2 explicaron el 81.85% de la variabilidad total de los datos. El gráfico de biplot demostró que las variables PSM, PFM y PSGM estuvieron relacionadas positivamente a 400 y 800 mg kg⁻¹ de Fe NPs, mientras que las variables AP, PHR y PSR estuvieron relacionadas a las concentraciones de 10 mg kg⁻¹ y 100 mg kg⁻¹.

La permanencia de las NPs en el suelo y su absorción por las plantas depende de factores como contenido de arcilla, MO, humedad, capacidad de intercambio de cationes, pH y otros. Por tanto, cuando las plantas crecen en el suelo y son expuestas a NPs, el efecto positivo o negativo que pueden provocar las NPs en las plantas dependerá del tamaño, forma, composición química, carga superficial y otros (Zia-ur-Rehman *et al.*, 2023). Para este experimento, el tamaño de las NPs fue de 63.9 nm, lo que provocó que a diferencia del control, los tratamientos con NPs acumularan mayor cantidad de Fe en las raíces, así como en el suelo y MO (datos no mostrados). En general, así como se ha reportado en otros informes con gramíneas, las concentraciones bajas de NPs de Fe favorecieron positivamente a los parámetros de crecimiento y rendimiento en maíz. En contraste, concentraciones superiores a 500 o 1000 mg kg⁻¹ provocan un efecto inhibitorio en los cultivos (Pérez-Hernández *et al.*, 2021).

Experimento 2. En plantas de arroz, en comparación con el control, la aplicación de NPs de Fe y Zn a 100 mg L⁻¹ + NPK al 50% o 100% incrementaron la altura de la planta, tamaño de raíz, el peso seco de tallos y hojas, el número de macollos, el tamaño de panícula y el rendimiento (Cuadro 2, $p \leq 0.05$). De acuerdo con el ACP, el CP1 y CP2 explicaron el 96.69% de la variabilidad total de los datos. Además, se corroboró que la mayoría de las variables se relacionaron positivamente a los tratamientos con NPs de Fe y Zn + NPK al 50% y 100%. Con los resultados obtenidos se sugiere que la aplicación de NMs de Fe y Zn como bioestimulantes pueden aún más activar los procesos enzimáticos, la formación de proteínas, participar en el metabolismo de carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos, que en consecuencia, se traduce en un mayor crecimiento y rendimiento de los cultivos (Rizwan *et al.*, 2019; Zia-ur-Rehman *et al.* 2023). Además, se confirma que con una co-fertilización de NPK y NPs de Fe y Zn, se puede disminuir la aplicación de fertilizantes inorgánicos y por lo consiguiente, menor costos de producción.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cuadro 1. Efecto de la nanobioestimulación con Fe sobre variables morfológicas y de rendimiento en maíz.

Tratamientos	Altura de planta (cm)	Peso fresco de la raíz (g)	Peso seco de la raíz (g)	Peso fresco de mazorca (g)	Peso seco de mazorca (g)	Peso seco del grano por mazorca (g)
Control (0)	213.7±6.0 a*	256.0±10.5 b	32.0±1.65 b	283.3±10.9 ab	105.11±7.05 abc	64.56±6.76 ab
10	228.7±7.8 a	313.1±25.1 a	39.6±2.51 a	264.2±12.9 ab	78.22±9.42 c	36.89±7.14 c
100	212.3±10.3 a	275.8±23.5 a	33.2±2.56 ab	254.5±12.7 b	88.78±7.28 bc	45.78±7.73 bc
400	217.6±7.1 a	329.7±24.4 a	33.5±3.06 ab	297.0±7.53 ab	118.44±1.94 a	75.67±3.44 a
800	223.4±10.3 a	216.2±12.7 b	26.8±2.65 b	308.9±14.2 a	108.38±6.52 ab	67.88±5.83 ab

* Los datos corresponden a valores promedio ± error estándar. Literales con diferente letra indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$).

Cuadro 2. Efecto de la nanobioestimulación con Fe y Zn, fertilización con NPK y fertilización combinada de NPs de Fe y Zn + NPK sobre las variables morfológicas y de rendimiento en el arroz.

Tratamientos	Altura de planta (cm)	Tamaño de raíz (cm)	Peso seco de tallos y hojas (g)	Número de macollos	Tamaño de la panícula (cm)	Rendimiento (gr/planta)
Control	51.3±2.7 c*	29.3±1.3 c	5.1±0.5 c	2.6±0.3 c	15.3±1.6 c	2.1± 0.2 c
NPs	57.0±0.5 c	28.3±1.0 c	5.3±0.2 c	3.0±0.0 c	16.3±0.8 bc	2.6± 0.1 bc
NPK 50%	86.3±0.6 b	37.6±0.3 ab	7.9±0.3 b	3.0±0.0 c	19.6±0.3 ab	2.9± 0.1 abc
NPK 100%	92.3±2.7 ab	36.6±0.8 ab	10.0±0.1 a	4.6±0.3 b	21.0±1.0 a	3.5± 0.3 ab
NPK 50% + NPs	90.6±0.6 ab	35.3±0.6 b	10.7±0.5 a	6.0±0.0 a	22.3±0.3 a	3.8± 0.2 a
NPK 100% + NPs	96.6±1.4 a	39.3±0.8 a	10.5±0.5 a	6.0±0.0 a	21.6±0.3 a	3.5± 0.3 ab

* Los datos corresponden a valores promedio ± error estándar. Literales con diferente letra indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$).

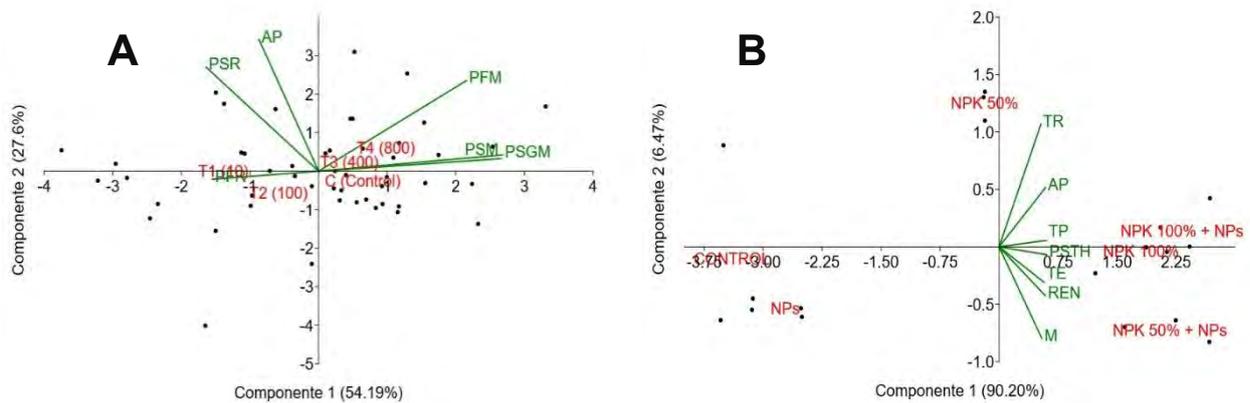


Figura 1. ACP para las variables de crecimiento y rendimiento en el cultivo de maíz (A) y arroz (B) sobre los tratamientos con NPs de Fe o Zn. AP= altura de planta, PSR= peso seco de la raíz, PFR= peso fresco de la raíz, PFM= Peso fresco de la mazorca, PSM= peso seco de la mazorca, PSGM = peso seco de los granos de la mazorca, TR= Tamaño de raíz, M= número de macollos, PSTH= peso seco de tallos y hojas, TP= tamaño de panícula, REN= rendimiento.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Si bien la aplicación de NPs de Fe o Zn impacta a las variables en el cultivo de maíz y arroz, se necesita más estudios que corroboren el efecto de las NPs a largo plazo, ya que los investigadores sugieren que dependiendo de los escenarios de estudio (laboratorio, invernadero o campo), textura del suelo o sustrato, disponibilidad de MO, dosis utilizada, especie de planta, tiempo de exposición, tipos de nanopartículas, son factores que determinan las mejoras o daños en las plantas comestibles (Pérez-Hernández *et al.*, 2021).

CONCLUSIONES

Las NPs de Fe y Zn como bioestimulantes provoca mejorías en las plantas de maíz y arroz. El uso o aplicación de NPs estará basada en los requerimientos nutricionales de las plantas, el conocimiento del sustrato o suelo, condiciones ambientales y el conocimiento de las propiedades de las NPs, considerados factores cruciales para alcanzar el crecimiento y rendimiento en los cultivos.

REFERENCIAS

- Ma, C., White, J. C., Zhao, J., Zhao, Q., & Xing, B. (2018). Uptake of Engineered Nanoparticles by Food Crops: Characterization, Mechanisms, and Implications. *Annual Review of Food Science and Technology*, 9(1), 129-153.
- Pérez-Hernández, H., Pérez-Moreno, A., Sarabia-Castillo, C. R., García-Mayagoitia, S., Medina-Pérez, G., López-Valdez, F., Campos-Montiel, R. G., Jayanta-Kumar, P., & Fernández-Luqueño, F. (2021). Ecological Drawbacks of Nanomaterials Produced on an Industrial Scale: Collateral Effect on Human and Environmental Health. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232(10), 435.
- Rizwan, M., Ali, S., Ali, B., Adrees, M., Arshad, M., Hussain, A., & Waris, A. A. (2019). Zinc and iron oxide nanoparticles improved the plant growth and reduced the oxidative stress and cadmium concentration in wheat. *Chemosphere*, 214, 269-277.
- Zia-ur-Rehman, M., Mfarrej, M. F. B., Usman, M., Anayatullah, S., Rizwan, M., Alharby, H. F., Abu Zeid, I. M., Alabdallah, N. M., & Ali, S. (2023). Effect of iron nanoparticles and conventional sources of Fe on growth, physiology and nutrient accumulation in wheat plants grown on normal and salt-affected soils. *Journal of Hazardous Materials*, 458, 131861.

NANOTUBOS DE CARBONO Y SU EFECTO EN LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL MELÓN (*Cucumis melo* L.) CULTIVADO EN XEROSOL

**Jessica E. Martínez-Vazquez¹; Fabián Fernández-Luqueño¹;
Ana Margarita Rodríguez-Hernández²**

¹Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Industrial, Zona Industrial, 25900 Ramos Arizpe, México.

²Centro de Investigación en Química Aplicada, Enrique Reyna H. 140, San José de los Cerritos, 25294 Saltillo, México.
elizabeth.martinez@cinvestav.mx

RESUMEN

El melón es un cultivo valorado por su sabor y contenido nutricional, pero su desarrollo en suelos áridos y semiáridos es complicado, resultando en bajo rendimiento. Para mejorar su adaptación, se emplean técnicas que fortalecen la capacidad bioquímica de las plantas en la etapa vegetativa. En este contexto, es crucial evaluar el efecto de diferentes concentraciones de nanotubos de carbono de pared múltiple (NTCPM) en la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y flavonoides del melón (*Cucumis melo* L.) cultivado en Xerosol, analizando su impacto en la respuesta bioquímica de la planta y el potencial para mejorar la calidad del cultivo. En esta investigación, se aplicaron cuatro concentraciones de NTCPM (5, 25, 50 y 100 mg/kg) al suelo en macetas con melones var. Cantaloupe durante 30 días. Se evaluaron compuestos fenólicos, flavonoides totales y capacidad antioxidante en tejido foliar a los 15 y 30 días después del trasplante. Los niveles de estos compuestos aumentaron hasta un 88 % y 67 % con 5 y 25 mg/kg de NTCPM, mientras que disminuyeron hasta un 44 % con 50 y 100 mg/kg. La aplicación de NTCPM provoca una respuesta biológica en la que bajas concentraciones generan efectos beneficiosos, mientras que concentraciones más altas resultan perjudiciales. El incremento en compuestos fenólicos y flavonoides sugiere una mejora en la capacidad defensiva y antioxidante, favoreciendo la salud del cultivo y potencialmente aumentando su valor nutricional. Los resultados aportan información valiosa sobre la respuesta bioquímica del melón ante la aplicación de NTCPM.

PALABRAS CLAVE

Capacidad defensiva; Compuestos fenólicos; Flavonoides; Suelo árido.

INTRODUCCIÓN

El establecimiento de cultivos en suelos áridos representa un reto, ya que la respuesta adaptativa de las plantas puede no ser suficiente, lo que podría limitar el correcto desarrollo y crecimiento, con implicaciones de bajo rendimiento (Naorem *et al.*, 2023). Por otro lado, la resistencia a plagas y enfermedades, así como la respuesta adecuada a factores climáticos adversos se compromete, ya que las reservas bioquímicas no son suficientes para aliviar el estrés provocado por estas situaciones (Du *et al.*, 2024).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Las reservas bioquímicas son producidas por el metabolismo secundario, que es el conjunto de procesos bioquímicos que sintetizan compuestos no esenciales, pero que proporcionan ventajas adaptativas en la interacción del organismo con su entorno (Du *et al.*, 2024).

Los compuestos fenólicos poseen actividad como agentes defensivos contra patógenos, neutralizadores de radicales libres y agentes estructurales que refuerzan las paredes celulares y favorecen la cicatrización de tejidos (Shi *et al.*, 2022). Los flavonoides desempeñan funciones de protección contra la radiación UV, constituyen los pigmentos de las flores, lo cual atrae polinizadores y disuade herbívoros (Muflihah *et al.*, 2021). La producción de los compuestos anteriores forma parte de la capacidad antioxidante de las plantas, que se refiere a la aptitud para neutralizar y eliminar especies reactivas de oxígeno y radicales libres que pueden causar daño oxidativo a nivel celular.

Recientemente, se han utilizado nanomateriales que incrementan diversos compuestos en las plantas, (Selvakesavan *et al.*, 2023). Específicamente, los nanotubos de carbono de pared múltiple (NTCPM) inducen respuestas metabólicas dependientes de la concentración, estimulan la producción de metabolitos secundarios e incrementan la capacidad antioxidante de las plantas. Particularmente, la aplicación de NTCPM a las plantas a través del suelo ha demostrado un mejor desempeño que otras aplicaciones (Xin *et al.*, 2022). Este método resulta más representativo y es reproducible para las condiciones de cultivo de la mayoría de las hortalizas.

Es por esto que, en la presente investigación, se aplicaron diferentes concentraciones de NTCPM a plantas de melón para evaluar la acumulación de compuestos fenólicos, flavonoides y la respuesta antioxidante, que podrían fortalecer metabólicamente a las plantas, superando las condiciones adversas de un suelo Xerosol típico de zonas áridas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en un invernadero de baja tecnología en Cinvestav unidad Saltillo, en Ramos Arizpe, Coahuila, México, con coordenadas 25° 33' 47.91" N., 100° 56' 29.41" O, y altitud de 1393 msnm.

El diseño experimental se realizó en bloques totalmente aleatorizados. Se utilizaron nanotubos de carbono de pared múltiple (NTCPM) con un diámetro externo de 20 a 54 nm, longitud de 2 a 5 μm y 24 capas. De acuerdo a la caracterización, se detectaron depósitos parciales de nanopartículas de óxido de hierro al interior del nanotubo. Se aplicaron 0, 5, 25, 50 y 100 mg/kg de NTCPM (T1, T2, T3, T4 y T5, respectivamente) a un suelo Xerosol contenido en macetas. Posteriormente se trasplantaron plántulas de melón que fueron fertilizadas con una solución nutritiva tipo Steiner cada tercer día.

De las plantas se muestreó tejido foliar a los 15 y 30 días, el cual se procesó según la metodología de Gegengeimer (1990) obteniendo extractos vegetales. Posteriormente, se cuantificaron los compuestos fenólicos totales (Ainsworth y Gillespie, 2007) añadiendo 100 μL del extracto vegetal, 200 μL del reactivo Folin-Ciocalteu al 10 % (v:v) y 800 μL de Na_2CO_3 0.7 M. Se tomaron 200 μL para colocar por triplicado en una microplaca. Se incubó durante 35 min a 25 °C en condiciones de oscuridad y se realizó la lectura a 760 nm. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (EAG) en g de tejido vegetal en base a una curva de calibración realizada previamente.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Los flavonoides se cuantificaron de acuerdo a Heimler *et al.* (2005). De cada extracto, se tomaron 250 µL, 75 µL de NaNO₂ al 5 %, 150 µL de AlCl₃ al 10 % y 500 µL de NaOH 1M. El volumen se ajustó a 2.5 mL con agua desionizada y 200 µL de esta mezcla se colocaron en microplaca por triplicado y se midió la absorbancia a 510 nm. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de catequina (EC) por g de tejido vegetal, basados en una curva de catequina.

La capacidad antioxidante se determinó con una solución del radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) 125 µM en metanol al 80 % (De Menezes *et al.*, 2021), la absorbancia inicial fue 1.1 (± 0.01) a 515 nm. En microplaca se adicionó por triplicado 50 µL de extracto y 150 µL de solución DPPH, se incubó 30 min a 25°C en condiciones de oscuridad. La capacidad antioxidante total fue determinada por el decremento de la absorbancia a 515 nm. Para expresar los resultados como porcentaje de inhibición del radical DPPH se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Inhibición DPPH (\%)} = \left[\frac{\text{Abs}_{\text{Blanco}} - \text{Abs}_{\text{Muestra}}}{\text{Abs}_{\text{Blanco}}} \right] \times 100$$

Todas las determinaciones se realizaron en un lector de microplaca (Biotek Instruments Inc., modelo Synergy H1, E.U.A.).

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y las diferencias entre medias se evaluaron con la prueba de Tukey al 95 % de confianza, utilizando InfoStat v2020e (InfoStat G., Argentina, 2004). También se calcularon coeficientes de correlación de Spearman y de determinación entre los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación de NTCPM aumentó la concentración de flavonoides, compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de las plantas de melón, especialmente en las dosis más bajas (5 y 25 mg/kg) aplicadas al suelo antes del trasplante (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de los tratamientos de NTCPM aplicados al suelo, en plantas de melón (*Cucumis melo* L.) a los 15 y 30 días después del trasplante (DDT).

T ^c NTCPM	Flavonoides totales (mg EC/ g tejido vegetal)		Compuestos fenólicos (mg EAG/ g tejido vegetal)		Capacidad antioxidante Inhibición DPPH (%)	
	15 DDT	30 DDT	15 DDT	30 DDT	15 DDT	30 DDT
	T1	0.02 ±0.003 ^a	0.04 ±0.007 ^b	0.45 ±0.05 ^b	0.58 ±0.02 ^b	70.66 ±0.47 ^c
T2	0.12 ±0.009 ^c	0.15 ±0.017 ^d	0.81 ±0.04 ^d	0.97 ±0.05 ^c	86.78 ±0.16 ^d	87.37 ±0.03 ^d
T3	0.05 ±0.007 ^b	0.08 ±0.004 ^c	0.72 ±0.02 ^c	0.67 ±0.01 ^b	85.28 ±0.71 ^d	87.31 ±0.06 ^d
T4	0.01 ±0.005 ^a	0.04±0.008 ^{ab}	0.37 ±0.04 ^b	0.56 ±0.04 ^b	61.16 ±0.54 ^b	65.01 ±0.58 ^b
T5	0.01 ±0.003 ^a	0.01 ±0.002 ^a	0.09 ±0.03 ^a	0.2 ±0.04 ^a	36.52 ±1.45 ^a	51.66 ±2.55 ^a

^c Tratamientos. Diferentes superíndices en la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo a Tukey para $p \leq 0.05$.

En plantas de melón, los compuestos fenólicos se distribuyen en orden descendente: hoja > tallo > piel > semilla > pulpa, siendo el ácido clorogénico, gálico y caféico los más abundantes (Ismail *et al.*, 2010). Contrariamente, en *Salvia verticillata* L., los compuestos fenólicos aumentaron hasta 11.5 veces con la aplicación de 100 mg/L de NTCPM (Rahmani y Radjabian, 2024).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Por otro lado, en lechuga (*Lactuca sativa* L.), la concentración de polifenoles disminuyó significativamente, cuando se aplicaron 2.3 ppm de NTCPM con óxido ferroso-férrico al suelo (Podar *et al.*, 2023). Esto podría relacionarse con los resultados presentados en esta investigación, ya que los NTCPM utilizados presentan depósitos parciales de hierro en el interior, y concuerda con el efecto inhibitorio para 50 y 100 mg/kg de NTCPM.

En *Isatis indigotica* Fort., se incrementó el contenido de flavonoides al aplicar 250 mg/kg de NTCPM (Zhou *et al.*, 2022), contrario a los resultados obtenidos en esta investigación donde a partir de 50 mg/kg de NTCPM se obtuvo un menor valor para flavonoides. Esto podría estar relacionado con las diferencias fisiológicas entre especies vegetales y las características morfológicas y químicas de los nanotubos.

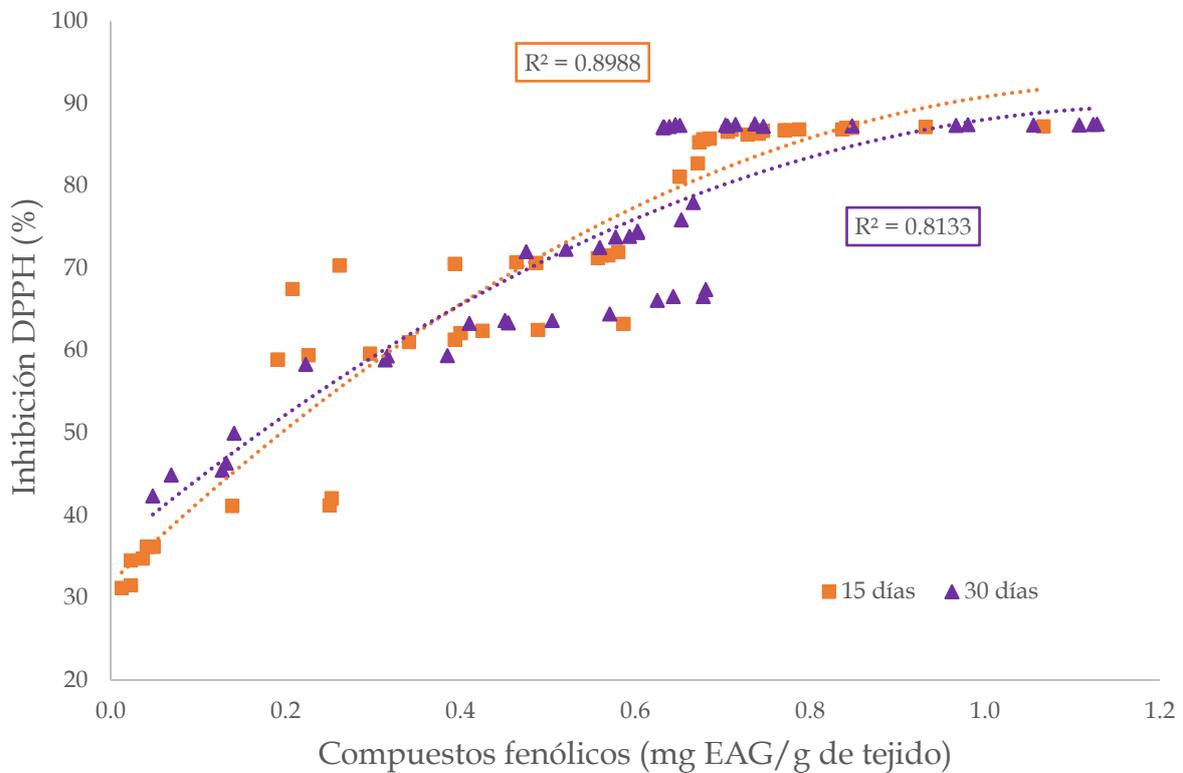


Figura 1. Relación entre los compuestos fenólicos y la inhibición de DPPH en plantas de melón a los 15 y 30 días después del trasplante.

Diversos estudios y análisis experimentales han demostrado una correlación positiva entre la capacidad antioxidante y el contenido de compuestos fenólicos (Muflihah *et al.*, 2021; Shi *et al.*, 2022). De manera similar, en esta investigación se realizó un análisis de correlación (Figura 1), obteniendo coeficientes de Spearman de 0.97 a los 15 días y 0.91 a los 30 días. Estos resultados indican una relación monótonica fuerte y no lineal, lo que sugiere que los compuestos fenólicos son factores clave en la capacidad antioxidante de las plantas de melón, al neutralizar radicales libres y proteger contra el daño oxidativo inducido por los NTCPM.

CONCLUSIONES

El efecto hormético ocurre cuando un factor estresante es benéfico a bajas concentraciones y es tóxico a altas, y en plantas de melón podría ser una respuesta adaptativa a bajas dosis de NTCPM, aumentando la producción de antioxidantes. Los resultados de esta investigación son consistentes con estudios previos que muestran una disminución en la concentración de compuestos antioxidantes en respuesta a la presencia de NTCPM con depósitos de hierro.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (Cinvestav) por el apoyo otorgado para realizar esta investigación y al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) por facilitar el acceso a sus instalaciones y equipos.

BIBLIOGRAFÍA

- Ainsworth, E. A., & Gillespie, K. M. (2007). Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. *Nature protocols*, 2(4), 875-877. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.10.015>
- De Menezes, B. B., Frescura, L. M., Duarte, R., Villetti, M. A., & Da Rosa, M. B. (2021). A critical examination of the DPPH method: Mistakes and inconsistencies in stoichiometry and IC50 determination by UV-Vis spectroscopy. *Analytica Chimica Acta*, 1157, 338398. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2021.338398>
- Du, B., Haensch, R., Alfarraj, S., & Rennenberg, H. (2024). Strategies of plants to overcome abiotic and biotic stresses. *Biological Reviews*. <https://doi.org/10.1111/brv.13079>
- Gegengeimer, P. (1990). Preparation of extracts from plants. In *Methods in enzymology* (Vol. 182, pp. 174-193). Academic Press.
- Heimler, D., Vignolini, P., Dini, M. G., & Romani, A. (2005). Rapid tests to assess the antioxidant activity of *Phaseolus vulgaris* L. dry beans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(8), 3053-3056.
- InfoStat, G. (2004). InfoStat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Ismail, H. I., Chan, K. W., Mariod, A. A., & Ismail, M. (2010). Phenolic content and antioxidant activity of cantaloupe. (*Cucumis melo*) methanolic extracts. *Food chemistry*, 119(2), 643-647.
- Muflihah, Y. M., Gollavelli, G., & Ling, Y. C. (2021). Correlation study of antioxidant activity with phenolic and flavonoid compounds in 12 Indonesian indigenous herbs. *Antioxidants*, 10(10), 1530. <https://doi.org/10.3390/antiox10101530>
- Naorem, A., Jayaraman, S., Dang, Y. P., Dalal, R. C., Sinha, N. K., Rao, C. S., & Patra, A. K. (2023). Soil constraints in an arid environment—challenges, prospects, and implications. *Agronomy*, 13(1), 220.
- Podar, D., Boza, C. L., Lung, I., Soran, M. L., Culicov, O., Stegarescu, A., Opreș, O., Ciorîță, A., & Nekhoroshkov, P. (2023). The effect of functionalized multiwall carbon nanotubes with Fe and Mn oxides on *Lactuca sativa* L. *Plants*, 12(10), 1959.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Rahmani, N., & Radjabian, T. (2024). Integrative effects of phytohormones in the phenolic acids production in *Salvia verticillata* L. under multi-walled carbon nanotubes and methyl jasmonate elicitation. *BMC Plant Biology*, 24(1), 56
- Selvakesavan, R. K., Kruszka, D., Shakya, P., Mondal, D., & Franklin, G. (2023). Impact of nanomaterials on plant secondary metabolism. *Nanomaterial interactions with plant cellular mechanisms and macromolecules and agricultural implications*, 133-170.
- Shi, L., Zhao, W., Yang, Z., Subbiah, V., & Suleria, H. A. R. (2022). Extraction and characterization of phenolic compounds and their potential antioxidant activities. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(54), 81112-81129.
- Xin, X., Nepal, J., Wright, A. L., Yang, X., & He, Z. (2022). Carbon nanoparticles improve corn (*Zea mays* L.) growth and soil quality: Comparison of foliar spray and soil drench application. *Journal of Cleaner Production*, 363, 132630.
- Zhou, P., Long, B., Wang, R., Jiang, Y., Zhao, W., Li, Y., Li, M., Guo Z., Zhang P., Rui, Y. & Lynch, I. (2022). Increase in the active ingredients of traditional Chinese medicine *Isatis indigotica* through iron nanoparticles supplementation versus carbon nanotubes: a comparative study. *Environmental Science: Nano*, 9(8), 2966-2978.

EFFECTO DE NANOTUBOS DE CARBONO DE PARED MÚLTIPLE SOBRE INDICADORES DE LA CALIDAD DEL SUELO

Nayelli Azucena Sigala-Aguilar¹; Mercedes G. López²;
Pablo David Ovalle-Murillo³; Sirenia González Pozos⁴;
Fabián Fernández-Luqueño¹

¹Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Cinvestav Saltillo. Posgrado en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía.

²Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Cinvestav Irapuato. Posgrado en Biotecnología de Plantas.

³Universidad Tecnológica de Coahuila. Av. Industria Metalúrgica, Blvd. del Parque Industrial Francisco R. Alanís 2001, 25900 Ramos Arizpe, Coah.

⁴Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Zacatenco, Ciudad de México.
E-mail: nayelli.sigala@cinvestav.mx

RESUMEN

Actualmente, los nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNTs), son los nanomateriales de carbono con mayor potencial de ser regulados y utilizados en procesos agrícolas. No obstante, las investigaciones se han centrado en evaluar los efectos en plantas, sin considerar los posibles impactos toxicológicos en el suelo. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de MWCNTs sobre indicadores de la calidad del suelo, tanto en presencia como en ausencia de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), a los 10, 20 y 30 días de exposición. Los MWCNTs redujeron la biomasa microbiana del suelo a lo largo del tiempo y de manera negativa, en función de la concentración, en suelos sin presencia de plantas. No obstante, el pH del suelo mejoró con el tiempo de manera positiva a la concentración de MWCNTs. Por otro lado, los MWCNTs no alteraron ni la biomasa microbiana ni el pH en suelos cultivados con tomate.

PALABRAS CLAVE

Microorganismos del suelo; Nanotecnología, Salud del suelo; Toxicidad.

INTRODUCCIÓN

Los nanotubos de carbono de paredes múltiples (MWCNTs) son nanoestructuras compuestas por capas de grafeno dispuestas de forma laminar. Estas estructuras presentan una mayor densidad de cargas por área, lo que aumenta su reactividad y su capacidad de interactuar con otros compuestos. Los MWCNTs pueden tener impactos duales, en términos de beneficios o daños, en diversos procesos agrícolas, como germinación de semillas, crecimiento de las plantas, rendimiento de los cultivos y la adaptación de las plantas al estrés (Chandel *et al.*, 2022). No obstante, los efectos positivos o negativos de los MWCNTs en procesos agrícolas dependen de diversos factores, en especial de la concentración y tiempo de exposición. Además, investigaciones recientes han revelado que los MWCNTs también pueden afectar tanto positiva como negativamente a los microorganismos presentes en el suelo, lo que influiría en los procesos biogeoquímicos y en la capacidad del suelo para funcionar de manera eficiente como ecosistema, afectando directamente su calidad (Zuo *et al.*, 2024).

Dado el potencial que poseen los MWCNTs de ser regulados en aplicaciones agrícolas, es crucial investigar el impacto de MWCNTs sobre los recursos naturales involucrados directamente en la agricultura, como el suelo. Este funciona como suministro de alimentos y es fundamental en el sustento de la vida vegetal y animal (Maurya *et al.*, 2020). Por ello, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de tres concentraciones de MWCNTs sobre indicadores de la calidad del suelo, como potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE) y biomasa microbiana, tanto en presencia como en ausencia de plantas, después de 10, 20 y 30 días de exposición (DE).

MATERIALES Y MÉTODOS

Desarrollo experimental

El experimento se realizó en una cámara de crecimiento (intelligent lingt incubator PGX-1500 A). La temperatura se mantuvo a 25 °C durante 16 h en presencia de luz, con humedad de 65%. Como modelo vegetal se empleó tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y se utilizaron semillas MicroTom, las cuales fueron sembradas directamente en macetas con 0.5 kg⁻¹ de suelo seco (SCO). El suelo agrícola fue muestreado en el municipio de Saltillo, Coahuila. Las macetas fueron establecidas bajo un diseño de bloques completos al azar, considerando tres replicas por tratamiento, con planta o sin planta. El riego se realizó cada 10 días. El muestreo y análisis del suelo se realizaron a los 10, 20 y 30 días DE.

Caracterización de los MWCNTs y diseño de tratamientos

Se utilizaron MWCNTs comerciales de Sigma Aldrich®. La forma de los MWCNTs fue verificada utilizando microscopia electrónica de transmisión (TEM). La pureza de los MWCNTs se obtuvo empleando un microscopio electrónico (SEM) de barrido de emisión de campo (EDS) philips xl30 ESEM.

Como tratamientos se utilizaron tres concentraciones de MWCNTs 5.0, 10, y 20 mg kg⁻¹ de SCO, más un tratamiento control (sin MWCNTs), los cuales son identificados como MW1, MW2 y MW3, respectivamente. Estos tratamientos se emplearon en macetas sin o con planta. Los tratamientos fueron aplicados en polvo el día de la siembra y homogenizados manualmente con el suelo.

Indicadores de la calidad del suelo

Los análisis se realizaron en el laboratorio de interacciones suelo-planta-ambiente en Cinvestav Unidad Saltillo. La biomasa microbiana del suelo se obtuvo mediante espectrofotometría UV-VIS, con base en la metodología de fumigación y extracción (Vance *et al.*, 1987). El pH y CE de la solución del suelo se obtuvieron en suspensiones suelo-agua relación 1:1 (m:v), con el uso de potenciómetro y conductímetro, respectivamente. La materia orgánica del suelo (MOS) fue determinada acorde al método de calcinación, utilizando una mufla Thermo Scientific (Schulte & Hopkins, 1996). La textura del suelo se determinó utilizando un analizador de distribución de tamaño de partículas por dispersión láser modelo LA-95.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante ANOVA. Para la separación entre grupos se utilizó la prueba de medias Tukey ($p < 0.05$), empleando el paquete estadístico INFOSTAT. Las imágenes se realizaron utilizando el programa RStudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB), el suelo empleado como sustrato fue un Luvisol, con textura limosa (12.98% de arcilla, 78.74% de limo y 7.69% de arena), pH de 7.7., 0.725 dS m⁻¹ de CE y 7.6% de MOS. Los MWCNTs tenían forma tubular, presentaban diámetros de 7 a 13 nm, longitud de 2.5-20 μm y pureza del 95%. La dimensión nano de los MWCNTs, les otorga propiedades eléctricas, mecánicas, catalíticas y ópticas en comparación con materiales de dimensiones mayores, incrementando su reactividad (Patel et al., 2020). Los MWCNTs al ingresar a los ecosistemas como el suelo, tienen la capacidad de interactuar con los componentes del mismo, incluyendo los microorganismos. En el presente estudio los MWCNTs agregados al suelo modificaron de manera positiva y negativa, algunos indicadores de la calidad del suelo en función del tiempo y de manera dependiente a la concentración (Figura 1). A los 10 DE, la biomasa microbiana del suelo incrementó con el tratamiento MW1 y MW2 con 181.2 y 158.2 mg C glucosa kg⁻¹ SCO, en comparación con el suelo control. No obstante, la biomasa microbiana fue disminuyendo en el tiempo, de manera negativa a la concentración de MWCNT (Figura 1a). La biomasa microbiana del suelo en presencia de plántulas de tomate fue estadísticamente igual en todos los tratamientos (Figura 1b).

El aumento en la biomasa microbiana del suelo a los 10 DE, podría estar relacionado con la respuesta inicial de los microorganismos frente a la presencia de contaminantes, lo cual estimula la actividad metabólica, con la finalidad de degradar y transformar los contaminantes presentes (Kalwani et al., 2022). Sin embargo, conforme pasa el tiempo, esta capacidad inicial podría disminuir como resultado de las interacciones directas entre la superficie reactiva de los MWCNTs y membranas celulares de los microorganismos. Una revisión reciente documentó el efecto de MWCNTs sobre la biomasa microbiana del suelo. El estudio abarca 20 artículos de las últimas dos décadas, e informa que los MWCNTs reducen drásticamente de la biomasa microbiana del suelo (Zuo et al., 2024). La toxicidad de los MWCNTs en los microorganismos puede ser directa o inducida por estrés oxidativo. Las cargas superficiales de los MWCNTs pueden interactuar con los fosfolípidos y proteínas que componen la membrana celular, causando daños físicos y provocando lisis celular (Zuo et al., 2024). Además, estas interacciones pueden inducir la ROS, lo que resulta en estrés oxidativo en proteínas, lípidos y ADN, y puede llevar a la muerte celular. No obstante, la estabilidad de la biomasa microbiana entre tratamientos a los 30 DE, podría estar relacionado con la capacidad del suelo para adaptarse a condiciones desfavorables (Maurya et al., 2020).

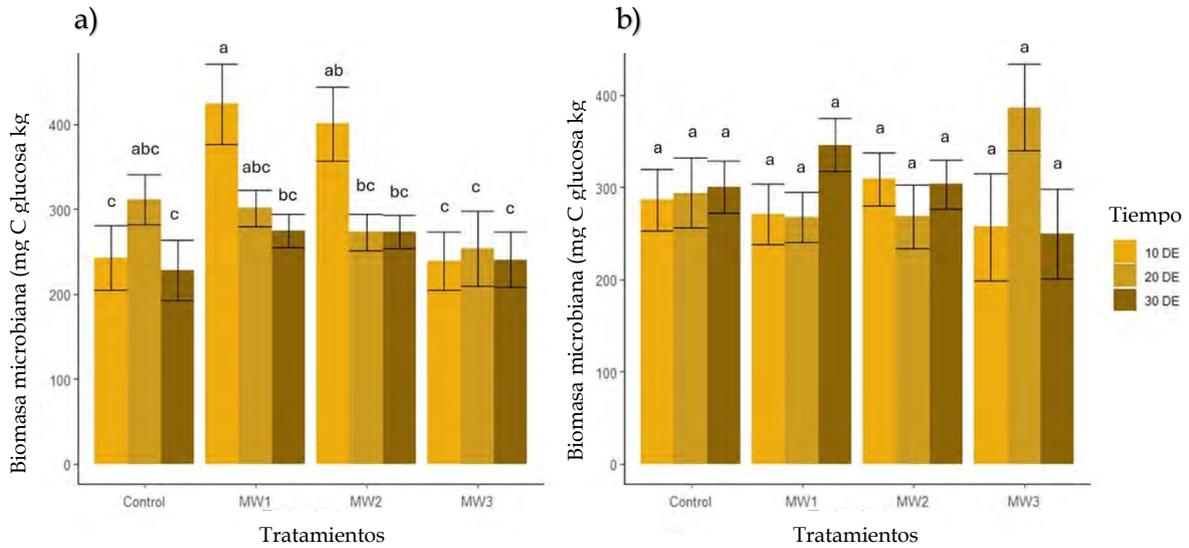


Figura 1. Biomasa microbiana de suelo tratado con nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT). a) Suelo sin presencia de planta; b) Suelo cultivado con planta de tomate. Letras minúsculas diferentes entre días de exposición (DE) y tratamientos muestran diferencias significativas con base en la prueba estadística Tukey ($p < 0,05$). Los datos son el promedio de tres réplicas biológicas \pm error estándar. MW1, MW2 y MW3, corresponden a los tratamientos con 0.5, 10 y 20 mg de MWCNT kg^{-1} de suelo seco (SCO), respectivamente, y suelo control (Control).

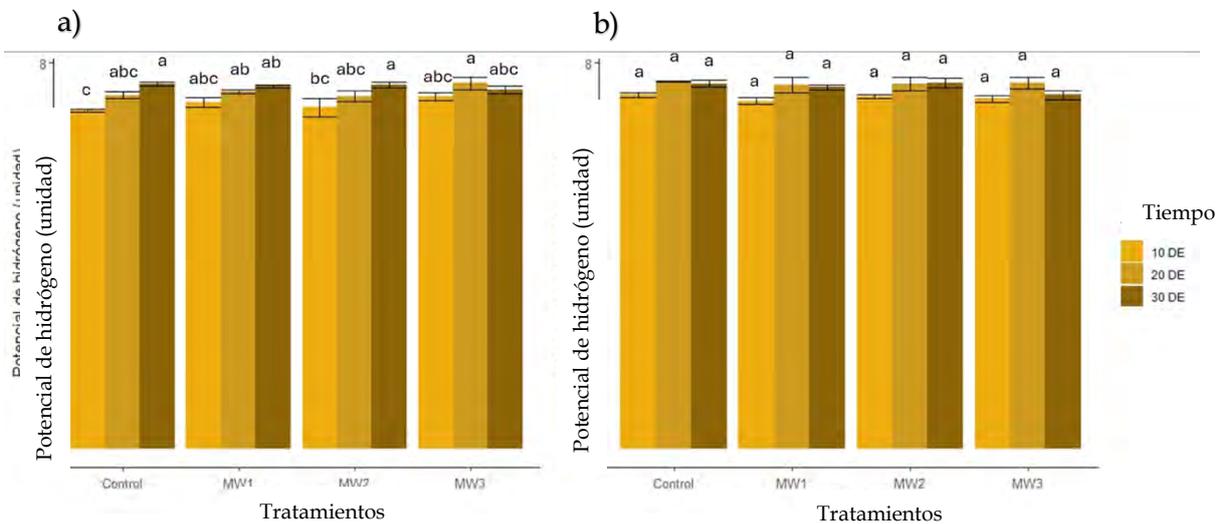


Figura 2. Potencial de hidrógeno (pH) de suelo tratado con nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT). a) Suelo sin presencia de planta; b) Suelo cultivado con planta de tomate. Letras minúsculas diferentes entre días de exposición (DE) y tratamientos muestran diferencias significativas con base en la prueba estadística Tukey ($p < 0,05$). Los datos son el promedio de tres réplicas biológicas \pm error estándar. MW1, MW2 y MW3, corresponden a los tratamientos con 0.5, 10 y 20 mg de MWCNT kg^{-1} de suelo seco (SCO), respectivamente, y suelos control (Control).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Por otra parte, el pH de suelo sin o con presencia de plantas fue estadísticamente igual entre tratamientos (Figuras 2a y 2b). No obstante, la Figura 2 refleja una tendencia positiva del pH de manera dependiente a la concentración. Lo cual puede estar relacionado con la liberación del material citoplasmático al mismo.

La lisis celular, provocada por la reactividad de los MWCNTs en microorganismos, integra aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y diversas moléculas orgánicas e inorgánicas al suelo (Chen et al., 2022). Dependiendo de la naturaleza química, los compuestos pueden interactuar con el entorno del suelo y modificar el pH, a través de la liberación de sustancias alcalinas, e intervenir en la descomposición de MOS y recirculación de nutrientes (Hemkemeyer et al., 2021).

CONCLUSIONES

Los MWCNTs podrían cambiar de manera positiva y negativa los indicadores de la calidad del suelo como biomasa microbiana y pH en función del tiempo y de manera dependiente a la concentración, lo cual podría tener repercusiones directas en los procesos biogeoquímicos del suelo. No obstante, el suelo podría tener la capacidad de recuperarse de los efectos duales conforme al tiempo debido a la resiliencia. Por otra parte, la toxicidad de los MWCNTs en los microorganismos del suelo podría disminuir en presencia de plantas.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por los proyectos 'Ciencia Básica SEP-CONACyT-151881', 'FONCYT-COAHUILA COAH-2019-C13-C006', y 'FONCYT-COAHUILA COAH-2021-C15-C095', del Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía (Cinvestav- Saltillo), y por Cinvestav Zacatenco. NA S-A recibió beca de doctorado del CONAHCYT. MG L y F F-L recibieron apoyo del SNII.

BIBLIOGRAFÍA

- Chen, X., Wang, J., You, Y., Wang, R., Chu, S., Chi, Y., Hayat, K., Hui, N., Liu, X., Zhang, D., & Zhou, P. (2022). When nanoparticle and microbes meet: The effect of multi-walled carbon nanotubes on microbial community and nutrient cycling in hyperaccumulator system. *Journal of Hazardous Materials*, 423, 126947. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126947>
- Hemkemeyer, M., Schwalb, S. A., Heinze, S., Joergensen, R. G., & Wichern, F. (2021). Functions of elements in soil microorganisms. *Microbiological Research*, 252, 126832. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126832>
- Kalwani, M., Chakdar, H., Srivastava, A., Pabbi, S., & Shukla, P. (2022). Effects of nanofertilizers on soil and plant-associated microbial communities: Emerging trends and perspectives. *Chemosphere*, 287(P2), 132107. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132107>
- Maurya, S., Abraham, J. S., Somasundaram, S., Toteja, R., Gupta, R., & Makhija, S. (2020). Indicators for assessment of soil quality: a mini-review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(9), 1-22. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08556-z>

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Patel, D. K., Kim, H. been, Dutta, S. D., Ganguly, K., & Lim, K. T. (2020). Carbon nanotubes-based nanomaterials and their agricultural and biotechnological applications. *Materials*, 13(7), 1679.
- Schulte, E. E., & Hopkins, B. G. (1996). Estimation of soil organic matter by weight loss-on-ignition. *Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation*, 46, 21–31. <https://doi.org/10.2136/sssaspepub46.c3>
- Vance, E. D., Brookes, P. C., & Jenkinson, D. S. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 19(6), 703–707. [papers://c153aa6a-674a-4d9c-be67-ab5f6be3d6cb/Paper/p4](https://doi.org/10.1016/0038-0717(87)90010-4)
- Zuo, Y., Zeng, W., & Huang, J. (2024). Effects of exposure to carbon nanomaterials on soil microbial communities: A global meta-analysis. *Land Degradation and Development*, 35(1), 238–248. <https://doi.org/10.1002/ldr.4912>

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

NANOMATERIALES PARA LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS Y LA REMEDIACIÓN AMBIENTAL

**Fabián Fernández-Luqueño¹; Jessica E. Martínez-Vázquez¹;
Nayelli A. Sigala-Aguilar¹; Sarahi Moya-Cadena¹; Sirenia González Pozos²**

¹Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Parque Industrial Saltillo-Ramos Arizpe, Ramos Arizpe, Coahuila de Zaragoza, México. 25900.

²Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Zacatenco, Ciudad de México.
fabian.fernandez@cinvestav.edu.mx

RESUMEN

La nanotecnología agrícola y ambiental ha logrado avances en el sector primario durante las últimas dos décadas. A través de la nanotecnología y la nanociencia (N&N) se han desarrollado diversos nanomateriales (NM) que podrían hacer frente a los desafíos ambientales y fomentar una producción de alimentos agrícolas más sostenible. Los NM pueden otorgar múltiples beneficios en la producción de alimentos, tales como: inducir la síntesis de biocompuestos en plantas, incrementar el rendimiento de los cultivos, mejorar la calidad del fruto, controlar plagas o enfermedades, entre otras. En el sector ambiental, la N&N ha diseñado dispositivos para la remediación de suelo, agua y aire a través de diversas tecnologías tradicionales y su combinaciones, como pudiera ser a través de la fitorremediación, filtros, entre otros. En este extenso se destacan diversos resultados de experimentos e investigaciones con implicaciones agrícolas y ambientales que serán presentados durante el Simposio "Nanotecnología Agrícola y Ambiental". Por consiguiente, se discutirá el efecto de NM en procesos de fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados (MP), remoción de patógenos y MP en agua, remoción de hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH) en suelo tratado con Zn-NM, entre otros. La discusión relativa al impacto de la N&N en el sector agrícola se enfocará en el uso de NM como inductores de biocompuestos en plantas, el impacto de los NM en el rendimiento y calidad de algunos cultivos y su uso en suelo cultivado en condiciones de campo. Aspectos de seguridad y daño colateral del uso de N&N también son discutidos.

PALABRAS CLAVE

Alimento asequible e inocuo; Biorremediación; Nanoremediación; Suelo contaminado; Agricultura tecnificada.

INTRODUCCIÓN

La agronomía y diversas áreas tecnológicas y científicas deben desarrollar estrategias que permitan producir alimentos asequibles e inocuos para los más de 8000 millones de personas en la Tierra. Las técnicas agrícolas tradicionales son ineficientes para garantizar la producción sostenible de alimentos, frente a diversos desafíos como el cambio climático, degradación de suelos, contaminación, entre otros. En este sentido, es necesario desarrollar nuevas áreas del conocimiento que generen alternativas tecnológicas con un enfoque integral, abarcando aspectos económicos,

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

sociales y ambientales (Pérez-Moreno *et al.*, 2019; Fernández-Luqueño y Kumar-Patra, 2023).

El uso de NM para la remediación de suelo, agua o aire, se han logrado avances significativos mediante la reutilización de materiales y el desarrollo de filtros o dispositivos especializados (García-Mayagoitia *et al.*, 2020). Además, se han empleado tecnologías de biorremediación, como fitorremediación, bioaumentación o bioestimulación para la remoción de metales pesados (MP) o degradación de compuestos orgánicos en suelo o agua (de Francisco *et al.*, 2024; Hussan *et al.*, 2024).

En cuanto al uso de NM para la remediación de suelo, agua o aire, se han logrado avances significativos mediante la reutilización de materiales y el desarrollo de filtros o dispositivos especializados (García-Mayagoitia *et al.*, 2020). Además, se han empleado tecnologías de biorremediación, como fitorremediación, bioaumentación o bioestimulación para la remoción de metales pesados (MP) o degradación de compuestos orgánicos en suelo o agua (López-Valdez y Fernández-Luqueño, 2018; Fernández-Luqueño *et al.*, 2023).

Debido a la relevancia de implementar la N&N en los sectores agrícola y ambiental. Este extenso presenta resultados sobre el uso de nanomateriales de carbono, con un enfoque particular en los nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT), como inductores de biocompuestos y metabolitos osmoprotectores en plantas (Sigala-Aguilar *et al.*, 2024a, 2024b). Así mismo, se exploran los cambios en grupos funcionales de tejido de plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) tratadas con NP de TiO₂, ZnO, y Fe₂O₃ (Sarabia-Castillo *et al.*, 2023). Además, se discute el uso de ZnO NP para fitorremediar un suelo contaminado con MP y cultivado con girasol (*Helianthus annuus* L.) (Perez-Hernández *et al.*, 2024). La síntesis de filtros para remover patógenos, MP o degradar azul de metileno con base en NP naturales, residuos de café y NP de TiO₂ se puede revisar en Urdapilleta-Inchaurregui *et al.* (2020, 2021). Estudios relacionados con el efecto de NM sobre la diversidad o abundancia de microorganismos del suelo también son discutidos (Sánchez-López *et al.*, 2019; Medina-Pérez *et al.*, 2024).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos con cultivos (*Phaseolus vulgaris* L., *Helianthus annuus* L. o *Solanum lycopersicum* L.) se realizaron en invernadero en Cinvestav unidad Saltillo. En todas las investigaciones reportadas se empleó un diseño experimental basado en bloques completamente aleatorizados. Las particularidades relacionadas con la semilla, características de tratamientos, tipo de materiales nanométricos, condiciones y manejo de los cultivos de cada uno de los experimentos, se pueden consultar en Sarabia-Castillo *et al.* (2023), para el caso del frijol; Perez-Hernández *et al.* (2024), en el cultivo de girasol y Sigala-Aguilar *et al.* (2024b), para el jitomate. Estas referencias detallan las variables dependientes e independientes, la colecta de datos, el análisis estadístico y la interpretación de resultados.

La síntesis, caracterización, diseño y evaluación de la eficiencia de filtros para remover patógenos o metales pesados y degradar azul de metileno de agua, se pueden consultar en Urdapilleta-Inchaurregui *et al.* (2020, 2021). Brevemente, se diseñaron dos tipos de filtros con base en arcillas naturales extraídas de suelos Vertisoles o Phaeozem. Con esas arcillas se formaron compositos con NP de TiO₂, Ag y residuos de café en una mufla a 500°C. En todos los casos, se realizaron curvas de calibración con

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

estándares de PAH, MP o metabolitos marca Sigma Aldrich®, adquiridos en Merck®. La cepas de *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* fueron proporcionadas por la Colección Nacional de Cepas Microbianas y Cultivos Celulares del Cinvestav.

Los NM empleados o sintetizados en los experimentos previamente mencionados, fueron caracterizados en Cinvestav unidad Saltillo. La forma cristalina fue verificada mediante difracción de rayos X (XRD). El tamaño, forma, morfología, composición y pureza de los NM fue verificada utilizando microscopía electrónica de barrido de emisión de campo con espectroscopia de rayos X de dispersión de energía (FESEM-EDS) y microscopía electrónica de barrido con espectroscopia de rayos X de dispersión de energía (SEM-EDS). La determinación de PAH se realizó mediante cromatografía de gases (GC). Para la determinación y cuantificación de metabolitos en tejidos vegetales se usó cromatografía líquida de ultra alto desempeño acoplada a espectrometría de masas (UPLC-MS), cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier con reflectancia total atenuada (FTIR-ATR). Los procedimientos empleados en las investigaciones que implicaron el uso de biología molecular y pirosecuenciación se describen en Sánchez-López *et al.* (2019) y Medina-Pérez *et al.* (2024).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en un análisis exhaustivo de 79 artículos científicos, se determinó que los nanotubos de carbono o grafeno representan los NM de carbono (NMC) más empleados en estudios con plantas, seguido de los fulerenos (Sigala-Aguilar *et al.*, 2024a). Estos NMC son utilizados como reguladores de crecimiento y estimulantes en diversas especies de plantas bajo condiciones óptimas o de estrés. Así mismo, dichos NMC tienen el potencial para utilizarse como elicitores para la producción de biocompuestos en células vegetales y con ello favorecer la adaptación de las plantas a condiciones de estrés biótico o abiótico. Otros autores han reportado resultados similares en los que indican que los NMC mejoran la tolerancia a la sequía (Xiong y Ma, 2022), estrés oxidativo (Subotic *et al.*, 2022) o salinidad (Golkar *et al.* 2021). Además, Sigala-Aguilar *et al.* (2024b) informaron que el uso de nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNTs) puede incrementar el contenido de biocompuestos en plántulas de jitomate sin disminuir su crecimiento ni la calidad del suelo cultivado. Esto sugiere que el uso de MWCNTs podría contribuir a una mejora en la producción agrícola de manera sustentable.

Relacionado con el uso de NP de TiO_2 , ZnO , y Fe_2O_3 para cultivar frijol, se determinó que estas NP favorecieron el proceso de absorción y translocación de iones metálicos al tallo y hoja. Sin embargo, no se identificaron alteraciones morfológicas en el tejido de tallo o raíz, como se evidencia en las micrografías obtenidas por SEM-EDS (Figuras no mostradas). Los espectros generados por FTIR-ATR indican que los diferentes NM empleados sí modificaron la abundancia de grupos funcionales del tejido de tallos y raíces de *Phaseolus*, lo cual coincide con resultados reportados por Deng *et al.* (2017), cuando trataron arroz (*Oryza sativa* L.) con NP de TiO_2 .

Respecto al uso de ZnO NP en procesos de fitorremediación de MP (arsénico y plomo) de un suelo cultivado con girasol (*Helianthus annuus* L.) bajo condiciones de invernadero, Perez-Hernández *et al.* (2024) reportaron que la fitorremediación complementada con el uso de NP de ZnO , aumentó la bioconcentración y traslocación

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

de As y Pb en el tejido vegetal; así mismo, el uso de NP de ZnO incrementó significativamente la longitud de raíz, tallo y producción de biomasa en las plantas de girasol respecto al tratamiento control. Sin embargo, estos autores recomiendan realizar más estudios controlados, de larga duración y en condiciones de campo antes de transferir esta tecnología de forma extensiva. Ali *et al.* (2024), hacen recomendaciones precautorias similares respecto al uso de estas tecnologías. En particular, ellos destacan la necesidad de optimizar el desempeño y la relación costo-beneficio, así como el uso de estudios de larga duración y el desarrollo de protocolos estandarizados para su implementación en gran escala.

La síntesis de filtros para remover patógenos o MP, así como degradar azul de metileno con base en NP naturales, residuos de café y NP ha sido revisada ampliamente (Medina-Pérez *et al.*, 2019; Vázquez-Núñez *et al.*, 2020). Urdapilleta-Inchaurregui *et al.* (2020, 2021), sintetizaron compositos para disminuir la carga microbiana (*Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*) en agua de grifo, remover MP y degradar contaminantes orgánicos. Sus resultados indican que degradaron 82 % de azul de metileno en solo 150 minutos y se inhibió el crecimiento de *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*, mediante el empleo de arcillas producto de un suelo Phaeozem. Cuando el composito fue sintetizado con arcillas de suelo Vertisol, 80 % del azul de metileno se degradó en solo 30 minutos y la remoción de As y Pb alcanzó 90 %.

A pesar de las ventajas que se obtienen a través del uso de la nanotecnología en el sector agrícola y ambiental, aún surgen dudas sobre el daño colateral que estos NM podrían tener sobre los recursos naturales como el suelo, seguridad-sanidad alimentaria y la salud pública. No obstante, los daños toxicológicos de los materiales de dimensiones nanométricas obtenidos hasta ahora, son prácticamente nulos, considerando el tipo y propiedades fisicoquímicas del NM utilizados, así como las concentraciones y las condiciones específicas bajo las cuales este grupo de investigación las ha estudiado. Pérez-Hernández *et al.* (2020) demostraron que las lombrices de suelo del género *Balanteodrilus* consumen material orgánico en suelos con bajas concentraciones (1.0 a 10 mg kg⁻¹) de NP de magnetita (Fe₃O₄) y hematita (α -Fe₂O₃), pero evitan suelos con altas concentraciones (> 100 mg kg⁻¹) de esas NP. Lo anterior implica no solo que los organismos del suelo evaden altas concentraciones, sino que también *Balanteodrilus* podría ser empleada como indicador biológico de presencia de Fe₃O₄ y α -Fe₂O₃. Sánchez-López *et al.* (2019) demostraron que las NP de TiO₂ no alteran a *Eisenia fetida*, ni el ciclo del N del suelo, pero esas NP tuvieron un efecto limitado en la estructura de la comunidad bacteriana. Por su parte, Medina-Pérez *et al.* (2024) reportaron que las NP de TiO₂ no afectaron el cultivo de frijol común, ni la comunidad bacteriana de suelo no rizosférico.

CONCLUSIONES

Los NM a base de óxidos metálicos o carbono modifican el crecimiento, desarrollo y rendimiento de cultivos, así como la síntesis de metabolitos secundarios en plantas. Esto podría implicar beneficios en la actividad agrícola, considerando incremento de biomasa y mejora en el valor nutricional de los cultivos.

Las arcillas naturales, los residuos de café y los NM empleados contribuyeron a remover patógenos y azul de metileno en agua, mientras que las NP de ZnO

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

removieron As y Pb e incrementaron la producción de biomasa a través del proceso de fitorremediación con girasol.

Los NM tienen aplicaciones diversas en el sector agrícola y ambiental; sin embargo, persisten dudas relacionadas con el potencial daño colateral de estos materiales de dimensiones nanométricas sobre los organismos del suelo, la salud humana y el equilibrio de los ecosistemas.

BIBLIOGRAFÍA

- Ali, S., Naseer, S., Rehman, M., & Wei, Z.G. (2024). Recent trends and sources of lead toxicity: a review of state-of-the-art nano-remediation strategies. *Journal of Nanoparticle Research*. 26(7), 168, 1-29.
- Deng, Y.Q., Petersen, E.J., Challis, K.E., Rabb, S.A., Holbrook, R.D., Ranville, J.F., Nelson, B.C., & Xing, B.S. (2017). Multiple Method Analysis of TiO₂ Nanoparticle Uptake in Rice (*Oryza sativa* L.) Plants. *Environmental Sciences and Technology* 51(18), 10615-10623.
- De Francisco, M., Romeiro, A., Durães, L., Álvarez-Torrellas, S., Ibañez, M.A., & Almendros, P. (2024). Environmental Behaviour of Synthesized and Commercial Agricultural Zinc Products: Leaching, Migration, and Availability in Soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. Early Access. <http://doi.org/10.1007/s42729-024-01908-5>
- Fernández-Luqueño, F., & Kumar-Patra, J. (Eds.). (2023). *Agricultural and Environmental Nanotechnology: Novel Technologies and their Ecological Impact*. Springer. 669 pp. ISBN: 978-981-19-5453-5.
- Fernández-Luqueño, F., López-Valdez, F., & Medina-Pérez, G. (Eds.). (2023). *Bio and Nanoremediation of Hazardous Environmental Pollutants* (1st ed.). CRC Press-Taylor & Francis Group. 350 pp. ISBN: 978-0-367-51237-8.
- García-Mayagoitia, S., Pérez-Hernández, H., Medina-Pérez, G., Campos-Montiel, R.G., & Fernández-Luqueño, F. (2020). Chapter 12. Bio-nanomaterials in the air pollution treatment. In: Abdeltif Amrane, Assadi Aymen, Nguyen-Tri Phuong, Rtimi Sami, Nguyen Tuan Anh (Eds.). *Nanomaterials for Air Remediation*. Elsevier. 227-248 pp. ISBN: 978-0-12-818821-7.
- Golkar, P., Bakhtiari, M.A., & Bazarganipour, M. (2021). The effects of nanographene oxide on the morpho-biochemical traits and antioxidant activity of *Lepidium sativum* L. under in vitro salinity stress. *Scientia Horticulturae*. 288, 110301.
- López-Valdez, F. & Fernández-Luqueño, F. (Eds.). (2018). *Agricultural Nanobiotechnology. Modern Agriculture for a Sustainable Future*. Springer. 218 pp. ISBN 978-3-319-96718-9.
- Hussan, M.U.I., Hussain, S., Hafeez, M.B., Ahmed, S., Hassan M.U.I., Jabeen, S., Yan, M.K., & Wang, Q.Z. (2024). Comparative role of calcium oxide nanoparticles and calcium bulk fertilizer to alleviate cadmium toxicity by modulating oxidative stress, photosynthetic performance and antioxidant-defense genes expression in alfalfa. *Plant Physiology and Biochemistry*. 215, 109002.
- Medina-Pérez, G., Fernández-Luqueño, F., Vazquez-Nuñez, E., López-Valdez, F., Prieto-Mendez, J., Madariaga-Navarrete, A., & Miranda-Arámbula, M. (2019). Remediation of polluted soils using nanotechnologies: Environmental benefits and risks. *Polish Journal of Environmental Studies*. 28(3), 1013-1030.

- Medina-Pérez, G., Afanador-Barajas, L., Pérez-Ríos, S., Navarro-Noya, Y.E., Luna-Guido, M., Fernández-Luqueño, F., & Dendooven, L. (2024). Bacterial Communities in the Rhizosphere of Common Bean Plants (*Phaseolus vulgaris* L.) Grown in an Arable Soil Amended with TiO₂ Nanoparticles. *Agronomy*. 14(1), 74, 1-15.
- Pérez-Hernández, H., Fernández-Luqueño, F., Huerta-Lwanga, E., Mendoza-Vega, J., Álvarez-Solís, J.D., Hernández-Gutiérrez, E., Valle-Mora, J.F., & Pérez-Sato, M. (2020). The first evidence of accumulation and avoidance behavior of macroinvertebrates in a forest soil spiked with human-made iron nanoparticles: a field experiment. *Heliyon*. 6(9) 1-12, e04860.
- Pérez-Hernández, H., Pérez-Moreno, A.Y., Méndez-López, A., & Fernández-Luqueño, F. (2024). Effect of ZnO nanoparticles during the process of phytoremediation of a soil contaminated with As and Pb cultivated with sunflower (*Helianthus annuus* L.). *International Journal of Environmental Research*. 18(1), 1-14.
- Pérez-Moreno, A., Sarabia-Castillo, C.R., Medina-Pérez, G., Pérez-Hernández, H., Roque De La Puente, J., González-Pozos, S., Corlay-Chee, L., Chamizo-Checa, A., Campos-Montiel, R.G., & Fernández-Luqueño, F. (2019). Nanomaterials modify the growth of crops and some characteristics of organisms from agricultural or forest soils: An experimental study at laboratory, greenhouse and land level. *Mexican Journal of Biotechnology*. 4(4), 29-49.
- Sánchez-López, K.B., De los Santos-Ramos, F.J., Gómez-Acata, E.S., Luna-Guido, M., Navarro-Noya, Y.E., Fernández-Luqueño, F., & Dendooven, L. (2019). TiO₂ nanoparticles affect the bacterial community structure and *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) in an arable soil. *PeerJ*. 7, 1-28, e6939.
- Sarabia-Castillo, C.R., Pérez-Moreno, A.Y., & Fernández-Luqueño, F. (2023). Metal oxide nanoparticles (TiO₂, ZnO, and Fe₂O₃) change the functional groups, but not the plant tissue content of common bean plants grown in a greenhouse. *Polish Journal of Environmental Studies*. 32(2), 1343-1352.
- Sigala-Aguilar, N.A., López, M.G., & Fernández-Luqueño, F. (2024a). Carbon-based nanomaterials as inducers of biocompounds in plants: Potential risks and perspectives. *Plant Physiology and Biochemistry*. 212, 108753.
- Sigala-Aguilar, N.A., Salomé-Abarca, L.F., López, M.G., & Fernández-Luqueño, F. (2024b). Bioactive metabolites upregulation in tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.) through non-soil damaging foliar applications of multi-walled carbon nanotubes. *Scientia Horticulturae*. 338. 113603.
- Subotić, A., Jevremović, S., Milošević, S., Trifunovic-Momčilov, M., Durić, M., & Koruga, Đ. (2022). Physiological Response, Oxidative Stress Assessment and Aquaporin Genes Expression of Cherry Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Exposed to Hyper-Harmonized Fullerene Water Complex. *Plants*, 11(21), 2810.
- Urdapilleta-Inchaurregui, V., Fernández-Luqueño, F., Torres-Huerta, A.M., Roa-Velázquez, D., Rodríguez-Varela, F.J., & Sánchez-Castro, M.E. (2020). Nanocomposite synthesis from a natural clay-rich soils and exhausted coffee grounds for environmental applications. *Journal of Nano Research*. 63, 47-63.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Urdapilleta-Inchaurregui, V., Fernández-Luqueño, F., Torres-Huerta, A.M., Roa-Velázquez, D., Rodríguez-Varela, F.J., & Sánchez-Castro, M.E. (2021). Natural soil clays from a Phaeozem to synthesize a nanocomposite with exhausted coffee grounds and Ag- and TiO₂-nanoparticles for water, air, or soil decontamination. *Polish Journal of Environmental Studies*. 30(1), 871-880.
- Vázquez-Núñez, E., Molina-Guerrero, C.E., Peña-Castro, J.M., Fernández-Luqueño, F., & de la Rosa-Álvarez, M.G. (2020). Use of nanotechnology for the bioremediation of contaminants: A Review. *Processes*. 8(7), 826, 1-17pp.
- Xiong, J.L., & Ma, N. (2022). Transcriptomic and Metabolomic Analyses Reveal That Fullerol Improves Drought Tolerance in *Brassica napus* L. *International Journal of Molecular Sciences*. 23(23), 15304.



NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC PARA INCREMENTAR CALIDAD NUTRIMENTAL EN MAÍZ GRANO

Manuel Fortis-Hernández; Eunice Anazareth Vizcarra-Gallegos*;
Alma Patricia Galindo-Guzmán; Pablo Preciado-Rangel;
Francisco Javier Ruiz-Ortega; Radames Trejo-Valencia²

¹Tecnológico Nacional de México - Campus Instituto Tecnológico de Torreón. Antigua Carretera Torreón-San Pedro km 7.5, C.P. 27170, Torreón, Coahuila, México.

²Tecnológico Nacional de México - Campus Mérida, Av. Tecnológico S/N km 4.5 C.P. 97118, Mérida Yucatán, México.

Autor para correspondencia: eunice_vizcarra@hotmail.com

RESUMEN

El maíz es un cultivo fundamental que tiene múltiples aplicaciones, pero sufre de problemas de calidad debido a la falta de ciertos nutrientes. Para enfrentar esta situación, la biofortificación con nanopartículas de óxido de zinc (NPs ZnO) ofrece una solución eficaz, ya que incrementa los niveles de zinc, un micronutriente esencial. Por lo que el objetivo es evaluar distintas dosis de NPs ZnO en la calidad nutrimental de maíz grano. Este estudio, realizado durante el ciclo agrícola de verano-otoño, evaluó cómo distintas concentraciones de NPs ZnO aplicadas de manera foliar influyen en la calidad nutricional del maíz de la variedad "San Lorenzo". Se aplicaron concentraciones de 100, 200, 300 y 400 mg L⁻¹ de NPs ZnO, comparándolas con un tratamiento testigo en un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones. Se analizaron parámetros como el contenido de cenizas, grasas, nitrógeno total, fibras detergentes y proteínas. Los tratamientos con 300 y 400 mg L⁻¹ mejoraron notablemente las propiedades bromatológicas del grano, destacando un aumento del zinc en la dosis de 400 mg L⁻¹, que logró un incremento del 26% comparado con el control, alcanzando una concentración de zinc de 102.75 µg g⁻¹ PS. La aplicación de NPs ZnO resulta ser una herramienta prometedora para mejorar la biofortificación del maíz, ofreciendo un grano más nutritivo que puede contribuir a una mayor ingesta de zinc en la dieta humana.

PALABRAS CLAVE

Biofortificación; Grasas; Micronutrientes; Proteína; *Zea mays* L.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cereales más importantes a nivel mundial debido a su amplia gama de usos, que incluyen la alimentación humana y animal, la producción energética y su aplicación en diversas industrias (Ramazan *et al.*, 2023). La calidad y composición química del maíz pueden variar considerablemente dependiendo de factores como el genotipo, el entorno y las condiciones del cultivo. De manera general, el grano de maíz contiene cerca de un 10% de proteínas, con una alta concentración de estas en el germen (Paredes *et al.*, 2009).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Recientemente, el maíz ha enfrentado desafíos como la disminución en su rendimiento y la aparición de deficiencias multinutricionales, lo que afecta negativamente su valor nutricional (Lira-Saldívar *et al.*, 2018). Una estrategia propuesta para contrarrestar estos problemas es la biofortificación, que busca aumentar el contenido de nutrientes mediante métodos como la fertilización, el mejoramiento genético tradicional o técnicas biotecnológicas (Gaucin-Delgado *et al.*, 2021). En particular, la biofortificación con zinc se ha destacado como una medida efectiva para combatir la deficiencia de este mineral, que es esencial para procesos como el crecimiento vegetal, la expresión génica y la actividad enzimática. El zinc juega un rol clave en la fotosíntesis, el desarrollo del polen, la síntesis proteica y la regulación de la permeabilidad de las membranas (Hacisalihoglu, 2020).

La nanotecnología ofrece una solución prometedora para mejorar la disponibilidad de macro y micronutrientes en las plantas (Urquilla, 2023). Estudios recientes han demostrado que, en bajas concentraciones, las nanopartículas pueden favorecer el crecimiento de las plantas, mientras que en dosis más elevadas pueden causar fitotoxicidad (Méndez-Argüello *et al.*, 2016). En el cultivo de trigo, las aplicaciones de nanopartículas de óxido de zinc en concentraciones de 40, 80 y 120 ppm han mostrado mejoras en los rendimientos, con resultados óptimos en 80 ppm (Sheoran *et al.*, 2021). De manera similar, en el cultivo de arroz, las aplicaciones foliares de zinc en concentraciones de entre 0.3 y 4.8 g por maceta han aumentado el contenido de zinc en los granos entre un 16.67% y 35.35% (Zhang *et al.*, 2021). Por tanto, el objetivo de este estudio fue analizar cómo las aplicaciones foliares de diferentes concentraciones de NPs ZnO influyen en la calidad nutricional del grano de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo durante el ciclo agrícola verano-otoño de 2022, empleando la variedad de maíz "San Lorenzo", conocida por su vigor en el campo, así como por la fortaleza de sus raíces y plántulas. La siembra se realizó en seco, manteniendo una separación de 0.15 m entre plantas y 0.75 m entre surcos, con una densidad de siembra de 70,000 plantas por hectárea. Se evaluaron 4 tratamientos de NPs ZnO (100, 200, 300 y 400 mg L⁻¹) y un testigo.

Las NPs-ZnO aplicadas fueron sintetizadas siguiendo la metodología descrita por Galindo *et al.* (2022), con tamaños que varían entre 67 y 71 nm, con una morfología semiesférica y poligonal, y una pureza del 99%. Las aplicaciones foliares se llevaron a cabo utilizando un surfactante no iónico y adherente INEX-A. El diseño experimental fue de bloques completamente al azar, con tres repeticiones por tratamiento.

Para evaluar la calidad nutricional del maíz, las muestras se secaron en una estufa durante 24 horas a 70 °C. La cantidad de cenizas se evaluó quemando 2 gramos de materia seca en una mufla a 550 °C por 4 horas, siguiendo el procedimiento de Galicia *et al.* (2012). El contenido de fibras detergente neutra (FDN) y ácida (FDA) se midió utilizando los métodos de Van Soest *et al.* (1991) y Van Soest & Wine (1968). Para la determinación del contenido graso, se empleó el método 920.39C de la AOAC (1990), utilizando un extractor tipo Goldfish, con un tiempo de extracción de 4 a 5 horas.

El contenido de nitrógeno en las muestras se analizó mediante el método de Kjeldahl (1883) (García-Martínez & Fernando-Segovia, 2012). A partir del nitrógeno total se calculó el contenido proteico, multiplicando por un factor de 6.25.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Para medir la concentración de zinc en los granos de maíz, las muestras se digirieron con ácido nítrico concentrado y se analizaron con un espectrofotómetro de emisión de plasma Thermo Scientific (Icap7400 Duo). Los resultados se expresaron en $\mu\text{g g}^{-1}$ PS.

El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando un análisis de varianza (ANOVA) con el software Statistical Analysis System (SAS) versión 9.0 (SAS, 2004). Las diferencias significativas entre los promedios se evaluaron mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis bromatológicos realizados en el grano de maíz, como cenizas, grasas, fibras detergentes neutras y ácidas, nitrógeno total y proteínas, mostraron diferencias significativas. Se observó un incremento en la concentración de cenizas con la aplicación de 300 mg L^{-1} de NPs ZnO en comparación con el tratamiento control. Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los niveles de nitrógeno total ni de proteínas con la aplicación de nanopartículas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis bromatológico en el grano de maíz.

Tratamientos NPs ZnO mg L^{-1}	Cen	FDN	FDA	Grasas	NT	P
	----- %-----					
Testigo	4.79 c*	29.42 b	19.02 a	9.90 b	1.82 a	11.40 a
100	4.88 c	34.12 a	16.37 c	9.94 b	1.90 a	11.93 a
200	6.78 b	35.12 a	18.14 ba	11.60 ba	2.08 a	13.03 a
300	7.54 a	33.83 a	17.80 ba	11.65 ba	1.81 a	11.35 a
400	7.07	32.96 a	16.91 bc	12.87 a	1.72 a	10.76 a

Cen= Cenizas, FDN= Fibras detergente neutras, FDA= Fibras detergente ácidas, NT= Nitrógeno Total, P=Proteína. *Valores con letras distintas indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Los resultados obtenidos se comparan con los reportados por Urango (2018), quien señala que el contenido nutricional promedio del maíz incluye carbohidratos entre el 44.8% y 69.9%, humedad entre el 11.6% y el 20%, proteínas que varían del 4.5% al 9.87%, grasas en un rango del 2.17% al 4.43%, fibras entre el 2.10% y el 26.77%, y cenizas entre el 1.10% y el 2.95%. En esta investigación, el contenido de cenizas y fibras fue superior a estos valores, lo que indica que las nanopartículas de óxido de zinc pueden mejorar el valor nutricional del maíz, proporcionando granos más ricos en nutrientes para la alimentación humana. El análisis estadístico de la concentración de zinc en los granos de maíz reveló diferencias significativas debido a la aplicación foliar de NPs de ZnO. En particular, el tratamiento con 400 mg L^{-1} mostró una concentración de zinc de $102.75 \mu\text{g g}^{-1}$, lo que representa un aumento del 26% en comparación con el tratamiento control (Figura 1). Estos resultados concuerdan con Subbaiah *et al.* (2016), quienes también observaron mejoras significativas en el contenido de zinc en maíz con aplicaciones de 100 y 400 mg L^{-1} de NPs de ZnO en comparación con el control. En su estudio, la concentración de 100 mg L^{-1} mostró una mejora del 37%, mientras que la concentración de 400 mg L^{-1} también fue destacada. Es probable que las diferencias en

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

las condiciones del cultivo entre ambos estudios influyen en los resultados, y se sugiere que la translocación del zinc hacia los granos de maíz depende no solo de la concentración de NPs aplicada, sino también de factores como la estructura, tamaño y pureza de las nanopartículas.

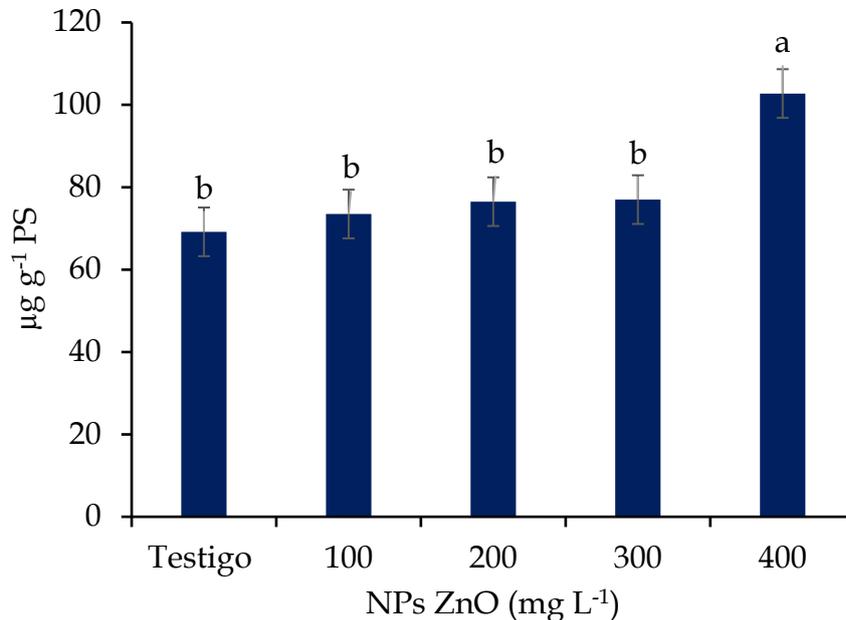


Figura 1. Concentración de Zn en grano de maíz (*Zea mays* L.) por efecto de la aplicación foliar de las NPs de ZnO. PS=Peso seco. Valores con letras distintas indican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

El zinc, en las plantas, se absorbe principalmente en su forma de catión divalente (Zn^{2+}), especialmente cuando el pH es elevado, aunque también puede ser captado como catión monovalente ($ZnOH^+$). Este micronutriente juega un papel crucial en procesos como la producción de clorofila, la síntesis de proteínas y el desarrollo de semillas (INTAGRI, 2013).

CONCLUSIONES

La aplicación foliar de NPs ZnO en diferentes concentraciones mejora significativamente la calidad nutricional del grano de maíz. La concentración de 300 mg L⁻¹ presentó un incremento significativo en cenizas, fibras detergentes neutras, grasas en comparación con el control. El incremento de zinc en maíz grano variedad San Lorenzo, por medio de la aplicación foliar de 400 mg L⁻¹ de NPs de ZnO, puede ser una alternativa de uso para su biofortificación y ser una estrategia para su ingesta adecuada para los seres humanos.

BIBLIOGRAFÍA

- AOAC Official methods 920.39C 1990. Determinación de grasa. Official Methods of Analysis of AOAC International.
- Galicia, L., Miranda, A., Gutiérrez, M. G., Custodio, O., Rosales, A., Ruíz, N., Surles, R., & Palacios, N. 2012. Laboratorio de calidad nutricional de maíz y análisis de tejido vegetal: protocolos de laboratorio 2012. CIMMYT.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Galindo-Guzmán, A. P., Fortis-Hernández, M., De la Rosa-Reta, C.V., Zermeño-González, H. & Galindo-Guzmán, M. 2022. Síntesis química de nanopartículas de óxido de zinc y su evaluación en plántulas de *Lactuca sativa*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (28): 299-308.
- García Martínez, E.M., Fernández Segovia, I. 2012. Determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl. Valoración con un ácido fuerte. <http://hdl.handle.net/10251/16338>
- Gaucin-Delgado, J. M., Preciado-Rangel, P., González-Salas, U., Sifuentes-Ibarra, E., Núñez-Ramírez, F., & Vidal, J. A. O. 2021. La biofortificación con selenio mejora los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en chile jalapeño. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(8): 1339-1349.
- Hacisalihoglu, G. 2020. Zinc (Zn): The last nutrient in the alphabet and shedding light on Zn efficiency for the future of crop production under suboptimal Zn. *Plants*, 9(11): 1471.
- INTAGRI. 2013. Nutrición vegetal, la función de los nutrimentos esenciales. Serie Nutrición Vegetal. Núm. 10 y 11. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 8
- Lira-Saldivar, R. H., Méndez-Argüello, B., De los Santos-Villareal, G., & Vera-Reyes, I. 2018. Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta Universitaria*, 28(2): 9-24.
- Méndez-Argüello B.M., Lira-Saldivar R.H., Vera-Reyes I. 2016. Respuestas fisiológicas de plantas cultivadas en bioespacios por efecto de nanofertilizantes y zeolita. *Agronano Tecnología*, México 62-79.
- Paredes López, O., Guevara Lara, F., & Bello Pérez, L. A. 2009. La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Ciencias*, 92(092).
- Ramazan, S., Nazir, I., Yousuf, W., & John, R. 2023. Environmental stress tolerance in maize (*Zea mays*): role of polyamine metabolism. *Functional plant biology* :FPB, 50(2): 85-96. <https://doi.org/10.1071/FP21324>
- Sheoran, P., Grewal, S., Kumari, S., & Goel, S. 2021. Enhancement of growth and yield, leaching reduction in *Triticum aestivum* using biogenic synthesized zinc oxide nanofertilizer. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 32, 101938.
- Subbaiah, L. V., Prasad, T. N., Krishna, T. G., Sudhakar, P., Reddy, B. R., & Pradeep, T. 2016. Novel Effects of Nanoparticulate Delivery of Zinc on Growth, Productivity, and Zinc Biofortification in Maize (*Zea mays* L.). *Journal of agricultural and food chemistry*, 64(19): 3778-3788. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b00838>
- Urquilla, A. C. 2023. ¿Será la Agricultura 4.0 la solución al hambre global? *Realidad y Reflexión*, (57): 39-58.
- Urango, L. A. (2018). Componentes del maíz en la nutrición humana. *Fondo Editorial Biogénesis*, 185-209.
- Van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis B.A. 1991 Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science*; 74:3583-3597.
- Van Soest P.J., Wine R.H., 1968. Determination of Lignin and Cellulose in Acid Detergent Fiber with Permanganate. *J Assoc Off Ana. Chem*; 51: 780-785.
- Zhang, H., Wang, R., Chen, Z., Cui, P., Lu, H., Yang, Y., Zhang, H. 2021. The Effect of Zinc Oxide Nanoparticles for Enhancing Rice (*Oryza sativa* L.) Yield and Quality. *Agriculture*, 11: 1247. <https://doi.org/10.3390/agriculture11121247>

CORRELACIÓN NITRÓGENO-CLOROFILA E ÍNDICES ESPECTRALES EN EL CULTIVO DE HIGO (*Ficus carica* L.)

Selenne Yuridia Márquez-Guerrero¹; Karla Janeth Martínez-Macias^{1*}; Aldo Rafael Martínez-Sifuentes²; Pablo Preciado-Rangel¹; José Antonio Cueto-Wong³; Edgar Rueda-Puente⁴; Elizabeth Macías-Cortés⁵

¹Instituto Tecnológico de Torreón

²Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México

⁴Universidad de Sonora, Departamento de Agricultura y Ganadería

⁵Instituto Tecnológico Superior de Lerdo

* Autor para correspondencia: kjmm_93@hotmail.com

RESUMEN

Actualmente México es uno de los principales productores a nivel mundial de higo, con estudios que señalan áreas propicias para su producción en el futuro. El nitrógeno es esencial para las plantas, y su contenido puede estimarse a través de la clorofila, clave en la fotosíntesis. La teledetección es una técnica útil en la agricultura para monitorear cultivos y detectar deficiencias nutricionales, como las de nitrógeno, basándose en índices espectrales como MCARI y TCARI. En un estudio en Durango, se utilizaron imágenes satelitales para determinar estos índices y su relación con la clorofila y el nitrógeno en plantas de higo. Se observó una correlación positiva entre el contenido de nitrógeno y los índices MCARI y TCARI, lo que sugiere que estos índices son útiles para estimar deficiencias de nitrógeno sin necesidad de análisis de laboratorio costosos y demorados. Estos resultados coinciden con investigaciones previas y destacan la eficacia de la teledetección y los índices espectrales en la estimación de nutrientes en cultivos, como el higo, ofreciendo una alternativa efectiva para la gestión adecuada de nutrientes en condiciones de cambio climático.

PALABRAS CLAVE

Bandas espectrales; Imágenes satelitales; MCARI; TCARI; Teledetección.

INTRODUCCIÓN

La higuera (*Ficus carica*) es un cultivo de origen mediterráneo que tiene gran importancia económica debido a su fruto y calidad nutricional. Actualmente, México es uno de los principales productores de higo del mundo, produciendo 11,500 toneladas en 2022 y se prevé que continúe con esta tendencia, ya que, estudios recientes indican que el eje Neovolcánico transversal, sierra madre occidental y centro norte del país presentan idoneidad de hábitat para la producción del cultivo para años futuros en condiciones de cambio climático (Martínez-Macias et al., 2022; SADER, 2022).

El nitrógeno es un nutriente de suma importancia en las plantas ya que participa en múltiples reacciones bioquímicas y fisiológicas en los cultivos. Mediante la clorofila es posible estimar el contenido de nitrógeno ya que existe una relación entre ambas variables (López-Calderón et al., 2023).

La teledetección es una técnica que permite detectar elementos terrestres a través de la reflectancia de estos objetos; en agricultura, permite clasificar los cultivos y ayuda a conocer el estado fenológico de las plantas mediante las firmas espectrales (Copernicus, 2018), a su vez, permite medir variables como clorofila, biomasa, índice de área foliar, entre otras, por lo que es posible identificar a tiempo las deficiencias de nitrógeno a través de la reflectancia de la clorofila, ya que la fotosíntesis se verá afectada por la disponibilidad de nitrógeno debido a que utiliza más del 50% de este en el aparato fotosintético (Martínez-Macias et al., 2024).

Los índices espectrales pueden ser definidos como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectividad a distintas longitudes de onda, y que pretende extraer de los mismos la información relacionada con la vegetación minimizando la influencia de las perturbaciones como las debidas al suelo y a las condiciones atmosféricas, y es particularmente sensible a la cubierta vegetal (Reynosa-Correa, 2016).

Según diferentes estudios los índices MCARI y TCARI tienen gran relación con la estimación de nitrógeno, por lo que en el presente trabajo se pretende ver la relación de estos índices con el contenido de nitrógeno y clorofila total calculado en laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de campo se realizó en el ejido El Vergel, Gómez Palacio, Durango (25° 39' 16.679" N, -103° 30' 4.129") (Figura 1). Con ayuda del sitio de Copernicus Open Acces, se descargaron imágenes de Sentinel-2 con un nivel de procesamiento 2A, para observar el comportamiento del cultivo de higo en dos parcelas diferentes para los meses de abril a octubre del 2022. En total se realizaron 16 mediciones, descartándose las imágenes con alto nivel de nubosidad, dejando un total de 14 imágenes satelitales.

Utilizando las bandas espectrales correspondientes y con ayuda de la calculadora algebraica del software cartográfico Arc GIS 10.8, se determinaron los índices MCARI y TCARI, los cuáles, según la literatura, tienen mayor relación con el contenido de nitrógeno que el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).

$$MCARI = [R_{750} - R_{705} - 0.2(R_{750} - R_{550})] \left(\frac{R_{750}}{R_{705}} \right)$$

$$TCARI = 3[R_{750} - R_{705} - 0.2(R_{750} - R_{550})] \left(\frac{R_{750}}{R_{705}} \right)$$

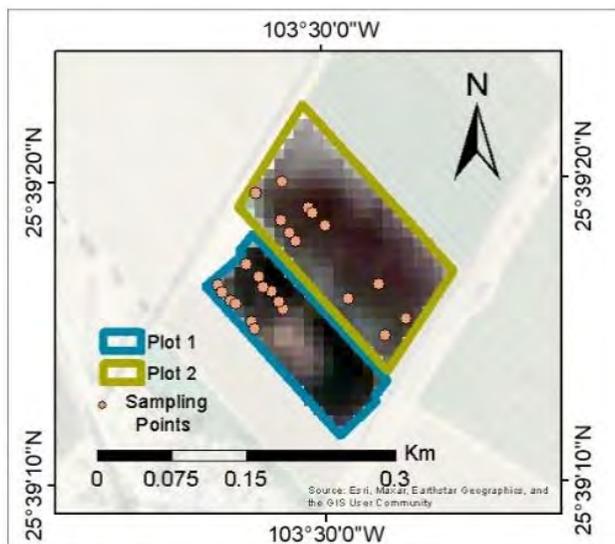


Figura 1. Área de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 2 muestra el comportamiento de la clorofila total, nitrógeno, MCARI y TCARI, observándose un comportamiento similar, mientras que en el cuadro 1, se tiene que la relación de CT-N es de 0.68 mientras que la de CT con MCARI y TCARI es de 0.5 y la de N con MCARI y TCARI aumenta a casi 0.8. Estos resultados concuerdan con el estudio realizado por Martínez-Macias et al., (2024) y López-Calderón et al., (2023) los cuales concuerdan que los índices MCARI y TCARI junto con el índice OSAVI, son de los mejores índices para la estimación de nitrógeno.

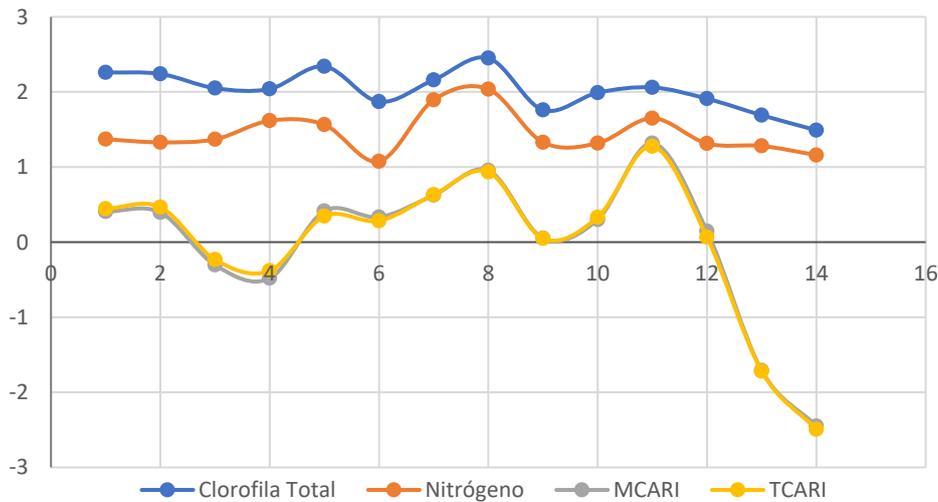


Figura 2. Relación CT-N e índices de clorofila.

Cuadro 1. Relación CT-N e índices de clorofila.

CT	N	MCARI	TCARI
1.370	2.260	0.406	0.444
1.329	2.240	0.395	0.466
1.369	2.050	-0.305	-0.232
1.617	2.040	-0.481	-0.381
1.564	2.340	0.415	0.346
1.076	1.870	0.333	0.284
1.893	2.160	0.624	0.632
2.037	2.450	0.955	0.934
1.329	1.760	0.053	0.048
1.318	1.990	0.300	0.331
1.649	2.060	1.317	1.275
1.314	1.910	0.146	0.067
1.281	1.690	-1.710	-1.719
1.159	1.490	-2.449	-2.494
CT-N	CT	0.517	0.522
0.680	N	0.763	0.775

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

CONCLUSIÓN

A pesar de que la clorofila total se encuentra directamente relacionada con el contenido de nitrógeno en las plantas, esta no tiene buen resultado al estimarse con MCARI y TCARI, sin embargo, la estimación de nitrógeno por medio de estos índices muestran ser una gran alternativa para poder determinar las deficiencias de este macroelemento sin necesidad de hacer tardados análisis de laboratorio, ahorrando tiempo y dinero al poder detectar cantidades anormales de este elemento.

BIBLIOGRAFÍA

- Copernicus. Fundamentos de Teledetección aplicada. 2018. El programa Copernicus aplicado a la producción y gestión de la información geoespacial. Proyecto cofinanciado por la Comisión Europea mediante acuerdo 2018/SI2.810140/04. Available on: https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/actividades/OBS/Programa_Marco_Copernicus_User_Uptake/2_Fundamentos_teledeteccion_aplicada.pdf
- López-Calderón, M.; Estrada-Ávalos, J.; Martínez-Sifuentes, A.R.; Trucíos-Caciano, R.; Miguel-Valle, E. Total Nitrogen in forage corn (*Zea mays* L.) estimated by satellite Sentinel-2 spectral indices. *Terra Latinoamericana*. 2023, 41, 1-14. e1628. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1628>.
- Martínez-Macias, K.J.; Márquez-Guerrero, S.Y.; Martínez-Sifuentes, A.R.; Segura-Castruita, M.A. Habitat Suitability of Fig (*Ficus carica* L.) in Mexico under Current and Future Climates. *Agriculture* 2022, 12, 1816. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111816>.
- Martínez-Macias, K.J.; Martínez-Sifuentes, A.R.; Márquez-Guerrero, S.Y.; Reyes-González, A.; Preciado-Rangel, P.; Yescas-Coronado, P.; Trucíos-Caciano, R. Machine-Learning Approaches in N Estimations of Fig Cultivations Based on Satellite-Born Vegetation Indices. *Nitrogen* 2024, 5(3), 598-609; <https://doi.org/10.3390/nitrogen5030040>
- Reynosa-Correa, N.E. 2016. Índices espectrales de vegetación para la detección de áreas quemadas. *La Calera Revista Científica*. 16(27): 111-114.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Qué Hay Detrás de la Producción de Higo. 2023. Available online: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/que-hay-detras-de-la-produccion-de-higo?idiom=es#:~:text=En%202022%2C%20el%20pa%C3%ADs%20cosech%C3%B3%20California%20Sur%20y%20Michoac%C3%A1n> (accessed on 10 Ago 2024).

GEOSMINA: UN BIOMARCADOR DE LA CALIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO

Oscar Fernández Fernández¹; José Juan Ordaz Ortiz²

¹ Departamento de Suelos - Universidad Autónoma Chapingo

² Unidad de Genómica Avanzada - Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN
jose.ordaz.ortiz@cinvestav.mx

RESUMEN

La reutilización de aguas residuales o tratadas es cada vez más común en la agricultura, principalmente por la escasez de este recurso en los últimos años. Sin embargo, la región del Valle del Mezquital ha sido regada con aguas residuales desde 1912, ya que eso evitaba inundaciones en la Ciudad de México. Mucho tiempo se ha evaluado el impacto de su aplicación sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos. Pero se ha dejado de lado por falta de herramientas adecuadas, el impacto sobre las propiedades biológicas. Con la aplicación de la metabolómica es posible medir el impacto de las aguas residuales en el comportamiento microbiano, o al menos sobre la síntesis de algunos metabolitos ya conocidos. Ese es el caso de la geosmina, producida por muchos microorganismos, aunque los más conocidos sean los *Streptomyces*. En el presente estudio se evaluó la abundancia relativa de geosmina en tres tipos de suelos (vertisol, phaeozems y leptosoles) regados con aguas residuales en comparación con suelos regados con aguas blancas o de pozo. Los resultados muestran que la aplicación de aguas residuales modifica la presencia de geosmina en el suelo, pero no se presentan diferencias significativas entre tipos de suelo.

PALABRAS CLAVE

Biomarcador; Ciencias omicas; Cromatografía de líquidos; Metabolómica.

INTRODUCCIÓN

El Valle del Mezquital es una región del Estado de Hidalgo reconocido porque a partir de 1912 se autorizó el uso de las aguas residuales, provenientes de la zona metropolitana de la Ciudad de México, se utilicen en el riego agrícola. Actualmente esa zona constituye los Distritos de Riego (DR) 03 (Tula), 100 (Alfajayucan) y 112 (Ajacuba). Actualmente se irrigan alrededor de 90,000 hectáreas, con lo cual se beneficia 46,000 personas (BGS/CNA/LSHTM/UB, (1998).

En su mayor parte el origen de las aguas residuales es doméstico. Por lo cual, se distinguen por contener un promedio de Sólidos Totales Disueltos de 295 mg L⁻¹ y 262 mg L⁻¹, tener una Demanda Química de Oxígeno de 240 y 180 mg L⁻¹ y una Demanda Bioquímica de Oxígeno de 527 y 475 mg L⁻¹ en las estaciones de sequía y de lluvias respectivamente (Jiménez y Landa, 1998).

Las aguas residuales se caracterizan por su alto contenido de Materia Orgánica (COT 35 - 188 mg L⁻¹), de Nitrógeno total (37 - 38 mg L⁻¹) y Fósforo (2.7 - 3.0 mg L⁻¹). Esto último ha ayudado a modificar los suelos del Valle del Mezquital al incrementar su productividad. Sin embargo, junto con la gran cantidad de nutrientes

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

aportados también se reciben metales pesados, residuos de fármacos y productos de belleza (Gibson *et al.*, 2007; Siemens *et al.*, 2008).

El suelo es un cuerpo heterogéneo y discontinuo presentando tres fases (sólido, líquido y gaseoso), donde habitan una gran diversidad de organismos (incluidos los microorganismos). Esto convierte al suelo en un sistema biológico muy particular. Los microorganismos ocupan espacios específicos en el suelo como la rizosfera o suelo aledaño, pero también interactúan con la materia orgánica y las arcillas o con las rutas de flujo de la meso fauna como las lombrices. Los productos microbianos pueden ser adsorbidos por las sustancias húmicas y las arcillas del suelo; así como el ADN de los microorganismos (Nannipieri *et al.*, 2014).

Entender la estructura de la comunidad microbiana, su diversidad y su función ecológica es esencial para entender las estrategias de sobrevivencia, evolución, el funcionamiento del suelo y de esta manera la sostenibilidad de la vida en la tierra. Medir la biodiversidad del suelo y la composición de su comunidad es el gran desafío y es ahora una importante frontera científica. La metabolómica aplicada al estudio del suelo es una poderosa herramienta para estudiar el comportamiento de los microorganismos a través de medir el comportamiento de sus metabolitos conocidos (Withers *et al.*, 2020). La geosmina es un compuesto volátil, miembro de la familia de los terpenos. Su distribución en el mundo es muy amplia, puede estar presente en ambientes acuáticos y terrestres. Por esta razón es muy probable que cumpla diversas funciones ambientales (atracción o repelencia). Un ejemplo, es que pueda servir como señal para encontrar agua por diversas especies (Garbera *et al.*, 2023)

En este trabajo se evaluó el uso de la metabolómica como herramienta para evaluar la calidad de suelos regados con aguas residuales comparado con aguas blancas. Y se particularizó el uso de geosmina como biomarcador de la salud del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron muestras de diversos sitios dentro del Valle del Mezquital (Figura 1). Tres sitios por tipo de suelo y agua de riego, las parcelas estaban libres de vegetación. Se tomaron muestras a 20 cm de profundidad en un recorrido de zig-zag. Las muestras se conservaron en hieleras, fueron puestas a secar a temperatura ambiente. Posteriormente se molieron y pasaron por un tamiz de malla 10 (orificios de 2 mm). A las muestras se les realizó el análisis de fertilidad de acuerdo con los métodos establecidos en la NOM-021-RECNAT-2002. Los resultados se muestran en el Cuadro 1.

Para el análisis metagenómico de las muestras secas y tamizadas se tomaron 4 gramos de suelo y se les agregó 5 mL de una solución Agua miliQ y metanol (relación 1:1). Se agitaron por una hora en un agitador de pin-pong a 200 rpm. Al terminar se centrifugaron por 10 min a 5000 rpm. El sobrenadante se pasó por un filtro PTFE de 0.2 mm. Al producto obtenido se le realizó un análisis no dirigido en un tándem UPLC-QTOF-ESI-MS en modo positivo y negativo.

Los valores de m/z obtenidos del tándem fueron analizados, corregidos y preidentificados con el software Progenesis IQ. Las preidentificaciones obtenidas se analizaron a través de la plataforma MetaboAnalyst 6.0. Se llevaron a cabo análisis de estadística multivariada como Análisis de Varianza de dos Vías, Análisis de Componentes Principales, Análisis Discriminativo por Regresión de Mínimos

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cuadrado Parciales. En esta parte se analizó de forma individual el comportamiento de la geosmina en las diferentes condiciones planteadas.

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas de los suelos analizados en el Valle del Mezquital.

Muestra	pH	Materia orgánica	Arcilla	Conductividad	Nitrógeno	Fosforo	CIC
			%	Eléctrica mS m ⁻¹	mg kg ⁻¹	Cmol(+) kg ⁻¹	
Lp AB	7.68	2.51	25.1	525	30.3	9.27	22.6
Vr AB	6.90	3.12	32.4	667	24.5	12.04	34.8
Ph AB	6.02	1.52	18.4	658	33.8	44.22	30.6
Lp AN	7.82	3.09	17.7	1521	38.5	20.25	24.8
Vr AN	7.65	2.73	31.1	2020	59.5	30.45	28.1
Ph AN	7.13	2.49	21.7	1874	50.2	31.23	38.5

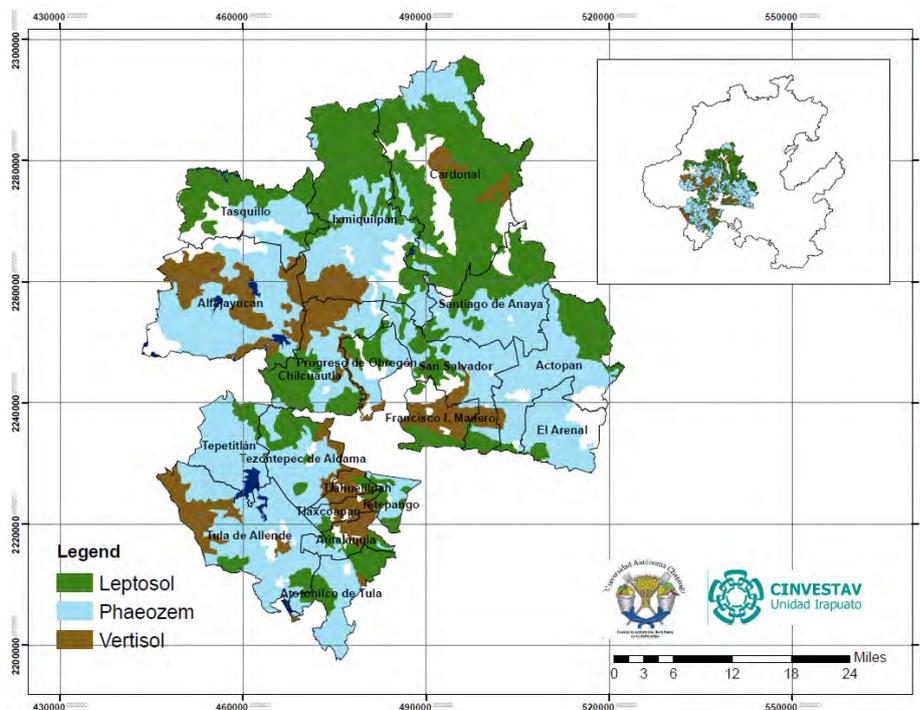


Figura 1. Ubicación de los suelos dominantes y sitios de muestreo en la Región Valle del Mezquital. Elaboración propia con datos de INEGI.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2, se muestra el Análisis de Discriminación por Regresión de Mínimos Cuadrados Parciales por ionización en modo positivo y negativo; y se observa una clara diferencia entre los metabolitos significativos entre los suelos regados con aguas negras comparados con los suelos regados con agua blancas o de pozo. También es importante resaltar la varianza que existe en entre los suelos en cada tipo de agua utilizada, los suelos regados con aguas residuales presentan mayor varianza comparado con los suelos regados con aguas blancas.

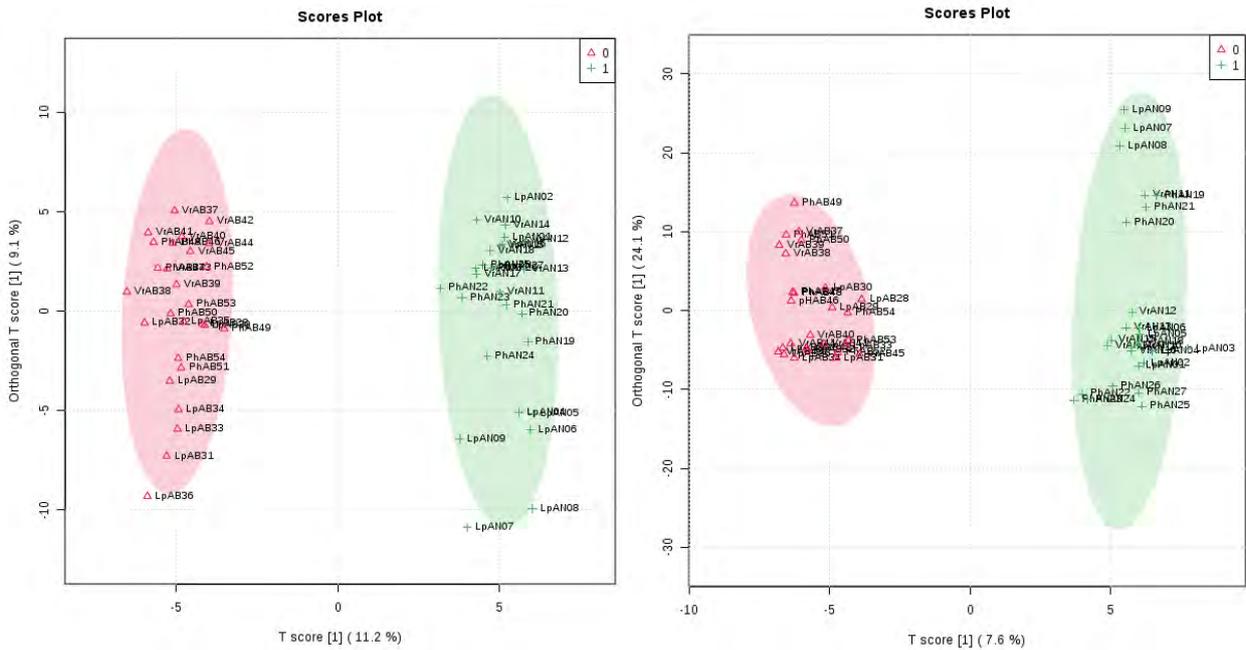


Figura 2. Análisis de Componentes Principales y de Discriminación por Regresión de Mínimos Cuadrados Parciales por tipo de agua utilizada en el riego (1 = Aguas Negras; 0 = Aguas Blancas).

La abundancia relativa de geosmina es significativamente diferente entre el tipo de agua utilizada en el riego. También se observa una mayor varianza entre los suelos regados con aguas residuales, mientras que los suelos regados con aguas blancas la abundancia de geosmina es más homogénea. Sin embargo, en ambos tipos de agua no se observa diferencia significativa entre tipos de suelo.

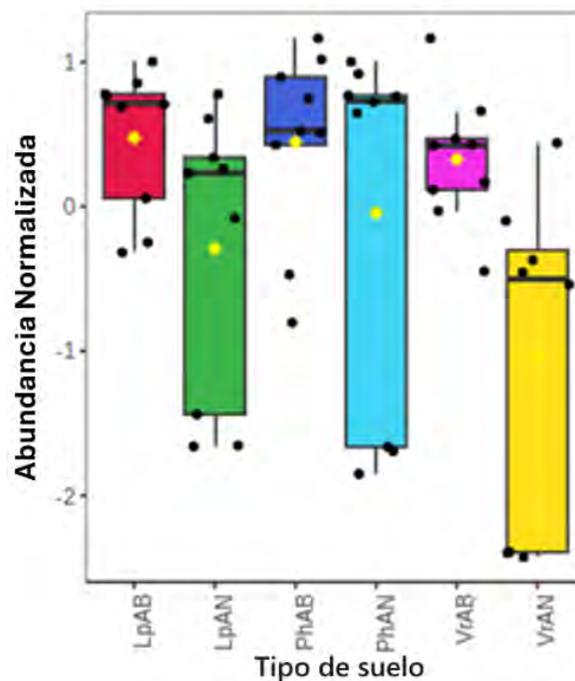


Figura 3. Comparación entre la abundancia normalizada de geosmina entre los distintos tipos de suelos

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

CONCLUSIONES

La metabolómica como ciencia omica aplicada al estudio de las propiedades del suelo permite conocer mejor el impacto de la aplicación de aguas residuales o tratadas a los suelos. La metabolómica no dirigida permite observar el comportamiento de metabolitos nativos del suelo y de los exógenos (aportados por las aguas residuales). El comportamiento de la geosmina es un buen ejemplo del aporte de la metabolómica como herramienta para analizar el comportamiento biológico de los suelos. La abundancia relativa fue significativamente diferente entre los suelos regados con aguas residuales en comparación con los suelos regados con aguas blancas o de pozo. De igual forma la expresión de geosmina fue diferente entre los tipos de suelo. Aunque las diferencias entre tipos de suelos no fueron significativas, los contrastes que se presentan pueden deberse a las prácticas asociadas al cultivo. Es importante continuar explorando la producción y acumulación de geosmina en los suelos y su relación con otras propiedades físicas y químicas de los suelos, así como otros metabolitos comunes en los suelos.

BIBLIOGRAFÍA

- BGS/CNA/ LSHTM/UB, (1998). Impact of wastewater reuse on groundwater in the Mezquital Valley, Hidalgo State, México. Final Report
- Garbeva, P., Avalos, M., Ulanova, D., van Wezel, G. P., & Dickschat, J. S. (2023). Volatile sensation: The chemical ecology of the earthy odorant geosmin. *Environmental Microbiology*, 25(9), 1565-1574.
- Gibson, R., Durán-Álvarez, J. C., Estrada, K. L., Chávez, A., & Cisneros, B. J. (2010). Accumulation and leaching potential of some pharmaceuticals and potential endocrine disruptors in soils irrigated with wastewater in the Tula Valley, Mexico. *Chemosphere*, 81(11), 1437-1445
- Jiménez, C. B., & Landa, V. H. (1998). Physico-chemical and bacteriological characterization of wastewater from Mexico City. *Water Science and Technology*, 37(1), 1-8.
- Nannipieri, P. (2014). Soil as a biological system and omics approaches. *EQA-International Journal of Environmental Quality*, 13, 61-66.
- Pang, Z., Lu, Y., Zhou, G., Hui, F., Xu, L., Viau, C., Xia, J. (2024). MetaboAnalyst 6.0: towards a unified platform for metabolomics data processing, analysis and interpretation. *Nucleic Acids Research*, gkae253.
- Siemens, J., Huschek, G., Siebe, C., & Kaupenjohann, M. (2008). Concentrations and mobility of human pharmaceuticals in the world's largest wastewater irrigation system, Mexico City-Mezquital Valley. *Water Research*, 42(8-9), 2124-2134.
- Withers, E., Hill, P. W., Chadwick, D. R., & Jones, D. L. (2020). Use of untargeted metabolomics for assessing soil quality and microbial function. *Soil Biology and Biochemistry*, 143, 107758.

COMPORTAMIENTO DE LA MOVILIDAD Y DISOLUCIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE CUO EN FUNCIÓN DE LA TEXTURA DEL SUELO

**Cesar David Condori Chambi¹; David Alejandro Estrada Acosta¹;
Joan Sebastián Salas Leiva¹; Socorro Héctor Tarango Rivero²;
María Antonia Luna Velasco^{1*}**

¹ Centro de Investigación de Materiales Avanzados, Av. Miguel de Cervantes #120
Complejo Industrial Chihuahua, 31136, Chihuahua, México.

² Campo Experimental Delicias, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Km 2 Carretera Delicias-Rosales, 33000, Delicias Chihuahua México.

*Autor para correspondencia: antonia.luna@cimav.edu.mx

RESUMEN

Los nanofertilizantes son una herramienta importante en la agricultura moderna por su alto rendimiento en suministrar micronutrientes en cultivos. Conocer su comportamiento en esos ecosistemas es relevante para predecir sus efectos y sustentabilidad. Se cuenta con pocos estudios de transporte y biodisponibilidad de NP CuO en columnas parcialmente saturadas. Este estudio evaluó la movilidad, disolución y biodisponibilidad de NP CuO (100 mg/L) en columnas de suelo con diferente textura en condiciones parcialmente saturadas. Esto se realizó en columnas de suelo de arena de nogal (SAN) y suelo de nogal (SN), alimentando 3 volúmenes de poro de NP con citrato de sodio 0.52 mM y flujo de salida 1.0 mL/min. Las NP CuO y el Cu soluble se midieron para obtener curvas de ruptura, perfil de retención y Cu biodisponible y extraíble. Se encontró que el citrato de sodio, promovió menor TH (247.02 nm) y un ζ negativo (-24.70 mV) de las NP, confirmando su estabilidad, deseable en nanofertilizantes. La disminución de tamaño de partícula de grano de suelo (42.85 %) y el aumento de limo-arcilla (17.32 %) y materia orgánica, disminuyen 7.36 % el Cu biodisponible, así como 13.73 % de NP CuO y Cu soluble a la salida de la columna.

PALABRAS CLAVE

Biodisponibilidad; Extraíble; Retención; Transporte.

INTRODUCCION

La agricultura intensiva implica el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas, los cuales generan la lixiviación de componentes no aprovechados y la contaminación del suelo o de los mantos acuíferos (Kuziemska & Wysokinski, 2023). Los nanofertilizantes (NF) y nanopesticidas se están implementando como una alternativa eficaz y eco-sustentable en la agricultura, entre estos de base Cu (NPF, NANOCROP Cobre, Nano.T Cu, Nanomix Cobre, entre otros). Para predecir la eficiencia y eco-sustentabilidad de NF, es importante estudiar su comportamiento en suelos agrícolas, como el transporte, retención y la biodisponibilidad del elemento a liberar para el cultivo. Estudios previos han evaluado el transporte y retención de nanomateriales en

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

matrices de arena y/o suelo (Simonin *et al.*, 2021). Por su parte, la biodisponibilidad de micro o macro elementos liberados por NP con componente metálico, se ha reportado en su mayoría en estudios en lote a diferentes tiempos de residencia, pH y MO, contrastando la movilidad del ion metálico liberado de las NP CuO y ZnO contra la movilidad del ion de sales metálicas de composición similar (Gao *et al.*, 2017; Jo *et al.*, 2020).

Con el fin de predecir las tendencias de movilidad/retención de NP CuO en suelos con diferente textura, así como la biodisponibilidad del micronutriente Cu, en este trabajo se evaluó el transporte de NP CuO, a través de columnas de suelo parcialmente saturadas a partir de mezclas diferentes de arena, limo y arcilla de suelo nogalero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Dispersión y caracterización de nanopartículas de CuO

Las NP CuO se sintetizaron por el método de precipitación alcalina (Condori *et al.*, 2023) y se dispersaron (100 mg NP/L) en buffer trizma 1 mM con 0.52 mM de citrato de sodio como estabilizante y sin citrato. Previa sonicación de las dispersiones por 15 min, se les determinó el tamaño hidrodinámico (TH) y potencial Z (ζ) mediante la técnica de dispersión de luz dinámica DLS (Zetasizer) y el principio de movilidad electroforética, respectivamente; por medio de un equipo nanosizer de Mavern.

Obtención de diferentes texturas de suelo y sus propiedades

El Suelo de nogal (SN) rizosférico, se obtuvo de una huerta Nogalera en Delicias Chihuahua, México (28° 13' 40" N, 105° 22' 48" W) y se acondicionó acorde a Condori *et al.*, (2023). Del suelo acondicionado, se redujo la fracción limo-arcilla para obtener una matriz con mayor fracción arenosa (SAN), acorde a la norma I.N.V.E-104-07. Las propiedades fisicoquímicas de los suelos SAN y SN se listan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Propiedades fisicoquímicas de los suelos AN y N.

Suelo	Textura	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Densidad aparente (g/ml)	Porosidad (ml/ml)	Tamaño Partícula (μm)
AN	Franco arcilloso arenoso	61.21	16.20	22.59	1.36	0.48	138.00
N	Franco arcilloso	43.89	25.28	30.83	1.10	0.59	59.13
	Conductividad (dS/m)	pH	CIC (ceq/kg)	% MO	% CaCO ₃	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)
AN	1.63	7.79	14.76	0.88	19.81	1.00	25.10
N	1.60	7.75	29.74	3.43	5.00	4.86	7.94

Transporte de nanopartículas de CuO en columnas de suelo con diferente composición textural

Los ensayos de transporte de NP CuO, se realizaron en una columna de vidrio de 20 cm de altura x 2.5 cm de diámetro, empacadas con 15 cm de suelo SAN o SN. La columna de suelo se saturó completamente con 5 volúmenes de poro (VP) de buffer trizma 1 mM con citrato de sodio 0.52 Mm, pH 7.92, identificada como solución de saturación (SS), a un flujo entre 0.5-0.7 ml/min. Luego el flujo se reguló para mantener una altura de presión de 3 cm en el tope de la columna y un flujo de salida de 1 mL en condiciones parcialmente saturadas. Luego, se procedió al ensayo de transporte y retención de NP CuO con las condiciones como indica el Cuadro 2.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cuadro 2. Condiciones para el transporte y retención de NP CuO.

Columna de suelo	Transporte de NP CuO y Cu soluble			Perfil de retención Cu
	1VP	Total de VP	Muestras del lixiviado	Muestras de suelo de la columna
SAN	35.03 ml	3 (NP CuO en SS) 9 (SS)	Cada 20 min	15 secciones de 1 cm
SN	43.42 ml	3 (NP CuO en SS) 9 (SS)	Cada 10 min	15 secciones de 1 cm

Las NP CuO separadas de las muestras acuosas (lixiviado) se digirieron con HCl concentrado y fase acuosa se acidificó con HCl 4% v/v. Las muestras de suelo se digirieron con una mezcla de 5 ml de HF, 9 ml de HCl y 3 ml de HNO₃ concentrados. En los extractos y fase acuosa se cuantificó el Cu por Espectrometría de emisión por plasma (ICP).

Extracción de la fracción biodisponible e intercambiable de Cu en muestras de suelo

La fracción biodisponible e intercambiable se realizó en muestras representativas de tres secciones de las columnas de suelo (tope, medio y fondo, 5 cm cada una), acorde a (Gao et al., 2017), respectivamente. Las condiciones de experimentación se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Condiciones de ensayo para los Cu biodisponible y extraíble en los suelos SAN y SN.

Cu	Extractante	Muestra (g)	Agitación (rpm)	Tiempo (h)	Digestión	Cuantificación
Biodisponible	DTPA (0.005M)	2 g	180	2	HNO ₃ (20 %)	Absorción Atómica
Extraíble	MgCl ₂ (1M)	1 g	140	1	HCl (4 %)	

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tamaño hidrodinámico y potencial Z de dispersiones de nanopartículas de CuO

El TH y ζ se midieron en dispersiones de NP CuO con y sin citrato de sodio. En el Cuadro 4 se nota que la presencia de citrato de Na da un TH menor a 250 nm, que contrastó con el obtenido en ausencia de citrato de Na, >1000 nm. Esto evidencia que el citrato de sodio previene la aglomeración de NP (Yechezkel *et al.*, 2019). La obtención de tamaños hidrodinámicos menores y una carga negativa de NP con citrato de sodio, revela que favorece la estabilización y la dispersión de las NP.

Cuadro 4. Tamaño hidrodinámico y Potencial Zeta en dispersiones de NP CuO (100 mg/L).

Dispersión de NP CuO	Tamaño Hidrodinámico (nm)	Potencial zeta (mV)
NP CuO con citrato de sodio	1335.70 ± 38.00	23.20 ± 2.10
NP CuO sin citrato de sodio	247.20 ± 35.65	-24.70 ± 0.93

Curvas de ruptura/perfiles de retención de NP CuO y curvas de disolución de Cu

Las curvas de ruptura de transporte de NP CuO (Figura 1 a), muestran en general una lixiviación de NP < 0.14 , con mayor lixiviación y menor retención de NP CuO en el suelo SAN, que el suelo SN. Es posible que el mayor porcentaje de arcillas en el suelo SN (Cuadro 1) haya provocado más áreas insaturadas en la zona media y fondo de la columna debido al hinchamiento de las arcillas y en consecuencia mayor retención de NP CuO en estas zonas. Por otro lado, los perfiles de retención de NP CuO (Figura 1 b) tuvieron un comportamiento hiperexponencial asociado al fenómeno de tensión mecánica, ya que la relación de tamaño de nanopartícula con respecto a las de suelo fueron ≥ 0.002 , en ambos casos (Bradford & Torkzaban, 2008).

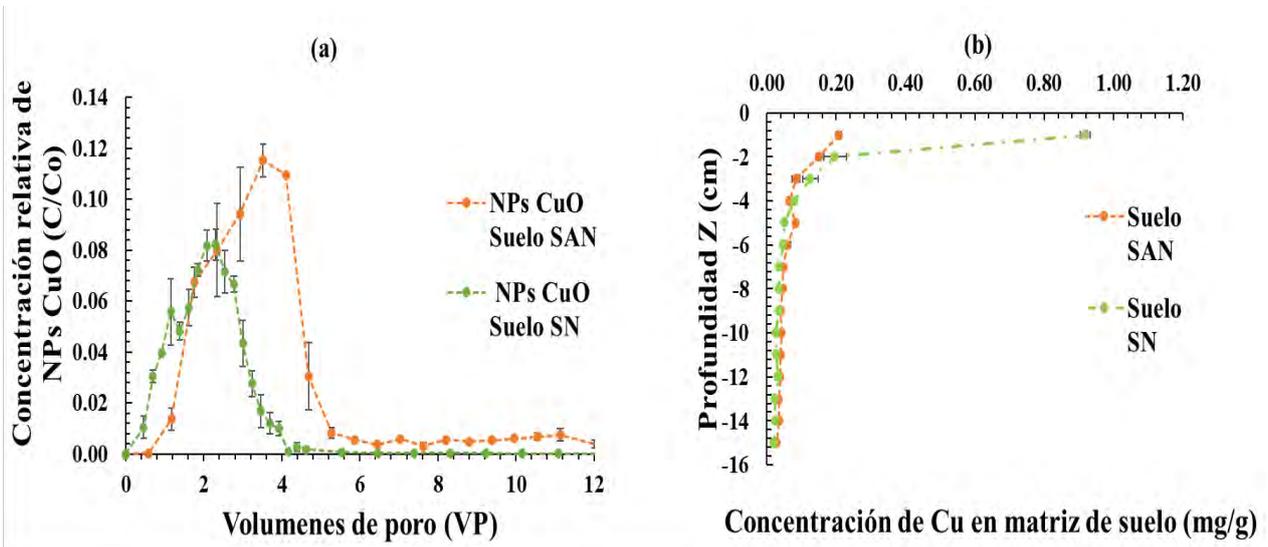


Figura 1. Curvas de ruptura del transporte de NP CuO (100 mg/L) (a) Perfiles de retención de Cu (b) en fracciones con respecto a la concentración de entrada de NP y masa de suelo respectivamente. Las desviaciones estándar están expresadas en las barras, a partir del duplicado experimental.

La Figura 2 presenta las curvas de disolución de Cu en el lixiviado de las columnas de suelos SAN y SN, notando que hubo menor porcentaje de Cu soluble en la salida de la columna de suelo SN, que se relacionó al porcentaje mayor de arcillas (fase catiónica) que afecta la CIC conformado por los cationes Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} . Así como los óxidos de Fe en ese suelo, lo que en conjunto favorece mayor adherencia de Cu en esas fases sólidas y causa menor disolución de Cu (Jo *et al.*, 2020).

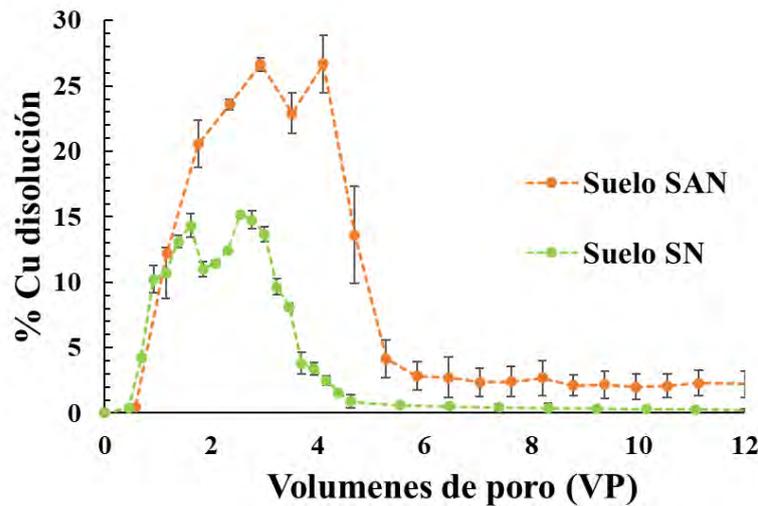


Figura 2. Solubilización de Cu dado en porcentaje con respecto a la concentración de entrada de NP CuO. Las desviaciones estándar están expresadas en las barras, a partir del duplicado experimental.

Cu extraíble y biodisponible en los suelos SAN y SN

El Cu biodisponible fue de 17.06 y 9.70 % en las columnas de suelo SAN y SN respectivamente, mientras que el respectivo Cu extraíble fue de 1.72 y 0.95 % (Cuadro 5). Esto corresponde a que el Cu biodisponible y extraíble disminuyó a medida que aumentó el porcentaje de limo-arcilla, lo cual coincide con un reporte previo (Gao *et al.*, 2017).

Cuadro 5. Concentraciones de Cu (mg/kg), retenido, biodisponible y extraíble de las columnas de suelo SAN y SN. Las desviaciones estándar se obtuvieron a partir de duplicado experimental.

	Cu total retenido x columna (mg/kg)	Cu biodisponible (mg/kg)	Cu extraíble (mg/kg)
Suelo SAN	69.53 ± 6.35	11.86 ± 0.45	1.20 ± 0.02
Suelo SN	126.15 ± 4.39	12.24 ± 0.67	1.20 ± 0.02

CONCLUSIONES

La movilidad de NP CuO, el Cu biodisponible y la salida de Cu soluble de la columna del suelo SN fue menor con respecto al suelo SAN, siendo más notoria esta tendencia en el Cu Soluble, lo que se asoció al aumento del porcentaje de Limo-arcilla en el suelo N. Esto sugiere que en el suelo de nogal se retienen más las NP CuO y Cu soluble y se impide su lixiviación a zonas más profundas de suelo.

BIBLIOGRAFÍA

Bradford, S. A., & Torkzaban, S. (2008). Colloid transport and retention in unsaturated porous media: A review of interface-, collector-, and pore-scale processes and models. *Vadose Zone Journal*, 7(2). <https://doi.org/10.2136/vzj2007.0092>

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Condori, C. D., Salas, J. S., Luna, M. A., Estrada, D. A., Tarango, S. H. (2023). Influencia del ácido húmico en el transporte de nanopartículas de CuO a través de una matriz porosa representativa de un suelo agrícola. Saltillo, México: Innovación y Suelos Sanos para el desarrollo sustentable. ISBN: 978-607-9023-67-6.
- Gao, X., Spielman-sun, E., & Lowry, G. V. (2017). Time and nanoparticle concentration affect the extractability of Cu from CuO NP-amended soil. *Environmental Science & Technology*, 51, 2226-2234. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04705>
- Jo, I., Dobrzy, J., Dobrowolski, R., Kusiak, M., & Terpi, K. (2020). The effect of pH and ageing on the fate of CuO and ZnO nanoparticles in soils. *Science of the Total Environment*, 721, 137771. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137771>
- Kuziemska, B., & Wysokinski, A. (2023). The content , uptake and bioaccumulation factor of copper and nickel in grass depending on zinc application and organic fertilization. *agriculture*, 13, 1676. <https://doi.org/10.3390/13091676>
- Simonin, M., Martins, J. M. F., Uzu, G., Spadini, L., Navel, A., & Richaume, A. (2021). Low mobility of CuO and TiO₂ nanoparticles in agricultural soils of contrasting texture and organic matter content. *Science of the Total Environment*, 783, 146952. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146952>
- Yechezkel, Y., Dror, I., & Berkowitz, B. (2019). Effect of phosphate, sulfate, arsenate, and pyrite on surface transformations and chemical retention of gold nanoparticles (Au -NP) in Partially Saturated Soil Columns. *Environmental, Science & Tecnology*, 53, 13071-13080. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03241>

DETERMINACIÓN DE NUTRIENTES EN SOCA POSTERIOR A LA INOCULACIÓN DEL HONGO *Pleurotus Ostreatus*

Rommel Gutiérrez Grajeda¹; Leonel Ernesto Amabilis-Sosa²

¹Tecnológico nacional de México, campus Culiacán, Juan de Dios Bátiz, 310, Col. Guadalupe, 80220, Culiacán, Sinaloa, México, L20170038@culiacan.tecnm.mx.

²CONAHCYT-TECNM/Instituto Tecnológico de Culiacán, Juan de Dios Bátiz 310, Col. Guadalupe, 80220, Culiacán, Sinaloa, México

RESUMEN

Sinaloa es el mayor productor de maíz a nivel nacional, esta actividad deriva en una alta cantidad de residuos denominados soca. Dado a que la gestión de dicho residuo no ha dado resultados satisfactorios, la quema de la soca ha sido por mucho tiempo una práctica realizada a gran escala. Con el hongo *Pleurotus Ostreatus* es posible degradar la soca y encontrar una forma de aprovecharla, mitigando un daño tanto en las tierras de cosecha como en la labor de los trabajadores. La presente investigación plantea la degradación eficiente de la soca tomando al *P. Ostreatus* como herramienta principal gracias a su capacidad de utilizar la soca como fuente de carbono y otros nutrientes. Así mismo, el empleo del organismo no representa riesgos ambientales y cuenta con potencial como suministro de alimentos, con ello, se contribuye a solucionar problemáticas establecidas en la Agenda 2030. Para esto, se realizó la inoculación del micelio en agar dextrosa Sabouraud por un periodo de 30 días, obteniendo evidencias fotográficas para generar una cinética de crecimiento, una vez pasado el periodo de 30 días, se inoculó el micelio en soca extraída de campos de cultivo regionales, sustrato en el cual se evaluaron los niveles de fósforo, nitrógeno y potasio una vez pasado un periodo de tiempo de 30 días. Esta inoculación se realizó utilizando agar dextrosa Sabouraud, micelio de *P. Ostreatus*, soca. La soca degradada, junto con la biomasa del hongo, tendrá un procedimiento físico rápido para poder ser utilizado como biofertilizante.

PALABRAS CLAVE

Cinética de crecimiento; Micorremediación; Residuos agrícolas.

INTRODUCCIÓN

Los suelos de cultivo representan una vital fuente económica para México, su calidad es uno de los factores que intervienen tanto en el desempeño de la cosecha, como en el impacto económico y, por ende, calidad de vida de las regiones (México, 2017).

En Sinaloa se producen intensivamente diversos cultivos, entre ellos se destaca el maíz. El cultivo intensivo de este alimento es el responsable de un impacto ambiental significativo en el territorio sinaloense. Anualmente se generan alrededor de 25 toneladas de residuos (CIEGSIN, 2021) (CONAHCYT, 2016).

El residuo del maíz se denomina soca. Han sido evaluadas distintas maneras para su tratamiento, ninguna ha sido efectiva. Por mencionar un ejemplo, se planteó el

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

alimentar las cabezas de ganado con la soca, sin embargo, el residuo era rechazado tanto por el animal como por el dueño puesto que no contenía los requerimientos nutrimentales necesarios (CONAHCYT, 2016).

Se determinó que este hongo era el indicado para el tratamiento de la soca puesto que, a pesar de su tiempo de crecimiento y desarrollo relativamente largo a comparación de otros hongos, su capacidad enzimática y adaptabilidad a distintos tipos de sustratos era la ideal para tratar la soca (Paredes-Juárez, 2017).

El presente proyecto tiene como principal objetivo evaluar la factibilidad técnica del uso del hongo *P. Ostreatus* para el tratamiento eficiente de la soca, generando productos de interés agrícola. El obtener resultados positivos coadyuvará a mitigar un problema sumamente arraigado en México. Además, se contaría con terrenos de cultivo más productivos y aptos para el desarrollo económico del estado. Esto propicia el desarrollo sostenible del área agrícola y ganadera.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología general para el desarrollo de este trabajo se basa en el desarrollo del micelio del hongo *P. Ostreatus*. Una vez obtenido, se emplea utilizarlo en un sustrato, en este caso, soca. Esto con el fin evaluar los cambios de nitrógeno, fósforo y potasio para evaluar la factibilidad de utilizar, el sustrato tratado, como fertilizante o mejorador de suelos.

Todos los procesos aquí descritos se realizan en el Laboratorio de Bioprocesos y Análisis Ambientales del TecNM Campus Culiacán. Los materiales y equipos utilizados son soca, micelio de *P. Ostreatus*, agar dextrosa Sabouraud, placas Petri, autoclave, horno, mortero, exacto, frascos de cristal de boca ancha con tapa de aluminio, sensores de ion selectivo para suelos o sustrato sólido de nitrógeno, fósforo y potasio certificados por la norma ISO-9001/14001/45001. La realización de la investigación se plantea para durar un periodo total de 4 meses.

El micelio de *P. Ostreatus* se inocula en granos de trigo en agar dextrosa Sabouraud para hacerlo crecer por un periodo de 30 días en 30 cajas Petri, se toman evidencias fotográficas cada 3 días de cada una de las cajas Petri. A cada una de ellas se les captura el diámetro para realizar la cinética de crecimiento con ayuda del software ToupView. Posterior a esto, siguiendo el procedimiento de Fajardo (2013), se realiza la inoculación en soca. Para ello se cortan 4cm² de cultivo y se colocan en frascos de vidrio transparente estéril con soca previamente vertida. Se procura que el corte del cultivo quede en el centro del frasco, encerrado en dos capas gruesas de soca. Para evitar su contaminación, una vez inoculados, se tapan los frascos con algodón saturado con alcohol etílico. Los frascos son introducidos a incubación por un periodo de 20 a 30 días, una vez pasado este periodo de tiempo, se seca la soca a una temperatura de 60 grados centígrados y se muele en el mortero de forma que se consiga una consistencia similar a la de un suelo, de esta manera es sencillo para los sensores medir directamente la presencia de nitrógeno, fósforo y potasio.

En cuanto al tratamiento de datos y análisis estadísticos, se está realizando la toma de imágenes de las cajas Petri durante el crecimiento del micelio para obtener el área de este durante su procesamiento. Esto se realiza cada tres días para identificar las fases de crecimiento y son convertidos a unidades de masa. Subsecuentemente, el crecimiento del hongo en la soca es cuantificado a través de la pérdida de celulosa (ya

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

que la masa total no se pierde, sino que la celulosa es asimilada para el crecimiento del hongo). Así, las tasas de crecimiento del hongo en soca y en condiciones controladas son comparadas mediante una prueba de T-Student, para conocer si existen diferencias significativas.

Por otra parte, el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en la soca es evaluado a través de un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas, en donde el factor principal es el tiempo transcurrido después de la inoculación.

Previo al análisis de todas las distribuciones anteriores, son evaluadas en cuanto a normalidad y homocedasticidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnof. Todo lo anterior a través del software estadístico Minitab 17 for Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados, hasta el momento, indican que el crecimiento bajo los parámetros de control establecidos del hongo *P. Ostreatus* en agar dextrosa Sabouraud como medio de crecimiento son favorables. El desarrollo del organismo continúa con una colonización de micelio deseada. Con base en todo lo anterior, se esperan como principales resultados que el micelio de *P. Ostreatus* colonizará, al menos, un 80% de la soca en la que se encuentre inoculada, haciendo que las enzimas de lacasa liberadas por el micelio del hongo, degraden la celulosa. Esto conllevará a que el sustrato (soca) libere nitrógeno, fósforo y potasio, por lo que, al ser tratado y mezclado con el suelo, podrá cumplir con la función de biofertilizante, enriqueciendo los cultivos y generando un mayor rendimiento. Tomando en cuenta el trabajo publicado por Gloria Cetz (2000) en donde se evaluó la degradación de rastrojo de calabaza mediante un hongo del mismo género, se espera que sea eficiente y se liberen los nutrientes esperados.

CONCLUSIONES

Este trabajo plantea una manera innovadora de tratar la soca en la región de Sinaloa, tomando como herramienta principal el hongo *P. Ostreatus* para asimilar el residuo como fuente de carbono, similar a la fermentación en estado sólido. Con esto se contribuirá a eliminar un problema tan arraigado en la comunidad agrícola como es la soca y beneficiar de esta forma a los suelos en los que se trabajan estas cosechas para fomentar el desarrollo sostenible de esta actividad. Como consecuencia, el residuo vegetal del maíz será convertido en un producto que contribuya al desarrollo del sector agrícola.

AGRADECIMIENTOS

El presente proyecto forma parte del proyecto de investigación IxM CONAHCYT del segundo autor.

BIBLIOGRAFÍA

CIEGSIN. (2021). AGRICULTURA indicadores por tema. https://estadísticas.sinaloa.gob.mx/eBooks/Temas/AGRICULTURA_2021.pdf

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- CONAHCYT. (29 de noviembre de 2016). Soca de maíz: fuente potencial de antioxidantes. <https://www.ciad.mx/soca-del-maíz-fuente-potencial-de-antioxidantes/>
- Fajardo, J.J. (Octubre de 2013). Biorremediación de suelos contaminados con Benzo A Pireno empleando *Pleurotus Ostreatus*. Ciudad de México, México.
- Gloria Cetz, *et al.* (2000). Cultivo de *Pleurotus Djamor* en rastrojo de calabaza. *Revista mexicana de micología*, 41-43.
- México, G. d. (19 de Junio de 2017). Gobierno de México. Obtenido de <https://www.gob.mx/firco/es/articulos/importancia-del-cuidado-de-las-tierras-de-cultivo?idiom=es#:~:text=La%20importancia%20de%20los%20suelos,el%20consumo%20de%20la%20humanidad.>
- Paredes-Juárez, *et al.* (2017). Aplicaciones de las enzimas lacasas de *Pleurotus Ostreatus*. *Mexican journal of biotechnology*, 135-144.

División 6

Ecología y Ciencias de la Tierra



Imagen creada con IA (<https://deepai.org>), empleando los términos “soil ecology, and earth sciences, soil microbial symbiosis, molecular biology, real picture, 3d imagen”.



Coordinador de División
Dr. Edgar Vázquez Núñez

SALUD Y PRODUCTIVIDAD DE *Sorghum bicolor* L. Moench CON BACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL

María Magdalena Reyes-Chapero¹; Leticia Gómez-Velázquez¹; Moisés Graciano Carcaño-Montiel¹; Guadalupe Medina-de la Rosa^{1,2} y Lucía López-Reyes^{1*}

¹Microbiología de Suelos, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, Pue., México.

²Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), México.

*lucia.lopez@correo.buap.mx

RESUMEN

El sorgo es un cereal que crece en zonas con clima semi-árido y su principal uso es para dietas del sector pecuario. La planta y el grano por sus altos contenidos de azúcar tienen susceptibilidad a enfermedades fúngicas que perjudican los rendimientos de la cosecha y la economía de los agricultores. La inocuidad de la semilla se ve afectada por la presencia de patógenos fúngicos, lo que repercute en el ambiente por aplicar gran cantidad de fungicidas para su control. El objetivo de este estudio fue evaluar el uso de Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPR) como agentes de control biológico (CB) para mantener la salud y productividad en el cultivo. Por lo tanto, se realizaron pruebas de sanidad de semillas en cámara húmeda para la variedad Asgrow-Ámbar. Se determinó el efecto antagónico de las PGPR contra hongos patógenos asociados a sorgo. El género bacteriano más eficiente en CB en semillas de sorgo fue *Serratia proteamaculans* (BUAP-PIR, BUAP-P3S) y *S. grimesii* (BUAP-P5S). Finalmente, se realizó la validación de bacterias de control biológico (BCB) en condiciones de campo dónde se aplicaron 11 tratamientos con 5 repeticiones, en un diseño por bloques completamente al azar. Se evaluó el porcentaje de severidad del daño por hongos y el rendimiento del grano ha⁻¹. Los tratamientos con BCB disminuyeron 62.5% la severidad de la enfermedad en las plantas y la aplicación de biofertilizantes más BCB aumentaron los rendimientos hasta 337% con respecto del testigo.

PALABRAS CLAVE

Biocontrol; PGPR; Salud vegetal; Sanidad de semilla; Fitopatógeno.

INTRODUCCIÓN

El Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) pertenece a la familia de las gramíneas, es un cultivo que se adapta a suelos con limitada fertilidad y en regiones semiáridas y presenta una adaptación a la sequía, el calor y la salinidad (Veneciano, 2012). El sorgo es el quinto cereal más producido a nivel mundial y los países que aportan mayor cantidad de este grano son Estados Unidos, Nigeria, México, India y Sudán (Astoreca *et al.*, 2019). Este cultivo está predispuesto a ataques de bacterias, hongos, virus, parásitos y plagas, que afectan su rendimiento, producción, calidad y comercialización (Astoreca *et al.*, 2019).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Los hongos presentes en granos pueden producir micotoxinas que representan un riesgo para la salud de los consumidores (humanos y animales), dañan su calidad nutricional y afectan la economía de los productores, debido a la reducción cuantitativa y cualitativa de los rendimientos agrícolas (Astoreca *et al.*, 2019). El empleo de pesticidas para el control de fitopatógenos ha causado graves problemas en la nutrición del suelo, además, contribuye a la contaminación ambiental e incrementa los costos de producción. Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) son microorganismos empleados para mejorar la fertilidad de los cultivos y también son agentes de CB que ayudan a reducir el efecto nocivo de los patógenos (Sharma *et al.*, 2020). Se propone el uso de BCB y Biofertilizantes como una alternativa para combatir las enfermedades fúngicas en sorgo reduciendo el uso de agroquímicos, así como sus costos económicos y ambientales, además de mejorar su producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizó el efecto de BCB sobre la sanidad de semillas de sorgo en agar papa y dextrosa dentro de charolas de plástico estériles (Warham *et al.*, 1996), donde se colocaron 100 semillas de sorgo híbrido Asgrow-Ámbar previamente desinfectadas con hipoclorito de sodio al 10%, tratadas con BCB e incubadas por 7 días. Las colonias fúngicas que se desarrollaron se aislaron para su posterior identificación. Las BCB empleadas forman parte de la colección del Cuerpo Académico de BUAP-99 de Microbiología de Suelos de la BUAP.

El experimento en campo se realizó en Huaquechula, Puebla, en los paralelos 18°40' 06" N y 18° 51' 48" N y los meridianos 98° 21' 18" O y 98° 39' 36" O, esta localidad representa el 0.7% de la superficie del estado de Puebla, México (INEGI, 2010). El diseño experimental fue en bloques completamente al azar con 11 tratamientos y 5 repeticiones (Cuadro 1). El tamaño de las parcelas fue 4.0 m × 3.2 m, con 4 surcos y 1.0 m de distancia entre bloques. Las BCB (*S. proteamaculans* y *S. grimesii*) se propagaron en caldo de soya tripticaseína hasta alcanzar 10⁸ UFC mL⁻¹ (Gutiérrez-Flores *et al.*, 2023). La siembra en campo se realizó en julio del 2022 de manera manual en surco lineal con semillas previamente inoculadas. Se incluyó a los tratamientos: Testigo (T1), Fertilización (T2), y Fungicida (T3) para contrastar con Biofertilizantes (BiofosfoBUAP y BiofertiBUAP) y BCB con *S. proteamaculans* (BUAP-P1R, BUAP-P3S) y *S. grimesii* (BUAP-P5S) de acuerdo con el Cuadro 1. Las bacterias de CB y biofertilizantes se diluyeron en relación 1:10 y el fungicida aplicado fue clorotalonil al 4%. La aplicación de los tratamientos fue en las semillas durante la siembra y de manera foliar un mes después, a excepción de los fertilizantes urea y fosfato diamónico (DAP) a dosis del 100% (80-40-00) y 50% (40-20-00) que se aplicaron en el suelo en forma sólida. Se registró el daño foliar de 2 hojas por planta y 15 plantas por tratamiento. La severidad del daño foliar (Figura 1) se midió con base en la escala propuesta por Thakur *et al.*, (2007) para enfermedades foliares en sorgo y empleando intervalos de 0, 25, 50, 75 y 100 por ciento (Chiang & Bock, 2021). Finalmente, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los datos obtenidos y posteriormente, las pruebas ANOVA y Tukey para evaluar diferencias entre las medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El efecto biocontrolador de las bacterias del género *Serratia* observado en este estudio se asemeja a lo descrito por Gutiérrez-Flores *et al.* (2023), quienes demostraron que las bacterias *S. grimesii* y *S. proteamaculans* pueden ser utilizadas para el control de hongos fitopatógenos de *Pinus patula*. En otras investigaciones se ha comprobado que *S. marcescens* tiene una fuerte actividad antifúngica contra *B. cinerea* (Someya *et al.*, 2001) además de que tiene la capacidad de inhibir el crecimiento de patógenos fúngicos como: *Fusarium oxysporum*, *Sclerotium rolfsii*, *Rhizoctonia solani* y *Alternaria alternata* (Parani *et al.*, 2011). Asimismo, *Serratia rubidaea* mostró actividad antagónica ante la antracnosis de la fresa causada por *Colletotrichum nymphaeae* (Alijani *et al.*, 2022). Diferentes especies del género *Serratia* son conocidas como PGPR que ayudan a controlar las enfermedades fúngicas por la producción de metabolitos como antibióticos, sideróforos, HCN, enzimas que degradan la pared celular como quitinasas, y generan resistencia sistémica inducida (ISR) o resistencia sistémica adquirida (SAR) (Ksheri *et al.*, 2019).



Figura 1. Daño foliar en hojas de sorgo causado por hongos fitopatógenos.

Se observó que el rendimiento del grano aumentó significativamente en todos los tratamientos respecto del testigo, pero fueron superados por los tratamientos: BCB+Biofertilizante+Fungicida y BCB+Fertilización50%+Fungicida con una producción de 3864 y 3984 kg ha⁻¹ con un incremento de 324% y 337% respectivamente. El tratamiento con Biofertilizantes obtuvo un incremento significativo en el rendimiento del 253% con una producción de 3 216 kg ha⁻¹, mientras que las BCB+fertilización50% y BCB+Biofertilizantes tuvieron un incremento de 232% y 218% (Cuadro 1).

Los resultados obtenidos en el rendimiento del grano, tras la aplicación de los diferentes tratamientos se asemejan a los experimentos realizados por Diaz y Treviño (2013) quienes lograron incrementos mayores al 50% con Biofertilizante *sorghum*.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Nosotros demostramos que el empleo de biofertilizantes y BCB representa una nueva alternativa para mejorar la producción y disminuir los costos en el cultivo de sorgo.

La severidad de las enfermedades fúngicas en plantas de sorgo en condiciones de campo disminuyó al 27.77% con Biofertilizante+fungicida. Además, los tratamientos con BCB y Fungicida (Clorotalonil) mostraron una severidad del 62.49% y 62.91%, reduciendo el daño en 20.18% y 19.64%, respectivamente. Los tratamientos con BCB disminuyeron la severidad de las enfermedades fúngicas en las plantas de sorgo, mientras que el tratamiento de Fertilización al 100% mostró una severidad de 70.83% y el testigo de 78.33%, siendo ambos tratamientos los más altos en la severidad de las enfermedades fúngicas en plantas de sorgo. Los resultados muestran diferencias en la disminución de la infección foliar por hongos respecto a los tratamientos con biofertilizantes y BCB ($p < 0.05$). Las cepas bacterianas (*Azospirillum brasiliense*) de los biofertilizantes muestran capacidades antifúngicas, además de beneficiar a las plantas al promover el desarrollo vegetal de sus tallos y raíces, y mejorar los rendimientos del cultivo. López-Reyes *et al.* (2017), evaluaron cepas de *A. brasiliense* como una alternativa para disminuir el porcentaje de infección foliar por los hongos *Alternaria*, *Bipolaris* y *Fusarium* en maíz, a través de la producción de sideróforos e indoles con efectos benéficos para las plantas. En esta investigación los tratamientos con BCB del género *Serratia* disminuyeron la severidad de las enfermedades fúngicas en sorgo. Estos resultados se asemejan con los obtenidos en laboratorio, donde *Serratia* limita el crecimiento de hongos en semillas de sorgo.

Cuadro 1. Severidad de enfermedades fúngicas en plantas de sorgo y rendimientos en experimento de campo con Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal.

Tratamiento	Severidad		Productividad	
	Daño %	Disminución %	Rendimiento kg de grano h ⁻¹	Incremento %
Testigo	78.3±3.7a	0	912±65.7 f	---
Fertilización Química 100%	70.8±2.8 b	9.5	2784±343.6 c	205
Fungicida	62.9±1.8 d	19.6	1512±136.8 e	66
Biofertilizante	65.8±2.8cd	15.9	3216±343.6 b	253
Biofertilizante + Fungicida	56.5±2.1 e	27.8	2856±310.6 c	213
BCB <i>Serratia</i>	62.5±1.4 d	20.2	1296±286.5 e	42
BCB + biofertilizante	65.0±3.7 cd	17.0	2904±100.4 bc	218
BCB + fertilización 50%	65.8±2.8 cd	15.9	3024±364.0 bc	232
BCB + Fungicida	66.9±3.1 c	14.6	2160±254.6 d	137
BCB + Biofertilizante + Fungicida	65.8±2.8 cd	15.93	3864±214.7 a	324
BCB + Fertilización 50% + Fungicida	65.0±1.7 cd	17.0	3984±427.6 a	337

Los tratamientos con BCB (bacterias de control biológico) consistieron en una mezcla del género *Serratia* (BUAP-PIR, BUAP-P35, BUAP-P5S). Los valores representan la media de cinco repeticiones seguida por su desviación estándar. Letras iguales de una serie no difieren, de acuerdo con la prueba de Tukey ($P=0.05$).

CONCLUSIONES

Se aislaron e identificaron hongos fitopatógenos de semillas de sorgo que corresponden a los géneros *Alternaria* sp., *Fusarium* sp. y *Rhizopus* sp.; en los tallos se identificaron los hongos pertenecientes a los géneros *Bipolaris* sp. y *Fusarium* sp., y en las hojas se identificaron los hongos del género *Alternaria* sp., *Exserohilum* sp. y *Fusarium* sp.

Se demostró que la biofertilización junto con BCB del género *Serratia* influyen positivamente en el rendimiento del cultivo de sorgo y ayudan a disminuir la severidad de las enfermedades fúngicas, lo que representa una alternativa para reducir el uso de agroquímicos.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el proyecto 100155588VIEP2023 y por los programas de desarrollo y producción de Biofertilizantes BIOFERTIBUAP y BIOFOSFOBUAP.

BIBLIOGRAFÍA

- Alijani, Z., Amini, J., Ashengroph, M. *et al.* Antifungal Activity of *Serratia rubidaea* Mar61-01 Purified Prodigiosin Against *Colletotrichum nymphaeae*, the Causal Agent of Strawberry Anthracnose. *J Plant Growth Regul* **41**, 585-595 (2022).
- Astoreca, A. L., Emateguy, L. G., & Alconada, T. M. (2019). Fungal contamination and mycotoxins associated with sorghum crop: its relevance today. *European Journal of Plant Pathology*, *155*(2), 381-392.
- Chiang, K. S., & Bock, C. H. (2022). Understanding the ramifications of quantitative ordinal scales on accuracy of estimates of disease severity and data analysis in plant pathology. *Tropical plant pathology*, *47*(1), 58-73.
- Colazo C.J., Garay, J. & Veneciano J.H. (2012). Phenology and physiology of sorghum. ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/11202/CONICET_Digital_Nro.11970.pdf
- Díaz F.A. & Treviño Q.C. (2013). Efectividad de bioinoculantes comerciales y fertilización química reducida en características de planta y productividad de sorgo. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, *1*(2), 43-47.
- Gutiérrez-Flores, L. M., López-Reyes, L., Mauricio-Gutiérrez, A., Carcaño-Montiel, M., Portillo-Manzano, E., & Gómez-Velázquez, L. (2023). Potential use of bacterial strain in the genus *Serratia* to biocontrol fungal pathogens associated with defoliation on *Pinus patula*. *Biocontrol Science and Technology*, *33*(7), 640-653. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09583157.2023.2210276>
- Kshetri, L., Naseem, F., Pandey, P. (2019). Role of *Serratia* sp. as Biocontrol Agent and Plant Growth Stimulator, with Prospects of Biotic Stress Management in Plant. In: Sayyed, R. (eds) *Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Sustainable Stress Management. Microorganisms for Sustainability*, vol 13. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6986-5_6

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- López-Reyes, L., Carcaño-Montiel, M. G., Lilia, T. L., Medina-de la Rosa, G., & Armando, T. H. R. (2017). Antifungal and growth-promoting activity of *Azospirillum brasilense* in *Zea mays* L. ssp. *mexicana*. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 50(13-14), 727-743. <https://doi.org/10.1080/03235408.2017.1372247>
- Parani, K., Shetty, G. P., & Saha, B. K. (2011). Isolation of *Serratia marcescens* SR1 as a source of chitinase having potentiality of using as a biocontrol agent. *Indian journal of microbiology*, 51, 247-250.
- Sharma, V., Kaur, J., & Sharma, S. (2020). Plant growth promoting rhizobacteria: potential for sustainable agriculture. <https://orcid.org/0000-0003-1781-1056>
- Someya, N., Nakajima, M., Hirayae, K., Hibi, T., & Akutsu, K. (2001). Synergistic antifungal activity of chitinolytic enzymes and prodigiosin produced by biocontrol bacterium, *Serratia marcescens* strain B2 against gray mold pathogen, *Botrytis cinerea*. *Journal of General Plant Pathology*, 67, 312-317.
- Thakur, R. P., Reddy, B. V., & Mathur, K. (2007). *Screening techniques for sorghum diseases. Information: Bulletin No. 76*. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. <https://oar.icrisat.org/4062/>
- Warham, E. J. (1998). Ensayos para la semilla de maíz y de trigo: Manual de laboratorio. Cimmyt.

CRITERIOS E INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD PARA EL CULTIVO DE LA HIGUERA (*Ficus carica* L.) EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ORGÁNICA Y CONVENCIONAL

**Carla Patricia Villarreal Batista¹; Francisco Higinio Ruiz Espinoza¹;
Enrique Troyo Diéguez^{2*}**

¹ Universidad Autónoma de Baja California Sur, Carretera al Sur Km. 5.5, Colonia El Mezquitito, AP 19 La Paz, Baja California Sur, C.P. 23080, México. (C.P.V.B.), (F.H.R.E.)

² Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., Avenida Instituto Politécnico Nacional 195, Colonia Playa Palo de Santa Rita Sur, C.P. 23096, México. (E.T.D.)

²Email: etroyo04@cibnor.mx

RESUMEN

La producción orgánica es una alternativa que se promueve a nivel mundial como respuesta para mitigar las problemáticas agroalimentarias que la sociedad enfrenta en años recientes. En el estado de Baja California Sur es de suma relevancia preservar los recursos con los que se cuenta al ser muy limitados. El objetivo de esta investigación fue evaluar el nivel de sustentabilidad de los sistemas de producción con los que se cultiva el higo en Baja California Sur. Para llevar a cabo el estudio se utilizó el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS), el cual consiste en el análisis simultáneo de sistemas de manejo, en este caso uno de referencia y otro alternativo. Se analizó sobre la producción de higo cultivado de manera convencional y orgánica en dos ranchos productores en el estado de Baja California Sur, con el fin de evaluar el nivel de sustentabilidad de ambos sistemas de manejo. El método se aplicó mediante el análisis de indicadores enfocados a los sectores ambiental, social y económico. La recopilación de los datos necesarios se realizó mediante la observación, una serie de entrevistas, revisión bibliográfica y de documentos oficiales. Los resultados sugieren que la producción orgánica reflejó un nivel sustentabilidad de 63.27 %, valorado como aceptable, siendo mayor que el de la producción convencional, que reflejó 42.04 %, valorado como deficiente.

PALABRAS CLAVE

Índices agroecológicos; Higuera; Agricultura orgánica; Fruticultura sostenible.

INTRODUCCIÓN

Según la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural del Gobierno de México (SADER, 2024), el sistema de producción orgánica es un sistema agrícola que promueve el uso óptimo del agua y suelo y demás recursos disponibles, con énfasis en el mejoramiento natural de la fertilidad del suelo y su actividad biológica, reduciendo al mínimo el uso de recursos no renovables. Promueve métodos factibles que no utilizan fertilizantes, agroquímicos y plaguicidas sintéticos para proteger el ambiente y la salud humana.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Existen diversos conceptos que definen la producción orgánica, pero todos coinciden en que se fundamenta en la gestión de ecosistemas, minimizando los insumos externos. Además, utiliza métodos compatibles con el ambiente, en virtud de que no solo pone atención en el producto, sino que también atiende y evalúa los insumos que se usan para cultivar y entregar el producto al consumidor (FAO, 2003). A la fecha se reconocen aumentos importantes en la producción vegetal con técnicas agrícolas modernas, pero acompañados por degradación ambiental, problemas sociales y por el uso excesivo de recursos naturales. Lo anterior resalta la necesidad de una agricultura autosuficiente, que conserve los recursos naturales, que sea eficiente en el uso de energía, económicamente viable y socialmente asimilable (Altieri, 1987). La evaluación de la sustentabilidad tiene dos funciones principales (OCDE, 2013):

1. Es un instrumento metodológico para desarrollar políticas integradas que tomen en cuenta plenamente las tres dimensiones del desarrollo sustentable, y
2. Un proceso para evaluar los probables efectos económicos, sociales y ambientales de las políticas, estrategias, planes y programas antes de ser formulados.

Además, para evaluar la sustentabilidad, Bebbington *et al.* (2007) proponen dos preguntas clave:

- a) ¿Cómo se integran los sistemas productivos actuales para el seguimiento de las condiciones socio-ambientales para proporcionar una guía hacia la sustentabilidad?
- b) ¿Cómo se pueden integrar las actividades independientes de la investigación y de en los sistemas para la gestión adaptativa y el aprendizaje social del futuro?

El cultivo de la higuera se adapta a zonas áridas, donde predomina escasez de agua y ensalitramiento de suelos; en Baja California Sur, la higuera fue introducida desde la época de las misiones y mucho tiempo después: así, en 1969 se estableció comercialmente su cultivo (Villavicencio *et al.*, 2003). El estado de Baja California Sur es el segundo productor del país, detrás del estado de Morelos. En el 2016 apareció por primera vez la producción de higo orgánico con 66 ha y en la actualidad se cuenta con más de 300 ha cosechadas. El crecimiento del cultivo de higo orgánico en el estado demuestra el interés de los consumidores por productos más sanos. En virtud de que su consumo muestra ir al alza, es necesario monitorear el uso de los recursos para el cultivo de higo en un estado con escasos recursos de agua y suelo fértil. Medir y evaluar el uso de los recursos naturales son imprescindibles para detectar las áreas a mejorar en el proceso de producción.

El objetivo de esta investigación fue encontrar que forma de producción es más sustentable en el higo que se cultiva en el estado.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en dos sitios de estudio: el primero se efectuó en un rancho orgánico certificado de higo localizado en San Juan de Los Planes, municipio de La Paz, Baja California Sur, México, coordenadas 23°58'08.8" LN y 109°56'28.6" LO. El segundo se desarrolló en un rancho convencional de higo, en el Valle de Vizcaíno, Mulegé, B.C.S., México, coordenadas 27°38'47.7" LN y 113°26'54.7" LO (Figura 1).



Figura 1. Localización de los sistemas de producción evaluados (Google Maps, 2024).

Por la naturaleza de los objetivos de la presente investigación se realizó bajo el “Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad” por sus siglas MESMIS, siendo un estudio no experimental con diseño transeccional descriptivo. La evaluación de sustentabilidad que se realizó en esta investigación es de carácter comparativo, es decir, se basó en el análisis simultáneo del sistema de manejo de referencia y de un sistema alternativo, en este caso, el análisis se hizo en dos ranchos higueros, uno orgánico certificado y uno convencional. El ciclo de evaluación que se hizo con la metodología MESMIS constó de seis etapas:

1. de conclusiones y propuestas donde se sugieren estrategias para mejorar Definición del objetivo de la aplicación del método de evaluación; se asienta información de los sistemas de manejo, sus atributos ambientales y entorno social.
2. Determinación de las fortalezas y debilidades que pueden incidir en la sustentabilidad de los sistemas de manejo y producción que se evalúan.
3. Selección de indicadores a través de los criterios de diagnóstico que derivaron las variables indicadoras estratégicas para aplicar el método de evaluación.
4. Registro, medición y monitoreo de los indicadores; en esta etapa se incluye la selección de instrumentos para la colecta de la información requerida y su análisis.
5. Compilación y revisión de los índices y resultados obtenidos, comparando el nivel de sustentabilidad de los sistemas de manejo y producción que se evalúan.
6. Integración los sistemas de manejo y producción hacia la sustentabilidad (Maser *et al*, 2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sistema de manejo orgánico

El sistema de manejo orgánico se estudió en una unidad empresarial en la zona del municipio de La Paz, ubicado en San Juan de Los Planes, Baja California Sur. En la Figura 2 se esquematizan los actores y factores externos e internos que inciden en la producción de higo orgánico, que caracterizan el sistema de manejo alternativo.

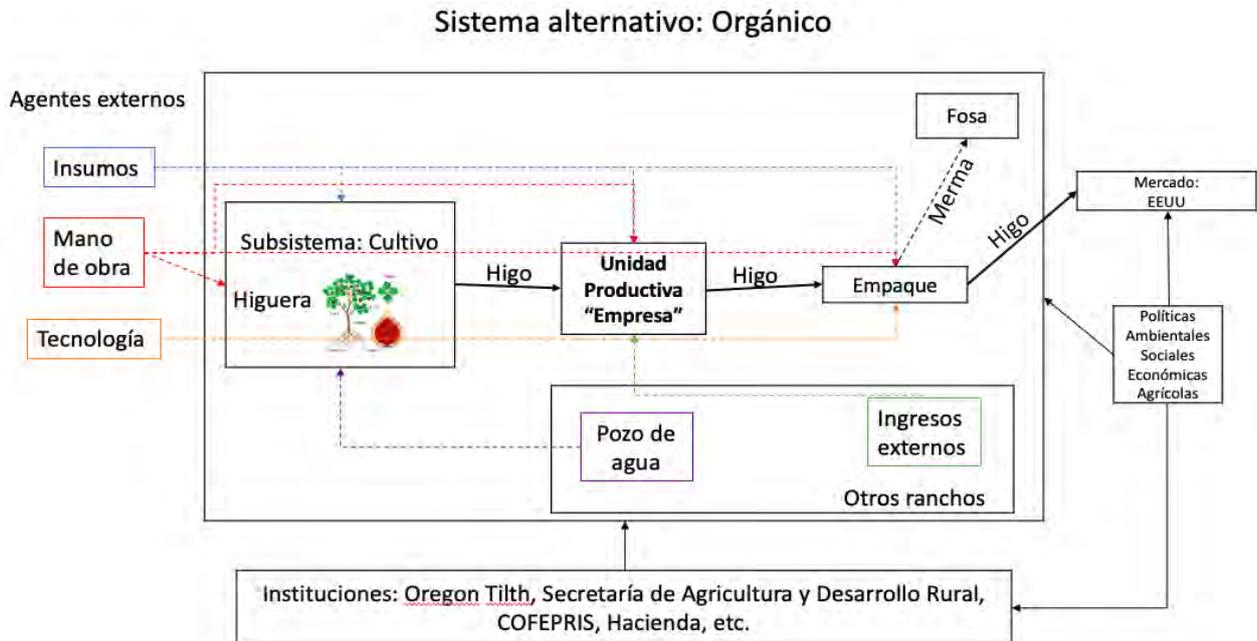


Figura 2. Diagrama del sistema de manejo alternativo (agricultura orgánica).

El sistema de manejo convencional fue una unidad familiar en la zona del municipio de Mulegé. En la Figura 3 se esquematizan todos los factores externos e internos que inciden en la producción de higo convencional, caracterizando el sistema de manejo de referencia.

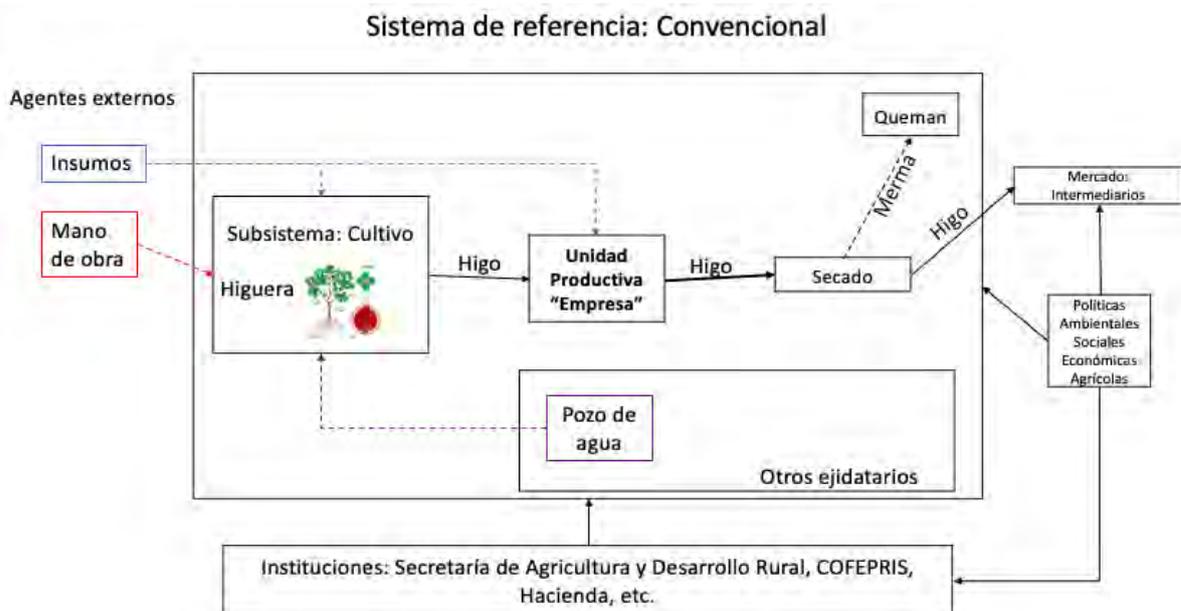


Figura 3. Diagrama de un sistema de manejo de referencia (agricultura convencional).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Descripción de la escala (Masera et al., 2008):

- Óptimo (81-100): Sistema sustentable en condiciones óptimas para la agricultura.
- Aceptable (61-80): Refleja que hay beneficios de la actividad de forma sustentable.
- Deficiente (41-60): Se tiene un beneficio bajo de los sistemas agrícolas, denotando un nivel de sustentabilidad bajo; se exhorta a seguir trabajando en las mejores del sistema.
- Crítico (21-40): Exhibe un nivel de sustentabilidad extremadamente bajo, por lo que se debe prestar especial atención en recuperar y atender los sistemas productivos.
- Falla o inutilidad (0-20): Refleja evidencias de sustentabilidad nulas y sin beneficios.

Con lo anterior y después de medir los indicadores se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Ponderación de indicadores para la comparación de sistemas de manejo.

Indicador	Óptimo	%	Orgánico	%	Convencional	%
Rendimiento tm/ha	6.73	100	3	44.5	1	14.8
Ingreso \$/kg	220	100	176	80	50	22.7
Policultivos	1	100	0	0	1	100
Calidad suelo y agua	4	100	4	100	2	50
Plagas y enfermedades	5	100	4	80	2	50
Acceso a créditos y seguros	3	100	2	66.6	3	100
Capacitación, entrenamiento	4	100	3	50	2	25
Número de beneficiarios	3	100	1	33.3	0	0
Capital laboral	4	100	3	75	1	25
Toma de decisiones	3	100	2	66.6	0	0
Autofinanciamiento	4	100	4	100	3	75

Nota: Los valores de la columna "Óptimo" son referencias para comparar los indicadores de los sistemas evaluados, orgánico y convencional, como porcentajes del Óptimo (valores ideales).

Dichos indicadores servirán de base para determinar, en su momento, los umbrales de sustentabilidad y vulnerabilidad que serán de suma utilidad para clasificar las regiones con mayor factibilidad y menor riesgo para los productores (Álvarez-Morales *et al.*, 2014).

Al analizar los resultados obtenidos se observa que la producción orgánica tuvo una sustentabilidad de 63.27 % teniendo un resultado aceptable, mientras que la producción convencional mostró una sustentabilidad de 42.04 %, reflejando un resultado deficiente.

CONCLUSIONES

La unidad productora de higo orgánico en el estado de Baja California Sur es más sustentable que la convencional, pero existen puntos clave en ambos sistemas donde es necesario mejorar para incrementar su nivel de sustentabilidad. Es importante la aplicación de este tipo de métodos de evaluación de la sustentabilidad para detectar aquellas áreas de oportunidad en la que las unidades productoras puedan enfocar sus esfuerzos y limitados recursos para mejorar y avanzar hacia la sustentabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Altieri, M. (1987). *Agroecology, The Science of Sustainable Agriculture*. CRC Press. Second Edition.
- Álvarez-Morales, Y., Troyo-Diéguez, E., Nieto-Garibay, A., Beltrán-Morales, F.A., Murillo-Amador, B., Cruz-Falcón, A., Navejas-Jiménez, J. (2014). Vulnerabilidad hidroclimática y degradación del suelo en regiones agrícolas semiáridas. *Terra Latinoamericana*, 32(1), 47-58. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792014000100047&lng=es&tlng=es.
- Bebbington, J., Brown, J., Frame, B. (2007). Accounting technologies and sustainability assessment models. *Ecological Economics*, 61(2-3), 224-236. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.10.021>.
- FAO. (2003). *Agricultura Orgánica, Ambiente y Seguridad Alimentaria*. Colección FAO: Ambiente y Recursos Naturales N°4. ISBN: 92-5-304819-0.
- Google Maps. (2024). Baja California Sur. Disponible en <https://www.google.com.mx/maps/place/Baja+California+Sur/@25.4173202,-114.9605505,735954m/> (Consultado: 5 July, 2024).
- Masera, O.A., Astier, M., López-Ridaura, S. (2005). *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS*. Mundi-Prensa México, México, D.F.
- Masera, O.A., Astier, M., López-Ridaura, S., Galván-Miyoshi, Y., Ortiz-Ávila, T., García-Barrios, L., García-Barrios, R., González, C., Speelman, E. (2008). *Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional*. ISBN: 978-84-612-5641-9.
- OCDE. (2013). *Evaluaciones de la OCDE sobre el desempeño ambiental: México 2013*, OECD Publishing. ISBN 978-92-64-18918-8 (PDF). México. Disponible en https://www.oecd.org/es/publications/evaluaciones-de-la-ocde-sobre-el-desempeno-ambiental-mexico-2013_9789264189188-es.html
- SADER. (2024). *Producción de alimentos orgánicos, tendencia exitosa para México*. Gobierno de México. Disponible en <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/produccion-de-alimentos-organicos-tendencia-exitosa-para-mexico>
- Villavicencio, E., López, R. y Valle, G. (2003). *La higuera en el Valle de Vizcaíno, B.C.S.* Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. ISBN: 968-5715-05-X.

MANEJO DE LA MANCHA BACTERIANA DE CHILE EN INVERNADERO BAJO CONDICIONES DE BAJA FERTILIDAD Y ALTAS TEMPERATURAS

María del Sol Cuellar-Espejel¹; Evangelina Esmeralda Quiñones-Aguilar¹; Rodolfo Hernández-Gutiérrez²; Juan Carlos Mateos-Díaz³; Sergio David Valerio-Landa⁴; Gabriel Rincón-Enríquez^{1*}

¹Laboratorio de Fitopatología de Biotecnología Vegetal, ²Biotecnología Médica y Farmacéutica, ³Biotecnología Industrial, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Zapopan Jalisco México. ⁴COSMOCEL, Monterrey, Nuevo León, México.

*Autor para correspondencia: grincon@ciatej.mx

RESUMEN

El aumento de temperaturas debido al cambio climático presenta desafíos para los cultivos en invernadero, causando estrés térmico, alteraciones en las plantas y mayor incidencia de plagas y enfermedades. La baja fertilidad del suelo exacerbada por altas temperaturas afecta la absorción de nutrientes esenciales, comprometiendo la resistencia de las plantas. Los tratamientos biológicos y químicos para el control de enfermedades en cultivos pueden no ser efectivos en condiciones de calor extremo. Por ello, en este estudio se evaluó la efectividad de manejos biológicos, donde se evaluaron 7 tratamientos (10 repeticiones): 2 inductores de resistencia [un inductor químico (Actigard®) y un inductor de proteínas Harpin $\alpha\beta$ (Messengar Gold®)], un bactericida a base de bacteriófagos (Fagolytic), así como 2 inductores proteicos bacterianos basados en la cepa-medio de cultivo BV801-AWCA (Patente de invención MX/a/2020/013638) en un suelo con baja fertilidad. Los controles fueron con (enfermo) y sin (sano) inóculo bacteriano de *Xanthomonas euvesicatoria* (cepa BV801) para disminuir la enfermedad de la mancha bacteriana en plantas de chile. Los resultados sugieren que un suelo bajo en nutrientes a temperaturas extremas en invernadero afecta negativamente los controles fitosanitarios biológicos y químico debido a que la efectividad biológica (LSD, $p < 0.05$) y la escala de severidad (Kruskall-Wallis, $p < 0.05$), no mostraron disminución en los síntomas de la enfermedad.

PALABRAS CLAVE

Bactericidas; Control biológico; Altas temperaturas; Fertilidad del suelo.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático y el aumento significativo de las temperaturas en el planeta representan un desafío para los cultivos de hortalizas en invernadero, ya que en el interior de estos se incrementan considerablemente las temperaturas, lo que provoca efectos negativos en las plantas como el estrés térmico, la alteración de la fotosíntesis, la desregulación de la floración y fructificación, así como el incremento de plagas y enfermedades.

Estos factores pueden afectar tanto la productividad como la calidad de los cultivos, haciendo a las plantas más susceptibles y potencialmente aumentando la necesidad de productos químicos para su control (Singh *et al.*, 2023). Además, la temperatura puede generar la mortalidad de organismos benéficos, así como de sus derivados, dentro de los cuales se encuentran los controles biológicos, provocando la disminución de su capacidad para controlar eficazmente las plagas o enfermedades (Rehman *et al.*, 2015). De acuerdo con el reporte del clima en México de junio de 2023 expedido por la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional (CGSMN), se concluyó que este mes registró la temperatura más alta desde 1953, convirtiendo a junio en el mes más cálido a nivel nacional (Fig. 1 y 2). Ante temperaturas extremadamente altas, el control de plagas y enfermedades en cultivos de invernadero se vuelve más desafiante, requiriendo de estrategias más eficientes para mitigar los efectos del calor y mantener un ambiente propicio para el control biológico (Hunjan *et al.*, 2020).

La fertilidad del suelo desempeña un papel fundamental en la mejora de la capacidad de las plantas para resistir el estrés térmico y mitigar los efectos adversos del cambio climático. No obstante, las altas temperaturas pueden acelerar la descomposición de la materia orgánica, lo que resulta en una disminución de la fertilidad del suelo y una alteración de la microbiota benéfica, que es esencial para el control biológico. Esta degradación de la salud del suelo no solo compromete la capacidad de las plantas para absorber nutrientes esenciales, sino que también impacta negativamente a los organismos que dependen de un ecosistema equilibrado para mantener su eficacia en la protección de los cultivos (Mondal, 2021).

Por consiguiente, la gestión de la fertilidad del suelo se presenta como un elemento clave para preservar la capacidad de resistencia de los cultivos ante los desafíos climáticos y asegurar la efectividad de los controles biológicos como la inducción del sistema vegetal que incrementa la traducción de genes relacionados con la defensa contra fitopatógenos (Valerio-Landa, 2021). Por lo que, el presente trabajo determinó el efecto de las altas temperaturas en el manejo fitosanitario de la mancha bacteriana (*Xanthomonas euvesicatoria*) mediante tratamientos biológicos en el cultivo de chile bajo condiciones de invernadero, además de observar la influencia de la fertilidad del suelo con el fin de desarrollar estrategias que optimicen la protección de los cultivos frente a los desafíos climáticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Análisis del suelo. Se tomaron muestras de suelo de una mezcla de sustrato compuesta por 55% de arena, 40% de suelo y 5% de agrolita. Estas muestras fueron enviadas al Laboratorio de Análisis de Suelo y Nutrición (Fertilab) para la evaluación de los niveles de calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis del suelo. El análisis reveló un pH (7.78) moderadamente alcalino, acompañado de una modesta capacidad de retención de agua y nutrientes. El suelo se encontró libre de carbonatos y sales, lo que es positivo en términos de evitar problemas de salinidad. Sin embargo, se observó un nivel muy bajo de materia orgánica, lo cual indica la necesidad de su incorporación para mejorar la fertilidad del suelo. Los niveles de nutrientes esenciales como calcio, potasio y magnesio fueron deficientes, con una disponibilidad muy baja de calcio y magnesio, y una deficiencia significativa de potasio. En cuanto a los micronutrientes, el suelo presentó niveles moderadamente bajos de manganeso, un bajo contenido de cobre, y fue clasificado como pobre en boro (Fig. 3).

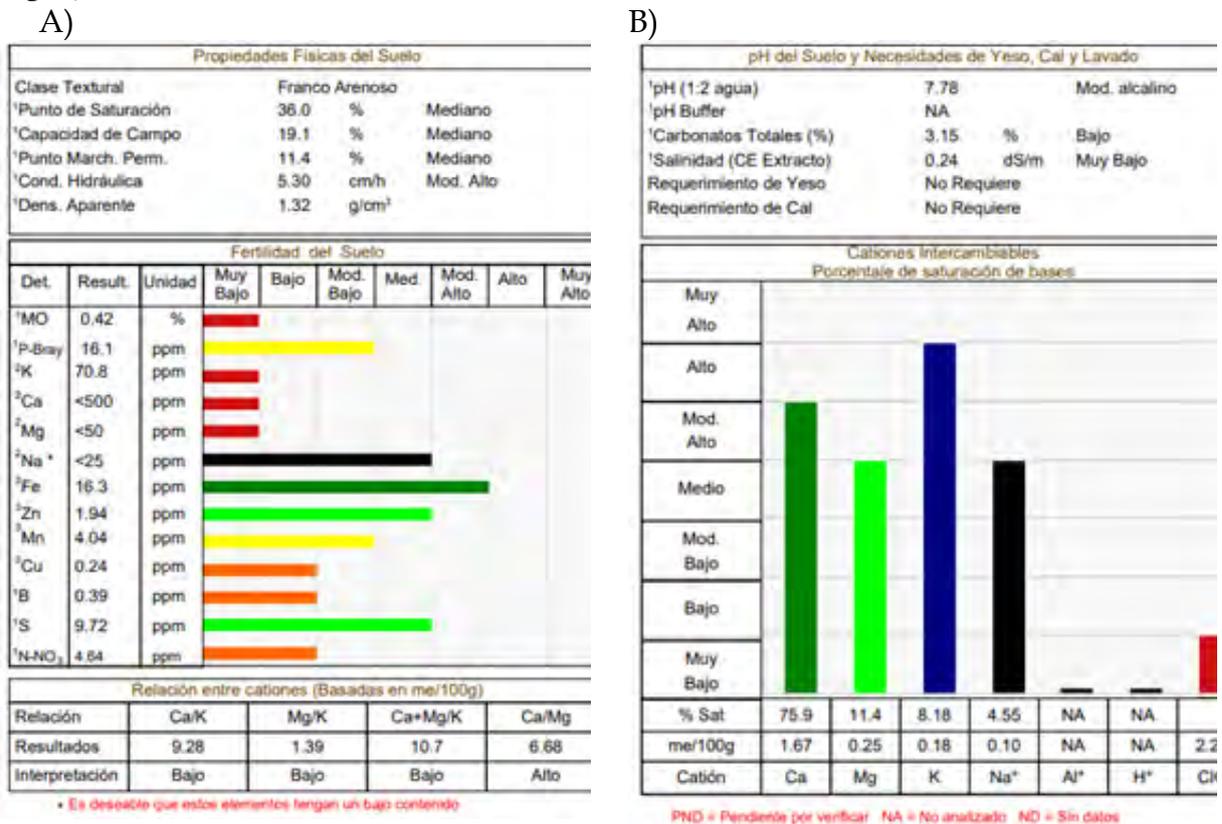


Fig. 3. Diagnóstico de la fertilidad del suelo. A) Propiedades físicas del suelo y fertilidad del suelo. B) pH del suelo y necesidad de yeso, cal y lavado; así como cationes y porcentaje de saturación de bases.

Los resultados del análisis del suelo revelan limitaciones significativas que pueden afectar el crecimiento y la productividad de las plantas, particularmente en condiciones de altas temperaturas. Un pH moderadamente alcalino reduce la disponibilidad de nutrientes clave como calcio, potasio y magnesio. La baja capacidad del suelo para retener agua y nutrientes lo hace más susceptible a la desecación y pérdida rápida de estos elementos, exacerbando el estrés hídrico y nutricional en las plantas. Esto se agrava por el bajo contenido de materia orgánica, crucial para la estructura del suelo y la retención de agua.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Las deficiencias de calcio y magnesio son críticas en condiciones de calor extremo, afectando la integridad celular y la fotosíntesis de los cultivos. La falta de potasio puede agravar el estrés térmico, mientras que la baja disponibilidad de micronutrientes como manganeso, cobre y boro puede limitar procesos fisiológicos esenciales reduciendo así la capacidad de las plantas para enfrentar el estrés abiótico y disminuyendo su productividad.

Evaluación de tratamientos de control biológico. El comportamiento de las temperaturas diarias internas en el invernadero fue determinado con el equipo HOBO®, se mostró como temperatura promedio mínima de 23.73°C y temperatura máxima 41.18°C durante el mes de junio de 2023 (Fig. 4). Siendo la hora con mayor reporte de temperaturas altas a las 14 h, en el que se puede observar cómo temperatura máxima de 41.18°C el día 27 de junio 2023 y temperatura mínima de 29.90°C el día 30 de junio, probablemente estas temperaturas se presentaron por carencia de lluvias en este mes. A las 10 h se registró como temperatura máxima de 36.16°C el día 4 de junio y temperatura mínima de 24.02°C el día 29 de junio y finalmente a las 18 h se registró temperatura máxima de 38.56°C el día 13 de junio y temperatura mínima de 24.11°C el día 29 de junio (Fig. 4).

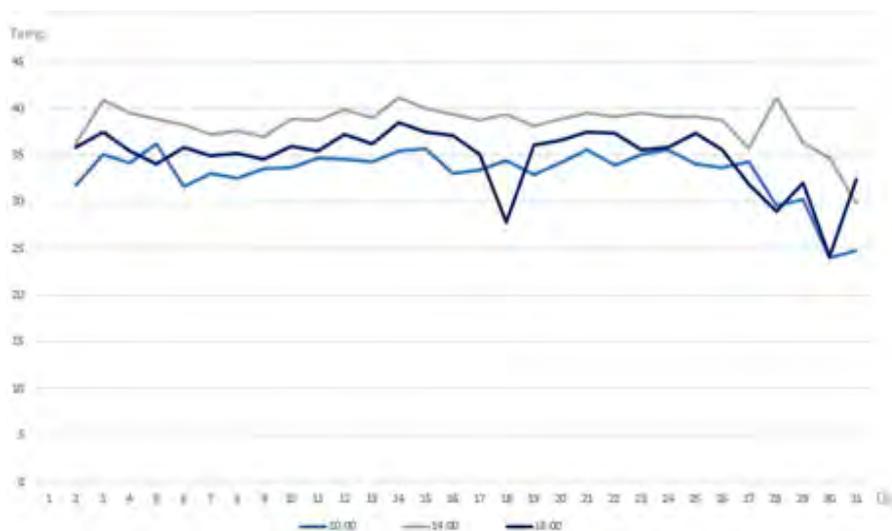


Fig. 4. Comportamiento de las temperaturas diarias a las 10, 14 y 18 h durante el mes de junio de 2023 dentro del invernadero donde se realizó el experimento. Las temperaturas optima del crecimiento de las plantas de chile están entre 20-28°C.

Con base en los resultados de las variables de respuesta de severidad o número de manchas se realizó un análisis de varianza el cual indicó efecto significativo entre los tratamientos fitosanitarios ($p \leq 0.05$). Este resultado indica que la aplicación de tratamientos causó una reducción significativa en el desarrollo de la enfermedad, sin embargo, al observar los tratamiento se puede notar que el tratamiento control enfermo fue estadísticamente el que menor grado de enfermedad presento, incluso colocando agentes de control biológico, lo cual sugiere que a altas temperaturas pueden afectar negativamente los controles fitosanitarios biológicos y el químico.

Las temperaturas superiores en el invernadero pueden afectar la eficiencia de los controles químicos y biológicos permitiendo el crecimiento y desarrollo de X.

euvesicatoria en las plantas de Chile independientemente de los tratamientos fitosanitarios (Fig. 5A). La escala de severidad se analizó mediante la técnica no paramétrica de Kruskal-Wallis y la mediana del intervalo de confianza ($p \leq 0.05$), la escala se basó en el porcentaje de tejido dañado debido a la infección de *X. euvesicatoria* (0 = planta sana a 5 = >90% o planta muerta) (Fig. 5B). Por ello, se puede observar que el bioinductor proteico mostró el mismo grado de severidad que el enfermo e inclusive Messenger Gold mostró mayor grado de severidad, lo cual da la impresión de que el invernadero solo viene a poner las condiciones climáticas más desfavorables, esto de manera excepcional dado la presencia de un mes con altas temperaturas, para la viabilidad de los productos fitosanitarios, ya sean biológicos o químicos (Singh *et al.*, 2023). En *Xanthomonas*, las altas temperaturas potencian su capacidad fitopatogénica en el hospedero debido a los polisacáridos extracelulares (EPS) que les proporciona protección al formar biopelículas contra condiciones ambientales adversas y compuestos antimicrobianos que están relacionados con la comunicación celular, adhesión y almacenamiento de energía. Tomando en cuenta los registros de temperatura obtenidos durante el experimento (intervalo de 24.02°C a 41.18°C, con temperatura máxima promedio de 30.01°C.), así como la temperatura óptima de crecimiento de *Xanthomonas* (entre 25 y 30°C) para crecer y reproducirse (Cardoso *et al.*, 2022); probablemente las bacterias *Xanthomonas euvesicatoria* experimentaron un crecimiento celular más rápido y una mayor tasa de división celular generando que las enzimas y procesos metabólicos funcionarán a su máxima eficiencia y en consecuencia se generara mayor virulencia resultando en una enfermedad más grave para la planta y con mayor dificultad para montar una respuesta efectiva.

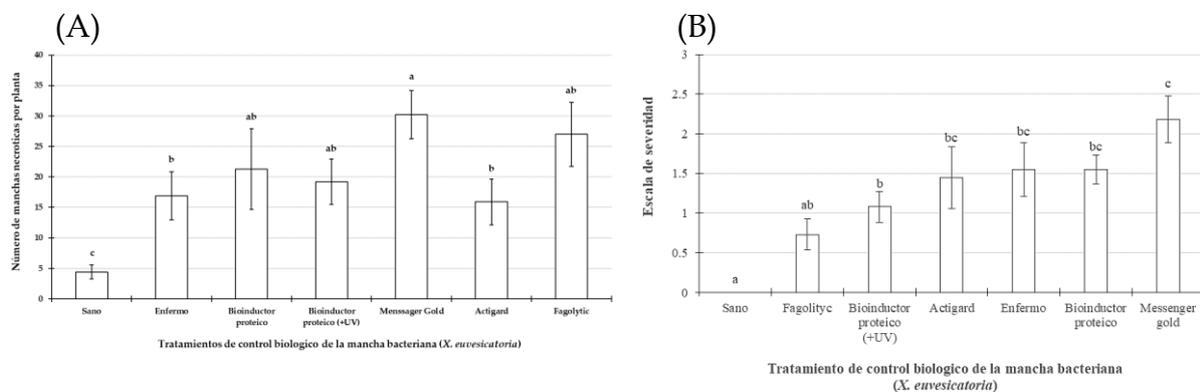


Fig. 5. (A) Efectividad biológica de distintos tratamientos biológicos y químico (Actigard) para el control de la mancha bacteriana en plantas de Chile en condiciones de invernadero, según el número de manchas necróticas. (B) Escala de severidad ocasionada por la mancha bacteriana ante los distintos tratamientos de control biológico. Letras distintas indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba LSD ($p < 0.05$) en A y Kruskal-Wallis en B. Las barras en el rectángulo indican \pm el error estándar.

CONCLUSIONES

Las deficiencias nutricionales del suelo, su baja capacidad de retención de agua y el bajo contenido de materia orgánica resaltan la necesidad de un manejo adecuado para enfrentar estrés nutricional y ambiental para un adecuado manejo fitosanitario de

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

enfermedades. Además, dado el conocimiento limitado sobre cómo el cambio climático afecta los ecosistemas agrícolas en condiciones de agricultura protegida (invernadero), se requieren estrategias de adaptación y mitigación. Estas deben considerar la posible alteración de los productos de control químico y biológico, que pueden perder eficacia en condiciones de calor extremo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por la beca otorgada a M.S. Cuellar-Espejel para los estudios de doctorado (CVU 664582) así como a los proyectos del Laboratorio de Fitopatología del CIATEJ y 10428-2023 COECYTJAL por el financiamiento de este proyecto de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Cardoso, J. L., Souza, A. A., & Vieira, M. L. C. (2022). Molecular basis for host responses to *Xanthomonas* infection. *Planta*, 256(4): 84. <https://doi.org/10.1007/s00425-022-03994-0>
- Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional (CGSMN) (2023). Reporte del clima en México: Junio 2023. Estado del tiempo actual y pronóstico para la próxima semana. <http://www.smn.conagua.com.mx>, ciudad de México (Consultado Julio 15-2023).
- Hunjan, M.S., Lore, J.S. (2020). Climate change: impact on plant pathogens, diseases, and their management. In: Jabran, K., Florentine, S., Chauhan, B. (eds) *Crop protection under changing climate*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-46111-9_4
- Mondal, S. (2021). Impact of climate change on soil fertility. In: Choudhary, D.K., Mishra, A., Varma, A. (eds) *Climate change and the microbiome*. Soil Biology, vol 63. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76863-8_28
- Rehman, M. U., Rather, G. H., Gull, Y., Mir, M. R., Mir, M. M., Waida, U. I., & Hakeem, K. R. (2015). Effect of climate change on horticultural crops. *Crop production and global environmental*. Springer International Publishing Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23162-4_9
- Singh, B.K., Delgado, M., Egidi, E. *et al.* (2023) Climate change impacts on plant pathogens, food security and paths forward. *Nat Rev Microbiol* 21, 640–656. <https://doi.org/10.1038/s41579-023-00900-7>
- Valerio-Landa, S. D. (2021). Proteínas HRP de *Xanthomonas* y su evaluación como inductores para la resistencia fisiológica en plantas contra fitopatógenos. Tesis doctoral, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.

HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES Y NUTRIENTES ASOCIADOS A DOS ESPECIES DE CACTÁCEAS EN MÉDANOS DE SAMALAYUCA, CHIHUAHUA

Ana Isabel Ortega Gurrola¹; Miroslava Quiñonez Martínez¹; José Valero Galván¹; Laura Alejandra De la Rosa Carrillo¹; Pedro Osuna Ávila¹; Silvia Margarita Carrillo Saucedo²

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Av. Plutarco Elías Calles #1210 Fovissste Chamizal Ciudad Juárez, Chih., Méx. C.P. 32310.

²Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo, Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, No. 46, Col. La Victoria, Hermosillo, Son. CP. 83304.
ortegagana.24@gmail.com

RESUMEN

La asociación planta-HMA es de vital importancia en la supervivencia y nutrición de las plantas gracias a su capacidad de acarrear agua y nutrientes al interior de esta. En ambientes hostiles como el desierto chihuahuense, el estudio de estos hongos y su relación con las cactáceas endémicas es casi inexistente, por lo que evaluaron las características fisicoquímicas de la rizosfera, así como la colonización radical de dos especies de cactáceas, *Opuntia arenaria* y *Echinocereus coccineus*, dentro de Área Natural Protegida (ANP) Médanos de Samalayuca, Chihuahua. Para esto se comprobó y contabilizó la colonización por HMA en raíces junto a un análisis físico y químico del suelo para cuantificar la concentración de macro y micronutrientes en rizosfera. Se concluyó que *E. coccineus* presentó el mayor porcentaje de colonización micorrízica y los mejores valores nutrimentales en suelo en comparación con *O. arenaria*.

PALABRAS CLAVE

Cactáceas; Conservación; HMA; Suelos áridos; Interacciones.

INTRODUCCIÓN

Las condiciones áridas o semiáridas representan un reto para la supervivencia de la vegetación a consecuencia de suelos con poca materia orgánica, baja disponibilidad de nutrientes y poca humedad.

Los suelos al norte de Chihuahua dentro del ANP Médanos de Samalayuca se identifican por ser de tipo Arenosol háplico (*ARh*) con un grado de erosión de moderado a alto (IMIP, 2013). Este tipo de suelo se caracteriza por tener poca retención de humedad con alto grado de evaporación y por ser duro y macizo cuando se seca, situación que influye negativamente en la posibilidad de la vegetación para obtener nutrientes y agua. Como consecuencia de esto, Delgado-Baquerizo *et al.* (2013) señalan que la disminución de la cubierta vegetal en suelos áridos provoca una reducción de las concentraciones de carbono y nitrógeno obtenido a través de la actividad biológica (escasa a su vez por falta de agua), incrementando la concentración de fósforo en suelo y por tanto provocando un desajuste de los ciclos de nutrientes.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Las cactáceas son una familia que desarrolló una morfología y metabolismo específicos para asegurar la resistencia y supervivencia a estos ambientes propensos a la sequía y al desajuste del reciclaje de nutrientes (Delgado-Baquerizo *et al.*, 2013). El metabolismo ácido de las Crasuláceas (CAM) es una de las estrategias de supervivencia con las que cuentan las cactáceas (y una variedad de plantas ubicadas en zonas áridas) que, a grandes rasgos, le permite absorber CO₂ al tiempo que retiene de forma más eficiente la humedad en su interior (Andrade *et al.*, 2007; Pizarro, 2014).

Los hongos micorrízicos arbusculares (o HMA) representan la clase más abundante de micorrizas capaces de formar asociaciones benéficas con el 90% de las plantas terrestres a través de interacciones con la raíz (Harrison, 1997). Esta asociación simbiótica, que inicia con el proceso de colonización al interior de la raíz, se ve moderada mediante un intercambio de señales moleculares liberadas en condiciones deficientes de nutrimentos (Salvioli di Fossalunga y Novero, 2019; Shi, Wang y Wang, 2023).

Parte integral del éxito de esta asociación hongo-planta es la formación de hifas, arbusculos (estructuras especializadas en el intercambio de nutrientes) y vesículas (estructuras de almacenamiento) de forma intracelular (Brundrett, 2004). Es en esta transferencia en que la planta recibe agua y minerales como fósforo y nitrógeno a cambio de derivados fotosintéticos del carbono, moléculas que sirven de alimento para el hongo.

La presencia de HMA se ha relacionado con la alteración morfológica de raíces y niveles de hormonas vegetales relacionadas a la tolerancia al estrés biótico y abiótico, así como en las propiedades físicas y químicas del suelo con la creación de agregados que promueven la estabilidad del suelo, mermando la erosión y aumentando la capacidad de conservación de humedad (Nazareno Saparrat *et al.*, 2018; Shi *et al.*, 2023). Esto último resulta de gran interés ecológico en zonas áridas o semiáridas donde la vegetación, los nutrimentos y la disponibilidad de agua es mínima o deficiente.

Esta relación simbiótica es de especial interés cuando la planta en cuestión presenta problemas de reproducción, por lo que esta investigación pretende analizar la relación de los HMA con las características físicas y químicas en el suelo de dos especies de cactáceas, *Opuntia arenaria* (Oa) y *Echinocereus coccineus* (Ec), dentro del ANP Médanos de Samalayuca, Chihuahua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección. Se seleccionó una zona cercana a las coordenadas 31°18'02.7"N 106°30'15.9"W en las inmediaciones del ANP Médanos de Samalayuca, Chihuahua (a 47 km al sur de Ciudad Juárez) con la presencia de ambas especies. Se tomaron en cuenta criterios de exclusión como el estar cercano a otras especies arbustivas y pastos de la zona para evitar la interferencia en los datos, seleccionando así cuatro plantas por especie de cactácea. Se excavó a una profundidad de aproximadamente 10-15 cm cerca de la planta para tomar muestras de suelo y raíz.

Se recolectaron 10 cm de raíz de cada una de las plantas de la misma especie, así como 1 kg de muestra compuesta de suelo de cada especie a partir de las mismas cuatro plantas. El muestreo fue realizado en el mes de febrero bajo condiciones de frío y humedad.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Colonización. Para comprobar la colonización por HMA se realizó un proceso de aclarado y tinción sobre 10 fragmentos de raíz de acuerdo a lo descrito por Phillips y Hayman (1970). Una vez procesadas, las raíces fueron observadas bajo el microscopio (Leica DM-E) con un lente de 10x con el que se realizó el conteo de estructuras micorrízicas (vesículas, arbusculos, hifas o nada) dentro de la raíz a través del método de la intersección (McGONIGLE *et al.*, 1990). Para la realización de los gráficos se empleó Excel.

Análisis fisicoquímicos. La determinación de la textura del suelo (técnica de Bouyoucos), materia orgánica (%MO, método Walkley-Black) y P (procedimiento de Olsen) fue realizada de acuerdo con lo detallado dentro de la NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Para determinar el K, Ca y Mg se empleó espectrofotometría de absorción atómica (EAA), mientras que para N se empleó el método del ácido salicílico. Las técnicas fueron realizadas sobre las muestras compuestas de cada especie.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis fisicoquímicos. El análisis de textura mostró que el suelo de *O. arenaria* se compone por un 92.2% de arena, 2.56% de limo y 5.24% de arcilla, mientras que el suelo de *E. coccineus* se compone de un 93.12% de arena, 1.28% de limo y un 5.6% de arcilla. El pH se encontraba entre 8.1 y 8.46. Los autores Rucks y colaboradores (2004) señalan la importancia de los limos en el suelo, pues estos son capaces de contener y liberar minerales, como el potasio, con la capacidad de abastecer las necesidades de las plantas además de retener humedad en el suelo. Junto a los limos, las arcillas pueden presentar una serie de elementos en su estructura al tiempo que son capaces de atraer y ceder iones indispensables para la nutrición de las plantas. En contraste, la fracción de arena presenta poca o nula retención de humedad y nutrientes.

En su revisión, Monsalve y colaboradores (2017) señalan la importancia de la participación de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo en los procesos de mineralización. Esto debido a que, dependiendo de la textura del suelo, las condiciones de humedad se verán perjudicadas y con ello también la actividad biológica responsable de la degradación y mineralización de la materia orgánica en el suelo.

En cuestión de nutrientes en suelo, Ec presentó el menor %MO, pero los niveles más altos para ambas especies en todos los nutrientes analizados, siendo considerados como *Óptimos* (N y K) y *Buenos* (P y Ca). El suelo de Ec presentó deficiencias en Mg. Por otro lado, Oa presentó el mayor %MO con valores buenos en K, Ca y Mg, mientras que N y P presentaron deficiencias.

Ladd y colaboradores (1981) realizaron un estudio para medir las tasas de descomposición de materia orgánica a través del marcaje con isótopos, y encontraron que en suelos arenosos la descomposición fue más rápida en comparación con suelos arcillosos. En suelos ricos en arcilla y limo se presenta una disminución en la mineralización de nutrientes dado que estas fracciones de suelo evitan su descomposición al resguardar la MO en su interior, evitando la degradación por actividad microbiana (Skjemstad *et al.*, 1993).

Cuadro 1. Cuantificación de nutrientes y materia orgánica en suelo de *Opuntia arenaria* y *Echinocereus coccineus*.

	M.O. %	N	P	K ppm ¹	Ca	Mg
Oa	0.91	1.16	6.03	137.77	980	89
Ec	0.78	13.04	11.65	278.49	1552.3	45.46

¹Datos mostrados en partes por millón (ppm).

Porcentaje de colonización y estructuras fúngicas. La observación bajo el microscopio de las raíces procesadas confirmó la colonización por hongos micorrízicos arbusculares para ambas especies de cactáceas. Se encontraron vesículas e hifas intracelularmente, sin presencia de arbusculos (Figura 1).

El porcentaje de colonización micorrízica en *Echinocereus coccineus* fue de un 47.5% mientras que en *Opuntia arenaria* fue de 39.5% (Figura 2).

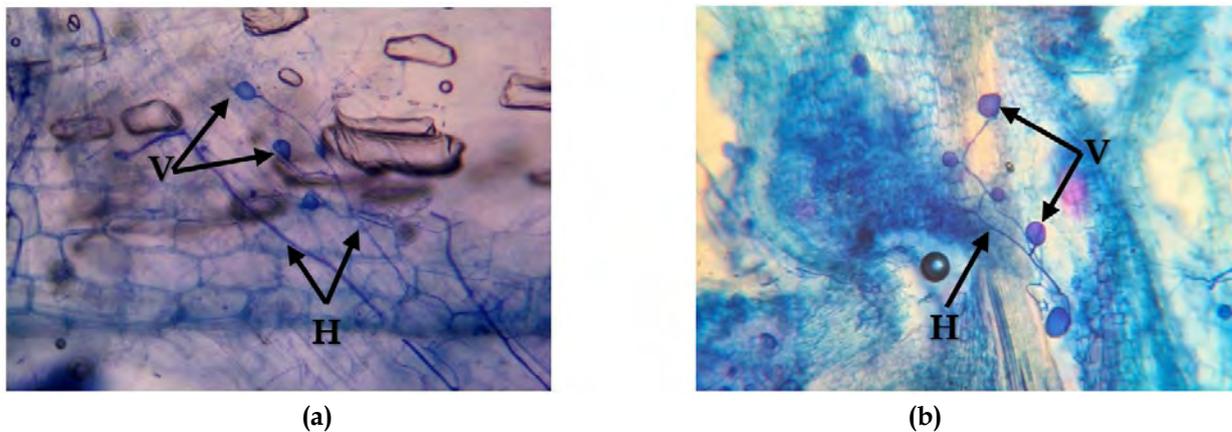


Figura 1. Vista bajo microscopio a 10x de tejido de raíz teñido con azul de tripano al 0.05%. H: hifas; V: vesículas. (a) Tejido celular de *Opuntia arenaria*; (b) Tejido celular de *Echinocereus coccineus*.

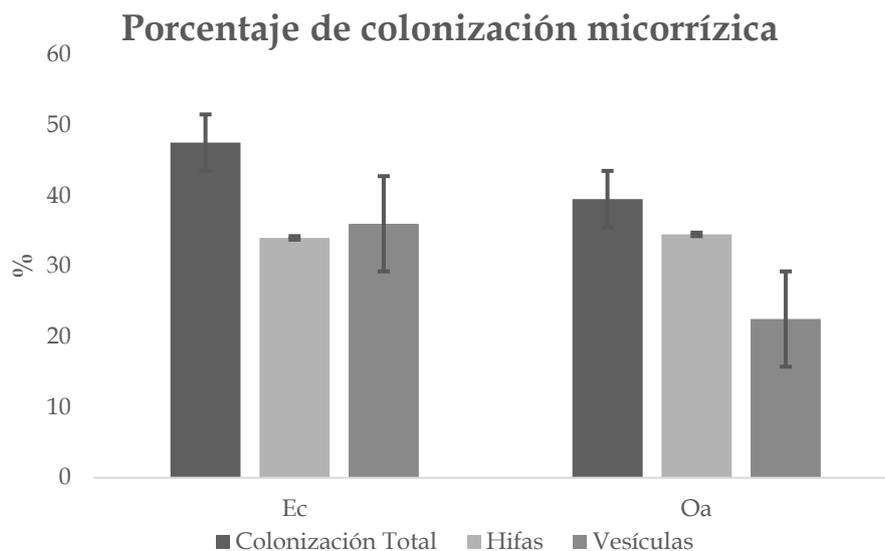


Figura 2. Porcentaje de colonización total y por estructuras en *Echinocereus coccineus* (Ec) y *Opuntia arenaria* (Oa).

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados de fertilidad en suelo, se concluye que *E. coccineus* presenta los mejores niveles de nutrientes, así como el mayor porcentaje de colonización micorrízica en comparación con *O. arenaria*. Las discrepancias presentadas en la colonización por HMA podría ser el resultado de diferencias morfológicas en las raíces de ambas especies, donde *E. coccineus* presenta una raíz más gruesa y profunda, mientras que *O. arenaria* exhibe una raíz más pequeña, delicada y cercana a la superficie del suelo, lo que la sitúa en una situación vulnerable dentro de la NOM 059 SEMARNAT-2010.

En tanto los nutrientes, *E. coccineus* presenta una mayor cantidad de tejido vegetal, además de estar rodeado de otros arbustos que proveen una fuente cercana de nutrientes al descomponerse la materia orgánica.

REFERENCIAS

- Andrade, J. L., de la Barrera, E., García, C. R., Ricalde, M. F., Soto, G. V., & Cervera, J. C. (2007). El metabolismo ácido de crasuláceas: diversidad, fisiología ambiental y productividad. *Boletín de La Sociedad Botánica de México*, 81, 37-50. <https://www.redalyc.org/pdf/577/57708102.pdf>
- Brundrett, M. (2004). Diversity and classification of mycorrhizal associations. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 79(3), 473-495. <https://doi.org/10.1017/s1464793103006316>
- Camarena-Gutierrez, G. (2012). Interaccion planta-hongos micorrizicos arbusculares. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 18(3), 409-421. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.11.093>
- Delgado-Baquerizo, M., Maestre, F. T., Gallardo, A., Bowker, M. A., Wallenstein, M. D., Quero, J. L., Ochoa, V., Gozalo, B., García-Gómez, M., Soliveres, S., García-Palacios, P., Berdugo, M., Valencia, E., Escolar, C., Arredondo, T., Barraza-Zepeda, C., Bran, D., Carreira, J. A., Chaieb, M., ... Zaady, E. (2013). Decoupling of soil nutrient cycles as a function of aridity in global drylands. *Nature* 2013 502:7473, 502(7473), 672-676.
- Harrison, M. J. (1997). The arbuscular mycorrhizal symbiosis: an underground association. *Trends in Plant Science*, 2(2), 54-60.
- IMIP. (2013). Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Médanos de Samalayuca. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Ladd, J. N., Oades, J. M., & Amato, M. (1981). Microbial biomass formed from ¹⁴C, ¹⁵N-labelled plant material decomposing in soils in the field. *Soil Biology and Biochemistry*, 13(2), 119-126. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0038-0717\(81\)90007-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0038-0717(81)90007-9)
- McGONIGLE, T. P., Miller, M. H., Evans, D. G., Fairchild, G. L., & Swan, J. A. (1990). A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *The New Phytologist*, 115(3), 495-501.
- Monsalve-C., Ó. I., Gutiérrez-D., J. S., & Cardona, W. A. (2017). Factores que intervienen en el proceso de mineralización de nitrógeno cuando son aplicadas enmiendas orgánicas al suelo. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 200-209. <https://doi.org/10.17584/RCCH.2017V11I1.5663>

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Nazareno Saparrat, M. C., Ruscitti, M. F., & Arango, M. C. (2018). Micorrizas arbusculares. Biología y aplicaciones en el sector Agro-forestal. In *Libros de Cátedra* (Vol. 2, Issue 3).
- Phillips, J. M., & Hayman, D. S. (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-IN18.
- Pizarro, N. J. (2014). *Cactáceas de Tacna* (Primera ed). https://www.researchgate.net/profile/Jose-Pizarro-4/publication/283644660_Cactaceas_de_Tacna/links/564247e508aebaaea1f8d5b4/Cactaceas-de-Tacna.pdf
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades Físicas del Suelo. In *Transactions of the Faraday Society* (Vol. 64). Facultad de Agronomía, Universidad de la República. https://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades_fisicas_del_suelo.pdfhttp://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades_fisicas_del_suelo.pdf
- Salvioli di Fossalunga, A., & Novero, M. (2019). To trade in the field: the molecular determinants of arbuscular mycorrhiza nutrient exchange. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 6(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s40538-019-0150-7>
- Shi, J., Wang, X., & Wang, E. (2023). Mycorrhizal Symbiosis in Plant Growth and Stress Adaptation: From Genes to Ecosystems. *Annual Review of Plant Biology*, 74, 569–607.
- Skjemstad, J. O., Janik, L. J., Head, M. J., & McClure, S. G. (1993). High energy ultraviolet photo-oxidation: a novel technique for studying physically protected organic matter in clay- and silt-sized aggregates. *Journal of Soil Science*, 44(3), 485–499.

BACTERIAS ASOCIADAS A *Distichlis spicata* L. INCREMENTAN LA CONCENTRACIÓN DE HIERRO (Fe) Y BORO (B) EN TOMATE

Ángel Mena-García*; Alejandro Alarcón; Libia Iris Trejo-Téllez;
Fernando Carlos Gómez-Merino; María Guadalupe Peralta-Sánchez

Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Posgrado en Edafología. Carr. México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, C. P. 56264, Estado de México. *Email: angelmegar@hotmail.com

RESUMEN

La producción de plántulas con adecuado estatus nutrimental foliar es de suma importancia para incrementar el éxito en el establecimiento de los cultivos después del trasplante. La inoculación con bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) mejora la absorción de nutrientes en plantas; sin embargo, pocos de los estudios se enfocan en el efecto de estas en etapa de plántula. En esta investigación evaluamos la concentración de Fe y B en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Río Grande en respuesta a la inoculación de cinco cepas de bacterias productoras de ácido indolacético (AIA) y sideróforos (RD2, RD4, RD17, RD26 y RD27) aisladas de la rizosfera de *Distichlis spicata* L. y *Arthrobacter pokkali* JLB4. Después de 35 d de inoculación se evaluó la concentración de Fe y B en hojas. Los datos se sometieron al análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). No hubo efecto de las cepas RD2, RD26, RD27 y la cepa de referencia JLB4 en la concentración de ambos micronutrientes. La cepa RD17 y RD4 promovieron la absorción de Fe y B en 23.58 y 12.34 %, respectivamente en comparación con plantas sin inoculación. Se concluyó que la bacteria RD17 promueve la absorción de Fe que puede estar asociada con la síntesis de sideróforos y que no existió relación entre el incremento en la absorción de Fe con la de B en plantas inoculadas con ambas cepas.

PALABRAS CLAVE

Ácido indolacético; Bioestimulante microbiano; BPCV; Inoculación.

INTRODUCCIÓN

Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) son un grupo diverso de bacterias que son caracterizadas por beneficiar el crecimiento de las plantas a través de mecanismos directos e indirectos, entre los cuales se incluye el incremento en la disponibilidad de nutrientes, la síntesis de hormonas vegetales y el control de microorganismos fitopatógenos. La mejora del estatus nutrimental de las plantas puede ser regulada por medio de la transformación de nutrientes de formas no asequibles a formas disponibles (Glick, 2020), o por medio de la regulación de los sistemas de transporte de nutrientes que se encuentran en la membrana plasmática de las células epidermales de la raíz, que son los encargados de absorber nutrientes de la solución del suelo (Calvo *et al.*, 2019).

El Fe y el B son dos elementos esenciales para el crecimiento de las plantas y la absorción de ambos está relacionada y responde a su concentración en el suelo. Por una parte, la absorción de Fe incrementa a medida que incrementa la concentración de B; sin embargo, a niveles excesivos de B ejercen un efecto negativo en la absorción de Fe. Por otra parte, el B también participa en el transporte de Fe a larga distancia desde las raíces hasta las hojas (Long y Peng, 2023).

La etapa de plántula es una etapa crucial que determina el éxito de adaptación de los cultivos después de trasplante y su rendimiento (Riikonen y Luoranen, 2018). Las BPCV se han estudiado principalmente como bioestimulantes para incrementar la concentración nutrimental de los cultivos en estado vegetativo, principalmente sobre macronutrientes como el N, P o K; no obstante, en etapa de plántula son pocos los estudios que se han realizado. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación consistió en evaluar la influencia de BPCV productoras de AIA y sideróforos asociadas a la rizosfera de *Dsitichlis spicata* L. en la concentración foliar de Fe y B en tomate en etapa de plántula.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de material vegetal y diseño experimental

Para la obtención del material vegetal, semillas de tomate cv. Río grande se germinaron en almácigos de poliestireno de 50 cavidades que contenían como sustrato una mezcla de 80 % turba (PROMIX FLX®) y 20 % vermiculita (v/v), previamente esterilizada a 120 °C y 15 PSI dos veces durante 3 h (con un día de reposo entre esterilización). Las semillas se regaron con agua destilada estéril hasta el comienzo del desarrollo de la segunda hoja verdadera. Las plantas se homogeneizaron en función de la altura y se implementó un diseño experimental unifactorial completamente al azar con siete tratamientos y cuatro repeticiones, en donde una unidad experimental y una repetición consistió en una sección de seis cavidades (seis plántulas) del almácigo recortado. Los tratamientos consistieron en la inoculación individual con cinco cepas productoras de AIA y de sideróforos previamente aisladas de *D. spicata* L., la cepa de referencia *Arthrobacter pokkali* JLB4 productora de AIA y previamente aislada de tomate (Daza-Martínez *et al.*, 2022), y un testigo sin inoculación bacteriana.

Aplicación de tratamientos

Al comienzo del desarrollo de la segunda hoja verdadera, cada una de las plántulas se inoculó con 2 mL de inóculo resuspendido en agua destilada estéril y ajustado a una absorbancia de 0.5 (O. D. 600 nm). Posteriormente, las plantas se nutrieron de manera intercalada, alternando entre un día con agua destilada estéril (ADE) y un día con solución nutritiva Steiner 25 %, pH 5.8 (Steiner, 1984).

Evaluación nutrimental y análisis de datos

Después de 35 d de inoculación se determinó la concentración nutrimental de B y Fe, por medio de una digestión en una mezcla ácida de HNO₃ y HClO₄ en una proporción de 2:1 (v/v) a 160 °C. La concentración de ambos nutrientes se obtuvo en un espectrofotómetro de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (Varian ICP OES 725-ES; Mulgrave, Australia). Los datos se sometieron al análisis de varianza (ANOVA, $p \leq 0.05$) y a la prueba de comparación de medias (Tukey, $p \leq 0.05$) con el programa R versión 4.1.1 (R Core Team, 2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las bacterias ejercieron una respuesta diferencial en la concentración foliar de Fe y B en las plantas de tomate. No hubo diferencia estadística significativa en la concentración de ambos micronutrientes en las plantas inoculadas con la cepa JLB4, RD2, RD26 y RD27 en comparación con las plantas sin inoculación (Tukey, $p \leq 0.05$). La inoculación con la cepa RD17 incrementó la concentración de Fe en 23.58 % (Figura 1A) y la cepa RD4 la concentración de B en 12.34 % (Figura 1B).

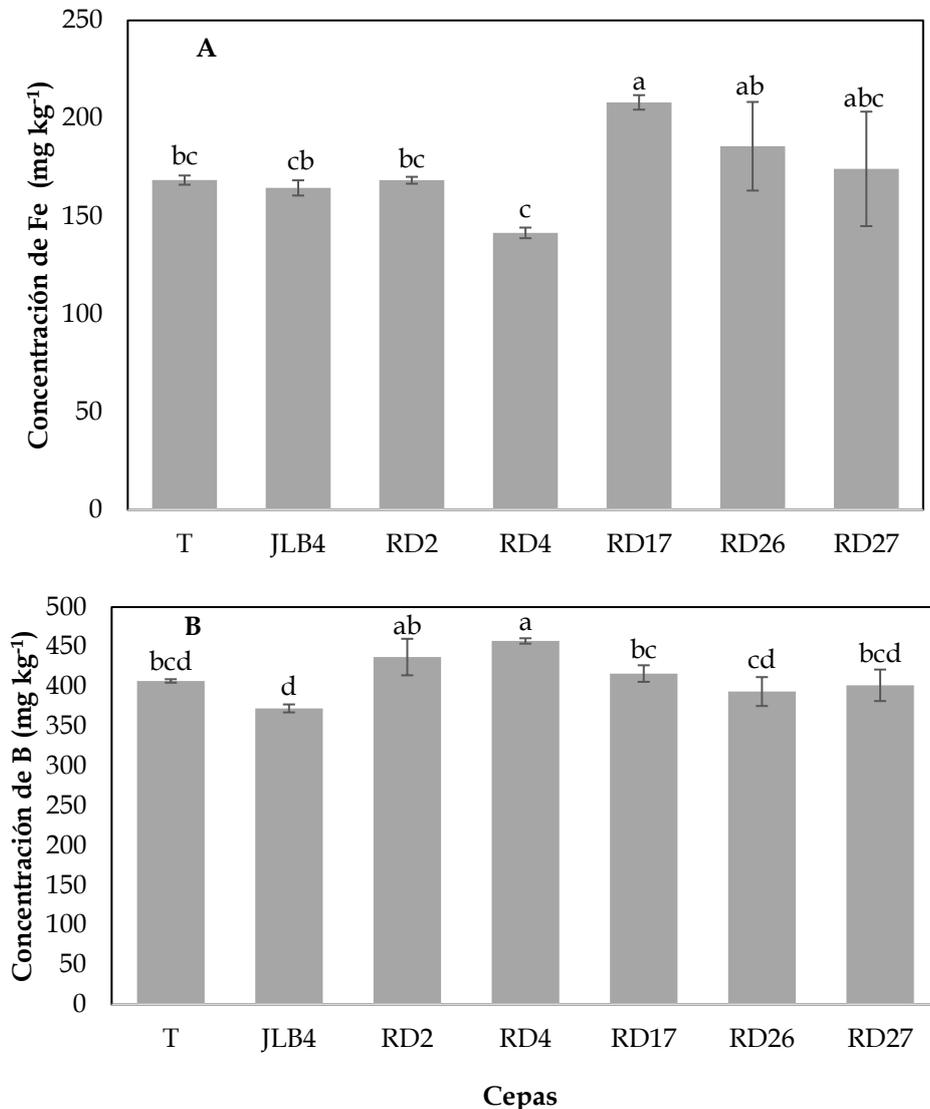


Figura 1. Efecto de la inoculación en la concentración de Fe (A) y B (B) en plantas de tomate. Media \pm DE con letra distinta encima de la barra indica diferencia estadística significativa entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$), $n=4$.

De acuerdo con estos resultados, no existió una relación entre la absorción de Fe y B bajo la influencia de la inoculación con las cepas RD17 y RD4, respectivamente, lo que difiere con lo previamente informado, que la absorción de Fe depende de las concentraciones de B en solución y que el B interfiere con el transporte a larga distancia de Fe, desde las raíces hasta el vástago (Long y Peng, 2023). El incremento en la concentración de Fe por la inoculación bacteriana con RD17 puede estar asociado a la capacidad que tienen algunas bacterias rizosféricas para promover los mecanismos de

absorción tanto en plantas con estrategias I o II. Las bacterias capaces de sintetizar sideróforos capturan el Fe^{+3} y facilitan su absorción por las raíces (Delaporte-Quintana *et al.*, 2020). Además, las BPCV también pueden promover la expresión del gen de la enzima reductasa férrica (FRO), que se ubica en la membrana plasmática de las células epidérmicas en la raíz y que actúa sobre el Fe^{+3} y lo reduce a Fe^{+2} , lo cual mejora su disponibilidad para su posterior absorción por las raíces. El incremento de la reducción de este elemento facilita el ingreso de Fe^{+2} por medio de IRT1, un transportador que se encarga de la absorción de Fe^{+2} y que también incrementa su actividad bajo la inoculación de BPCV (Zhou *et al.*, 2016). La reducción de Fe^{+3} en la membrana plasmática aplica para el Fe que se encuentra en forma libre +3 o en forma quelatada, lo que permite que las bacterias promuevan tanto la absorción de Fe libre o de formas estables quelatadas en el suelo (Sterckeman *et al.*, 2021). Por otra parte, la absorción de B también es modificada por la inoculación bacteriana. Previamente se ha informado que la inoculación con *Bacillus pumillus* mejora la absorción de B en plantas de colza, en un proceso dependiente de las concentraciones de B en solución, de la capacidad de colonización radical por las bacterias y la fertilización con P (Masood *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES

La cepa RD17 de la rizosfera de *Dsitichlis spicata* L. promueve la absorción de Fe y la cepa RD4 la absorción de B en tomate en etapa de plántula. Además, la absorción de Fe impulsada por la cepa RD17 no está asociada a la absorción de B. La síntesis de sideróforos por la cepa RD17 puede estar asociada a la mayor absorción de Fe en las plantas.

BIBLIOGRAFÍA

- Calvo, P., Zebelo, S., McNear, D., Kloepper, J., & Fadamiro, H. (2019). Plant growth-promoting rhizobacteria induce changes in *Arabidopsis thaliana* gene expression of nitrate and ammonium uptake genes. *Journal of Plant Interactions*, 14(1), 224-231. <https://doi.org/10.1080/17429145.2019.1602887>.
- Daza-Martínez, Y. M., Almaraz-Suarez, J. J., Rodríguez-Mendoza, M. N., Angulo-Castro, A., & Silva-Rojas, H. V. (2022). Aislamiento de rizobacterias asociadas a tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y su potencial para promover crecimiento vegetal. *Información Técnica Económica Agraria*, 118(3). <http://doi.org/10.12706/itea.2021.036>.
- Delaporte-Quintana, P., Lovaisa, N. C., Rapisarda, V. A., & Pedraza, R. O. (2020). The plant growth promoting bacteria *Gluconacetobacter diazotrophicus* and *Azospirillum brasilense* contribute to the iron nutrition of strawberry plants through siderophores production. *Plant Growth Regulation*, 91, 185-199. <https://doi.org/10.1007/s10725-020-00598-0>.
- Glick, B. R., & Glick, B. R. (2020). Introduction to plant growth-promoting bacteria. *Beneficial Plant-Bacterial Interactions*, 1-37. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44368-9_1.
- Long, Y., & Peng, J. (2023). Interaction between boron and other elements in plants. *Genes*, 14(1), 130. Doi: <https://doi.org/10.3390/genes14010130>.

- Masood, S., Zhao, X. Q., & Shen, R. F. (2019). *Bacillus pumilus* increases boron uptake and inhibits rapeseed growth under boron supply irrespective of phosphorus fertilization. *AoB Plants*, 11(4), plz036. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plz036>.
- R core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.
- Riikonen, J., & Luoranen, J. (2018). Seedling production and the field performance of seedlings. *Forests*, 9(12), 740. <https://doi.org/10.3390/f9120740>.
- Steiner A. A. (1984) The Universal Nutrient Solution; Proceedings of the 6th International Congress on Soilless Culture; Lunteren, The Netherlands. 29 April-5 May 1984; Wageningen, The Netherlands: I.S.O.S.C.; 1984. pp. 633-64
- Sterckeman, T., Moyne, C., & Le, T. D. (2021). A modelling study to evaluate the mechanisms of root iron uptake by *Noccaea caerulea*. *Plant and Soil*, 463, 125-144. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-04873-5>.
- Zhou, C., Guo, J., Zhu, L., Xiao, X., Xie, Y., Zhu, J., Ma, Z., & Wang, J. (2016). *Paenibacillus polymyxa* BFKC01 enhances plant iron absorption via improved root systems and activated iron acquisition mechanisms. *Plant Physiology and Biochemistry*, 105, 162-173. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.04.025>.

***Streptomyces* sp. COMO PROMOTOR DEL DESARROLLO VEGETATIVO AÉREO EN PLÁNTULAS DE CHILTEPÍN SILVESTRE**

Evelyn Berenice Sanchez-Chávez¹; Loreto Robles-Hernández¹; Ana Cecilia González-Franco¹; Brenda I. Guerrero^{1*}

¹Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua. Ciudad Universitaria S/N Campus 1, Chihuahua, Chih., 31310, México. *brguerrero@uach.mx

RESUMEN

El chiltepín es una planta silvestre que se ha adaptado bien en la sierra de Chihuahua, tiene un gran potencial para su domesticación y la producción de sus frutos. Hoy en día, las prácticas de agricultura orgánica, que incluyen el uso de microorganismos benéficos como los estreptomicetos, promueven una producción sostenible en suelos erosionados y pueden ayudar a reducir el uso de productos químicos de uso agrícola. Por ello, en este trabajo, se inoculó *Streptomyces* sp. PRIO41 en plántulas del fenotipo PEL de chiltepín para evaluar su efecto en el crecimiento aéreo. Los resultados mostraron que la inoculación mejoró significativamente la altura, el peso fresco y seco de las plántulas, destacando el potencial de este microorganismo como biofertilizante para promover el crecimiento y desarrollo en plantas de chiltepín.

PALABRAS CLAVE

Biofertilizantes; *Capsicum annuum* var. *Glabriusculum*; Estreptomicetos.

INTRODUCCIÓN

El chiltepín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser y Pickersgill), es un cultivo silvestre que se puede encontrar en las zonas de la sierra de Chihuahua. Su fruto proviene de cosechas silvestres, por lo tanto, existe un interés potencial en su domesticación y explotación agrícola (Hernández-Verdugo, 2012; Robles-Parra & Garza-Lagler, 2015).

En la actualidad, se han desarrollado diversas prácticas de agricultura orgánica que promueven una producción y un manejo de suelos sostenible. Entre estas prácticas se encuentra el uso de microorganismos benéficos, que pueden apoyar el crecimiento de las plantas y contribuir a la estabilidad de los micro-ecosistemas en el suelo y el medio ambiente, ya que su aplicación puede reducir el uso de agroquímicos (Orouji *et al.*, 2023). Según Shah *et al.* (2021), las bacterias benéficas pueden facilitar el crecimiento y desarrollo de las plantas de forma directa mediante diversos mecanismos, por ejemplo: al mejorar la absorción de agua y nutrientes por las raíces o al regular sus niveles hormonales. Además, algunas bacterias benéficas, como las del género *Streptomyces*, pueden estimular el crecimiento vegetal indirectamente al controlar patógenos (Robles-Hernández *et al.*, 2015; Shah *et al.*, 2021; Orouji *et al.*, 2023).

Se ha demostrado que los microorganismos benéficos causan un impacto positivo en diferentes cultivos de interés agrícola (Robles-Hernández *et al.*, 2015; Shah *et al.* 2021); sin embargo, la aplicación de biofertilizantes en chiltepín ha sido escasamente explorada, por lo que en la presente investigación se estableció un experimento para evaluar el efecto de la aplicación de *Streptomyces* sp. en la promoción del crecimiento aéreo de un fenotipo de chiltepín silvestre.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó durante el periodo de junio a agosto de 2024, se utilizaron semillas de chiltepín silvestre del fenotipo PEL, que se obtuvieron de frutos maduros y deshidratados provenientes de plantas recolectadas en Batopilas, Chihuahua. Las semillas se esterilizaron con soluciones de etanol (70%) y cloro (5% y 3%). Posteriormente, se realizaron tres enjuagues con agua destilada estéril, y se colocaron en cajas Petri que contenían un papel filtro estéril previamente humedecido. Este procedimiento se realizó dentro de una campana de flujo laminar para asegurar las condiciones de asepsia (Telstar AV-30/70). Para preparar el inóculo, se obtuvieron colonias frescas de *Streptomyces* sp. PRIO41 crecidas en PDA. Las colonias se transfirieron a caldo de papa dextrosa casero, se incubaron durante 4 días. La biomasa se recuperó por centrifugación a 4°C (Eppendorf Centrifuge 5430 R), y se resuspendió en buffer de fosfatos. Esta solución se utilizó para inocular peat moss previamente esterilizado, a una concentración final de 2.7×10^7 CFU/g. Para el experimento se trabajó con dos tratamientos: uno con sustrato sin inoculación bacteriana que fungió como control (Control) y otro con *Streptomyces* sp. PRIO41 (PRIO). El ensayo se estableció bajo un diseño completamente al azar con 18 repeticiones, se llevó a cabo en charolas de germinación cubiertas en contenedores de plástico a 23°C con un fotoperiodo de 16 h luz y 8 h oscuridad. Después de 30 días, se midieron la altura, el número de hojas, el peso fresco y seco de las plántulas para su análisis.

Los análisis estadísticos se realizaron en el entorno RStudio v.1.2.5033 desarrollado para la consola R v.3.6.3. Se utilizó un ANOVA de una vía, pero a diferencia del tradicional se optó por uno más robusto, acompañado de la prueba t de Yuen para tomar en cuenta la posible presencia de incumplimientos de supuestos estadísticos. Para ello se utilizaron las funciones integradas en el paquete 'ggstatsplot' v.0.11.1 tanto en el análisis como en la creación de figuras (Patil, 2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las plántulas inoculadas con *Streptomyces* sp. PRIO41 desarrollaron un mayor crecimiento aéreo respecto a las plántulas del tratamiento control que no incluía inoculación bacteriana (Figura 1).

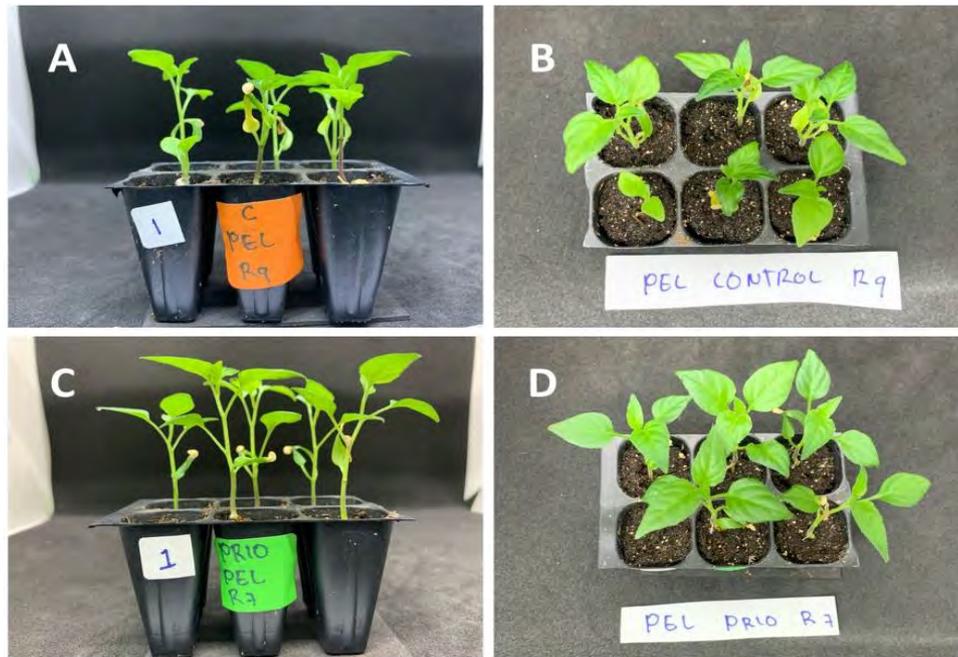


Figura 1. Plantas de chiltepín fenotipo PEL a los 30 días después de la aplicación microbiana. Tratamientos: Control, sin aplicación microbiana (1A y 1B); PRIO, *Streptomyces* sp. PRIO41 (1C y 1D).

A los 30 días después de la inoculación, las plantas inoculadas con *Streptomyces* sp. PRIO41 alcanzaron una altura de 52.91 cm, lo que representa un incremento del 9.31% con respecto a las plantas del tratamiento control que obtuvieron una altura de 48.41 cm (Figura 2, $p < 0.05$).

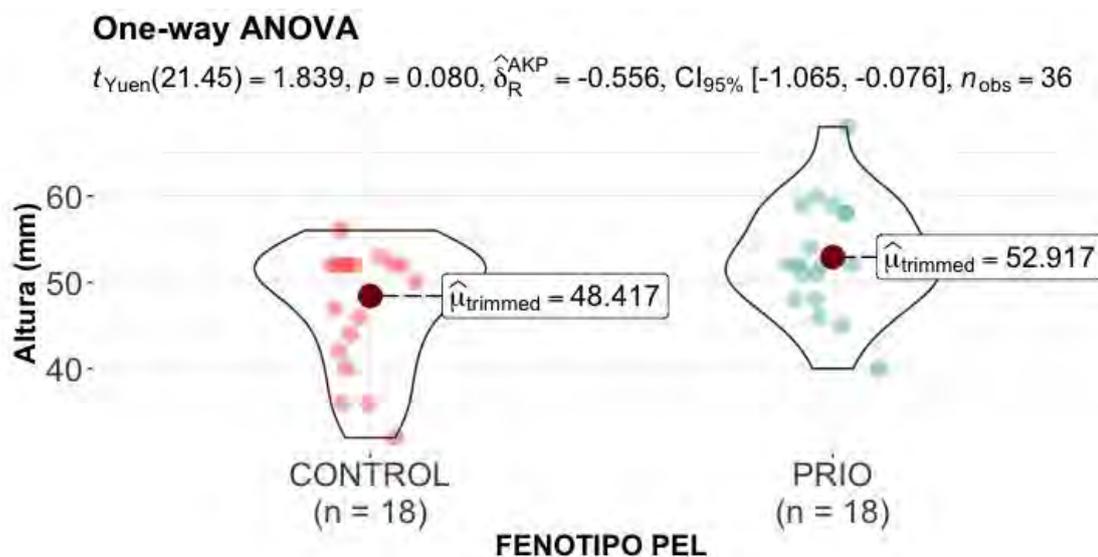


Figura 2. Altura plantas de chiltepín fenotipo PEL a los 30 días después de la aplicación microbiana. El punto rojo representa la media ($n=18$) para cada tratamiento. Tratamientos: Control, sin aplicación microbiana; PRIO, *Streptomyces* sp. PRIO41.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Respecto al número de hojas, las plantas de chiltepín inoculadas con *Streptomyces* sp. PRIO41 alcanzaron una media de 5 hojas, mientras que el control obtuvo una media de 4.83 hojas (Figura 3, $p = 0.335$).

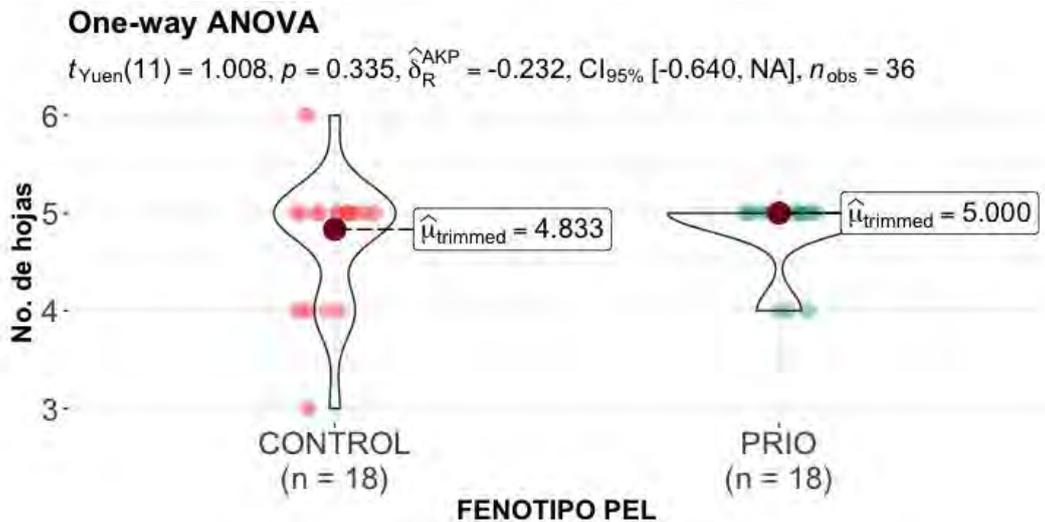


Figura 3. Número de hojas de plantas de chiltepín fenotipo PEL a los 30 días después de la aplicación microbiana. El punto rojo representa la media ($n=18$) en cada tratamiento. Tratamientos: Control, sin aplicación microbiana; PRIO, *Streptomyces* sp. PRIO41.

Por otro lado, las plantas inoculadas con *Streptomyces* sp. PRIO41 obtuvieron un peso fresco aéreo de 0.146 g mientras que el tratamiento control pesó 0.123 g (Figura 4, $p < 0.05$).

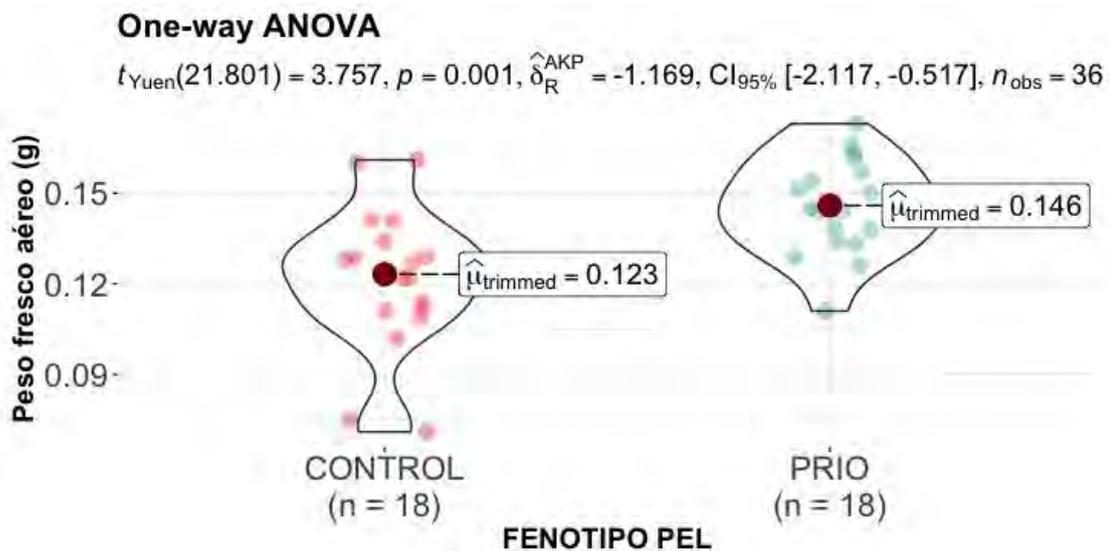


Figura 4. Peso fresco del crecimiento aéreo de plantas de chiltepín fenotipo PEL a los 30 días después de inoculación. El punto rojo representa la media ($n=18$) en cada tratamiento. Tratamientos: Control, sin aplicación microbiana; PRIO, *Streptomyces* sp. PRIO41.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Finalmente, las plantas inoculadas con *Streptomyces* sp. PRIO41 alcanzaron un peso seco aéreo de 0.016 g, lo que representa un incremento del 23% con respecto a las plantas del tratamiento control que obtuvieron un peso seco aéreo de 0.013 g (Figura 5, $p < 0.05$).

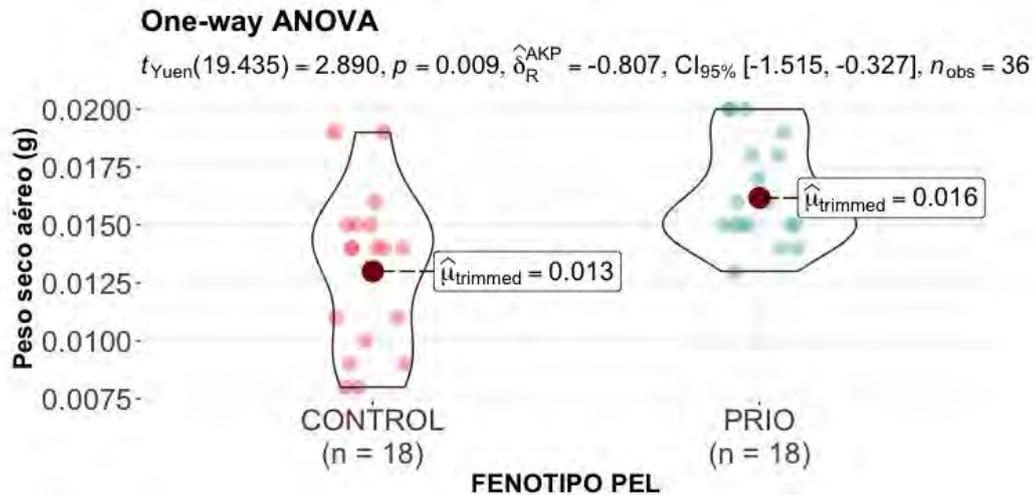


Figura 5. Peso seco del crecimiento aéreo de plantas de chiltepín fenotipo PEL a los 30 días después de la aplicación microbiana. El punto rojo representa la media (n=18) en cada tratamiento. Tratamientos: Control, sin aplicación microbiana; PRIO, *Streptomyces* sp. PRIO41.

La promoción de la altura, el peso fresco aéreo y el peso seco aéreo de plantas de chiltepín con la aplicación de *Streptomyces* sp. PRIO41 es similar a lo reportado por Bashan & De-Bashan (2005) quienes observaron un incremento en la biomasa de las raíces de plantas de tomate y trigo inoculadas con las rizobacterias benéficas *Azospirillum brasilense* Cd. y *A. brasilense* sp245. Sadeghi *et al.* (2012); también reportaron incrementos en el peso seco de raíces de trigo inoculadas con *Streptomyces*, respecto a las plantas sin inocular. La presencia de raíces fuertes puede jugar un rol importante en el mantenimiento y la producción de los cultivos, lo cual puede conseguirse con la aplicación de rizobacterias benéficas como el estreptomiceto usado en este estudio (Orouji *et al.*, 2023). A pesar de que el uso de bioinoculantes se considera como una práctica amigable con el ambiente, el desarrollo de productos basados en *Streptomyces* spp. es muy bajo comparado con la amplia gama de productos basados en otras rizobacterias (Shah *et al.*, 2021; Sadeghi *et al.*, 2012).

CONCLUSIONES

La inoculación con *Streptomyces* sp. PRIO41 mostró un impacto positivo en la altura, peso fresco y seco de las plántulas, aunque el número de hojas no presentó diferencias significativas. Estos resultados destacan el potencial de este estreptomiceto para promover el desarrollo y crecimiento de plántulas de chiltepín establecidas en semillero.

BIBLIOGRAFÍA

- Bashan, Y., & de-Bashan, L. (2005). Fresh-weight measurements of roots provide inaccurate estimates of the effects of plant growth-promoting bacteria on root growth: a critical examination. *Soil Biology & Biochemistry*, 37, 1795–1804.
- Hernández-Verdugo, S., Porras, F., Pacheco-Olvera, A., López-España, R. G., Villarreal-Romero, M., Parra-Terraza, S., & Osuna Enciso, T. (2012). Caracterización y variación ecogeográfica de poblaciones de chile (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) silvestre del noroeste de México. *Polibotánica*, (33), 175-191.
- Orouji, E., Fathi, M., Sadeghi, A., Gharanjik, S., and Koobaz, P. (2023). Specific *Streptomyces* strain enhances the growth, defensive mechanism, and fruit quality of cucumber by minimizing its fertilizer consumption. *BMC Plant Biology*, 23, 246.
- Patil, I. (2021). Visualizations with statistical details: The 'ggstatsplot' approach. *Journal of Open Source Software*, 6(61), 3167.
- Robles-Parra, J. M., & Garza-Lagler, M. C. (2015). Restricciones de mercado y condicionantes a la organización en la comercialización de chiltepín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*) en el mercado norteamericano. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 36(1345-2016-104379), 1230-1240.
- Robles-Hernández, L., Hernández-Huerta, J., González-Franco, A. C., Hernández-Rodríguez, O. A., Núñez-Barrios, A., & Pérez-Leal, R. (2015). *Streptomyces* PRIO41 como promotor de crecimiento en plantas de chile jalapeño y agente de control biológico de *Fusarium*. *Phyton*, 84(2), 253-261.
- Sadeghi, A., Karimi, E., Abaszadeh, P., Ghorbani, M., Dalvand, Y., & Askari, H. (2012). Plant growth promoting activity of an auxin and siderophore producing isolate of *Streptomyces* under saline soil conditions. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28, 1503–1509.
- Shah, A., Nazari, M., Antar, M., Msimbira, L. A., Naamala, J., Lyu, D., Rabileh, M., Zajonc, J., & Smith, D. L. (2021). PGPR in agriculture: A sustainable approach to increasing climate change resilience. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 667546.

ESTABILIZACIÓN DE AGREGADOS POR HONGOS EN DOS COMUNIDADES DE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA EN JALPAN DE SERRA, QUERÉTARO

Yesenia Villegas Zuppa¹; Elizabeth Fuentes Romero²; Norma Eugenia García Calderón²; Tania González Vargas²

¹Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Juriquilla UNAM, 76230, Querétaro, México. yeseni4.vz@comunidad.unam.mx; ² Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación FC UNAM, 76230, Querétaro, México.

RESUMEN

La estructura del suelo está influida por procesos y factores físicos, biológicos y químicos que controlan múltiples servicios ecosistémicos; ciclos biogeoquímicos, almacén de carbono, ciclo hidrológico y biodiversidad. Los hongos están estrechamente involucrados en la dinámica estructural del suelo; infieren en una variedad de escalas a través de la formación, estabilización y desintegración de los agregados y en la descomposición de la materia orgánica del suelo. Sin embargo, estos mecanismos pueden ser alterados por procesos de degradación del suelo y por su alta susceptibilidad al manejo, sobre todo en suelos del Bosque Mesófilo de Montaña (BMM). Por lo anterior, dos comunidades con diferente impacto en el BMM fueron seleccionadas; BMMS y BMMSL en cada una se realizó la separación por tamaños; macros (>2000 μm) y mesoagregados (250-2000 μm). Se determinando la proporción (%) por tamaño, además de la biomasa fúngica y longitud de hifas en tamaño de agregados. Los macroagregados en BMMSL fue la fracción dominante del suelo y mostró diferencia estadística significativa con respecto al BMMS. La biomasa fúngica y longitud de hifas no mostraron diferencia estadística bajo ningún manejo y tamaño de agregado, lo cual indica una posible resiliencia en el suelo del BMM ante la perturbación. Sin embargo, la diferencia en el tamaño de agregados indica que existen otros mecanismos para su estabilización, como el porcentaje de materia orgánica alta en estos sitios. Esta investigación indica la necesidad de evaluar otros parámetros relacionados con los factores de estabilización en la estructura del suelo de estas comunidades.

PALABRAS CLAVE

Biomasa; Degradación; Estructura; Hifas; Manejo.

INTRODUCCIÓN

Los hongos cumplen servicios ecosistémicos en la regulación del carbono y los ciclos biogeoquímicos, influyen en la estructura del suelo debido a su hábito de crecimiento filamentoso ya que se encargan de unir partículas en los agregados, capacidad para descomponer la materia orgánica del suelo manteniendo la estabilidad estructural (Ritz y Young, 2004), además se ha visto que intervienen en la desintegración de los agregados a partir de la longevidad de las hifas y creación de bioporos (Lehmann & Rilling, 2015).

En este sentido, la actividad biológica junto con los procesos físicos y químicos, influyen en el grado de desarrollo, tamaño y forma de los agregados (Bullock et al., 1985; Brady et al., 2008). Dividiéndose en macroagregados ($>2000 \mu\text{m}$), mesoagregados ($2000-250 \mu\text{m}$) y microagregados ($250-53 \mu\text{m}$).

Estudios previos del sitio Bustamante (2022) indicaron una relación C:N >30 , dado el bajo contenido de nitrógeno y alto contenido de compuestos orgánicos recalcitrantes, se asocia con la presencia de fenoles y lignina resistentes a la transformación por parte de artrópodos (Goma & Bernhard, 2006). A pesar de la recalcitrancia se ha documentado que los hongos saprobios poseen actividad enzimática que permiten la degradación de los residuos y de la materia orgánica del suelo (MOS). Prakash *et al.*, (2015) consideran la influencia de la complejidad de los compuestos orgánicos con la riqueza y diversidad de estos organismos.

En Querétaro, los BMM se encuentran fuertemente impactados, lo que ha reducido su área de distribución y estado sucesional conllevando a la dominancia de bosques secundarios con una baja diversidad y biomasa aérea, resultado de la perturbación humana debido a extracción selectiva de árboles (Barbosa et al., 2014)

Actualmente los estudios sobre la agregación del suelo han sido solo del 9% respecto a los hongos saprobios (Lehmann & Rilling, 2015). Por lo tanto, la comprensión del papel de este grupo funcional y su relación con los componentes del suelo han sido imperceptibles, este trabajo evidenció el papel de los hongos saprobios en la agregación del suelo y de sus componentes en el mecanismo de estabilización en dos condiciones ecológicas del BMM en Jalpan de Serra, Querétaro.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio. En Valle Verde, Jalpan de Serra se estudiaron dos comunidades vegetales: 1) BMM Secundario (BMMS) localizado en $21^{\circ}32'18.00''\text{N}$, $99^{\circ}10'3.19''\text{O}$ y 2) BMM Secundario con las coordenadas $21^{\circ}31'18.30''\text{N}$ y $99^{\circ}10'12.00''\text{O}$ para el de Liquidámbur (BMMSL) pertenecientes a la Sierra Madre Oriental. El clima templado subhúmedo, temperatura media anual de 18°C (García, 1998) y precipitación media anual de 1000 y 1200 mm al año. La diversidad edáfica se compone de Phaeozems, Umbrisols y Luvisols (INEGI 2014; Krasilnikov *et al.*, 2016). El BMM se encuentra principalmente dominado por las especies arbóreas como *Liquidambar styraciflua*, *Quercus Affinis*, *Q. germana*, *Q. afin xalapensis*, *Pricramnia antidesma*, *CinnamomuN effusum*, *Lonchocarpus orizabensis* (Cartujano et al., 2002; Olmos en elaboración). Las condiciones edáficas que presentan estos sitios son: alto contenido de arcillas, carbono orgánico $>1\%$ y C:N >30 , pH de 5.9 a 7.4 y agregados muy estables (Bobadilla, 2022; Bustamante, 2022; Olmos en elaboración). El muestreo de suelo fue sistemático al azar con tres puntos en cada comunidad, se consideró una profundidad de 20 cm para la toma de muestras que se colocaron en bolsas para después preservarlas en una hielera, y trasladarlas al laboratorio, manteniéndose a -2°C .

Proporción de agregados. La separación del tamaño de los agregados fue adaptada de Elliott (1986). Se tomó una submuestra de 10 g (secada al aire y humedecida por capilaridad) de tamaños >2000 y se determinó la proporción de agregados estables al agua en mallas de 2000, 250 y 53 μm . Todas las fracciones resultantes se secaron al horno (105°C) por 24 horas y se pesaron.

Aislamiento de hongos. La técnica fue de cultivo directo en medio Agar Czapek-Dox acorde (Parkinson et al., 1971; Johnson & Curl, 1972) en 3g de suelo de los macroagregados (>250 μm) y mesoagregados (250-2000 μm). Los cultivos se incubaron a 25°C por 14 días y se observó el crecimiento de colonias fúngicas. Para posteriormente extraer la biomasa fúngica mediante la diferencia de peso seco de las cajas Petri final y el peso inicial (Arnáiz-Franco et al., 2000).

Longitud de hifas. La extracción y medición de las hifas se realizó utilizando el método Sukarno et al. (1993) adaptada con azul brillante N°1 de acuerdo con la técnica de tinción de estructuras fúngicas (González *et al.*, 2011). La longitud se determinó con un estereoscopio con un aumento de 160x, en un Zeiss Standard con el software de la cámara OLYMPUS DP21.

Análisis estadístico. La prueba de Wilcoxon se utilizó para determinar si hay diferencias significativas entre los sitios BMMS y BMMSL respecto a la biomasa y proporción de agregados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico de la proporción de agregados entre las comunidades reveló diferencias significativas ($p = 0.002$) entre todos los grupos y principalmente entre macroagregados (Figura 1a). En cuanto a la biomasa, no se encontraron diferencias significativas (Figura 1b). Para la longitud de hifas, las medias obtenidas fueron similares, por tanto, no se encontraron diferencias significativas (Figura 1c).

Los hongos filamentosos, en particular los saprobios, tienen efectos positivos sobre la agregación del suelo (Young y Ritz, 2004). Se ha visto que un hongo con un crecimiento robusto conecta las partículas del suelo de manera más efectiva mediante sus hifas, en el estudio realizado por Lehmann *et al.*, (2020) la cantidad total de hifas producidas y la biomasa no resultaron ser variables significativas para predecir los efectos en la agregación del suelo como lo fue en este trabajo, en el trabajo de Piotrowski *et al.* (2004) se destaca que la densidad local de hifas podría ser mucho más relevante que la producción total de hifas. No obstante, aún no se comprenden del todo las propiedades o características que determinan el efecto positivo global de los hongos en la agregación del suelo.

Aunado a esto, se ha documentado que el efecto de las bacterias es más importante en los macro y micro agregados, mientras que los hongos participan en la macroagregación. El metaanálisis de Lehmann & Rillig (2017) reveló que las combinaciones de biota del suelo (por ejemplo, mezclas de bacterias y hongos) dan como resultado agregación del suelo significativamente mayor.

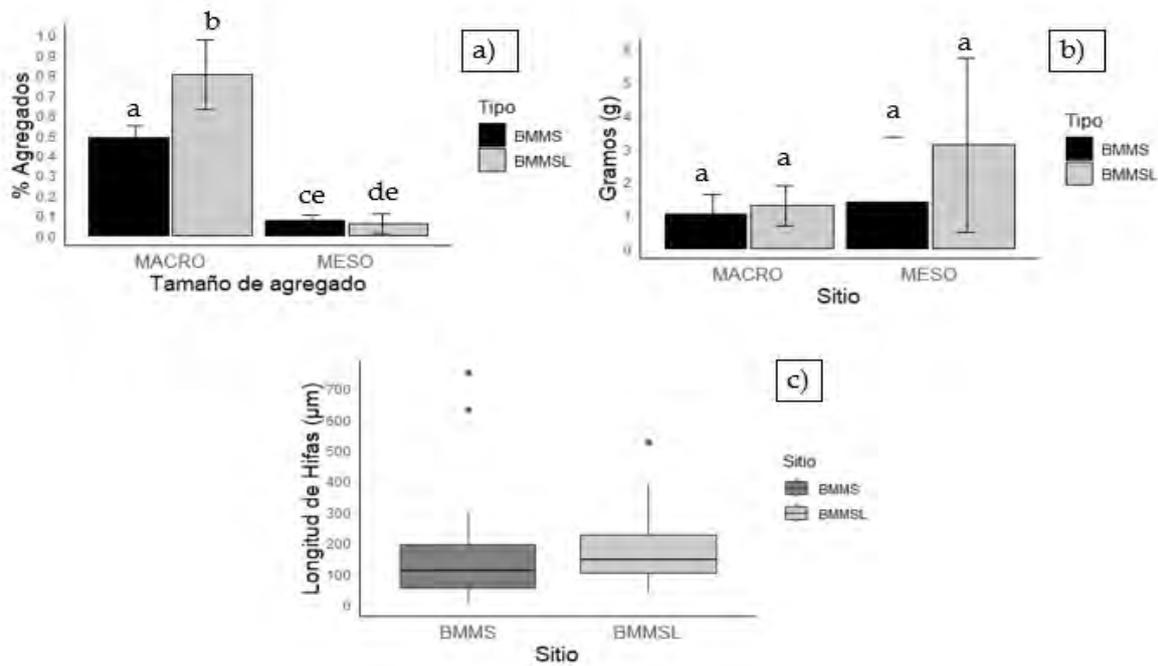


Figura 1. a) Proporción de macro (>250 µm) y mesoagregados (250-2000 µm), b) Biomasa y c) Longitud de hifas. Letras diferentes significan que hay diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

Es por ello, que es necesario considerar otros factores presentes en la estabilización de agregados como lo es el carbono orgánico lábil, interacciones órgano-minerales, unión de raíces y MOS (Yudina & Kuzyakov, 2023). Por lo tanto, los estudios futuros deberán considerar las combinaciones de especies al evaluar las contribuciones en la agregación del suelo. Lehmann *et al.*, (2020) expresan y este trabajo concuerda con la necesidad de la integración distintos componentes para poder sacar conclusiones ampliamente generalizables sobre los rasgos biológicos, pero principalmente fúngicos en la agregación del suelo.

CONCLUSIONES

La resiliencia del suelo ante la perturbación en ambas comunidades de BMM se ha relacionado con la dominancia de macro y meso agregados a pesar de su manejo, ganadería y extracción selectiva de madera. La biomasa y longitud de hifas en ambos sitios indica la resiliencia del suelo ante la perturbación, aunque su participación en la agregación no es muy clara. Las hifas fúngicas desempeñan un papel crucial al producir una matriz extracelular que actúa como un aglutinante natural, promoviendo la formación de macroagregados grandes y estables. La intervención de otros mecanismos biológicos, físicos y químicos deben ser integrados para obtener una comprensión mayor en la formación, estabilidad y desintegración de agregados.

AGRADECIMIENTOS

A los proyectos PAPIIT IN121320 y UNAM-115621 y por el apoyo del Sr. Noé de la comunidad de Valle Verde, Jalpan de Serra, Qro.

BIBLIOGRAFÍA

- Barbosa, J. M., Broadbent, E. N., & Bitencourt, M. D. (2014). Remote sensing of aboveground biomass in tropical secondary forests: A review. *International Journal of Forestry Research* (1), 715796.
- Bobadilla Ballesteros, M. D., & García Calderón, N. E. (2022). Los agregados del suelo y su relación con el carbono orgánico en un bosque mesófilo de montaña en Jalpan, Querétaro.
- Bustamante Martínez, A. M., & García Calderón, N. E. (2022). Almacén de carbono y sus procesos de estabilización en suelos de bosque mesófilo de montaña en la Sierra Gorda de Querétaro.
- González, M. S., Diamont, D., & Gutiérrez, B. (2011). Técnica de tinción de estructuras fúngicas con colorantes vegetales como una alternativa no contaminante. *Bioagro*, 23(1), 65-68.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2014). Extensión y distribución de Bosques nublados (S6).
- Krasilnikov P, García-Calderon NR, Pogosyan L. (2016) Polygenetic soils of montane cloud forest in Sierra Gorda, Mexico. *Geoderma Reg.*; 7 (4): 366-375. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2016.11.001>
- Lehmann, A., & Rillig, M. C. (2015). Understanding mechanisms of soil biota involvement in soil aggregation: A way forward with saprobic fungi?. *Soil Biology and Biochemistry*, 88, 298-302.
- Lehmann, A., Zheng, W., & Rillig, M. C. (2017). Soil biota contributions to soil aggregation. *Nature ecology & evolution*, 1(12), 1828-1835.
- Lehmann, A., Zheng, W., Ryo, M., Soutschek, K., Roy, J., Rongstock, R., ... & Rillig, M. C. (2020). Fungal traits important for soil aggregation. *Frontiers in microbiology*, 10, 2904.
- Olmos Gonzales Nadia Melissa. (En elaboración). Almacén y estabilización de carbono en una comunidad del Bosque Mesófilo de Montaña y un Pastizal, Querétaro.
- Prakash CP, Thirumalai E, Rajulu MG, Thirunavukkarasu N, Suryanarayanan TS (2015) Ecology and diversity of leaf litter fungi during early-stage decomposition in a seasonally dry tropical forest. *Fungal Ecology* 17: 103-113.
- Ritz, K., Young, I.M., (2004). Interactions between soil structure and fungi. *Mycologist* 18, 52e59
- Sukarno, N., Smith, S. E., and Scott, E. S. (1993). The effect of fungicides on vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. I. The effects on vesicular arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth. *New Phytologist* 125, 139-47.
- Yudina, A., & Kuzyakov, Y. (2023). Dual nature of soil structure: The unity of aggregates and pores. *Geoderma*, 434, 116478.

RESPUESTA DEL SISTEMA RADICULAR DE CHILTEPÍN SILVESTRE A *Streptomyces* sp. PRIO41

Miguel A. Levario-Orona; Brenda I. Guerrero; Loreto Robles-Hernández; Ana C. Gonzalez-Franco*

¹Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua. Ciudad Universitaria S/N Campus 1, Chihuahua, Chih., 31310, México. *conzalez@uach.mx

RESUMEN

El chiltepín es un chile silvestre presente en las zonas bajas de la sierra de Chihuahua y poco se conoce sobre su manejo agronómico. Las rizobacterias promotoras del crecimiento en plantas son excelentes herramientas biotecnológicas para mejorar el crecimiento de las plantas en diversos entornos. Por lo anterior, el objetivo del trabajo fue evaluar la respuesta del desarrollo radicular del fenotipo JAR de plántulas de chiltepín, a través de la aplicación de *Streptomyces* sp. PRIO41. Para ello, se seleccionó semilla de frutos sanos en estado maduro y deshidratado; se realizó una esterilización química y se germinaron en cajas Petri bajo condiciones controladas. Los germinados se trasplantaron a semilleros con dos tratamientos: peat moss sin microorganismo y aquel con *Streptomyces* sp. PRIO41. A los 30 días de crecimiento se evaluó la longitud de raíz primaria, así como el número de raíces secundarias y terciarias por plántula. En el análisis estadístico se realizó un ANOVA de una vía empleando la prueba t de Yuen dentro del paquete 'ggstatsplot' v.0.11.1 del lenguaje R. Las plántulas expuestas a la rizobacteria obtuvieron significativamente los mayores valores en la longitud de raíz primaria (2.85cm, $p=0.049$) y número de raíces terciarias (60.4, $p=0.05$), así como altamente significativo en el número de raíces secundarias (21.8, $p=0.0004$). Se evidenció la capacidad del *Streptomyces* sp. PRIO41 para promover el desarrollo del fenotipo JAR de chiltepín, cultivo con gran potencial económico para Chihuahua.

PALABRAS CLAVE

Actinobacterias; Bioinoculantes; *Capsicum annuum* var. *glabriusculum*; Chile silvestre; PGPR; Rizobacterias.

INTRODUCCIÓN

El chile silvestre (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser y Pickersgill), conocido comúnmente como "chiltepín" es multianual, herbáceo o trepador y su cultivo como hortaliza no ha sido domesticado para su manejo agronómico (Hernández-Verdugo et al., 2012; Beltrán-Burboa, 2020). En la actualidad se han desarrollado una gran variedad de técnicas de agricultura orgánica, que permiten llevar a cabo una producción sostenible. Entre éstas se encuentra el uso de microorganismos benéficos que pueden ayudar al crecimiento vegetal y pueden ser elementos importantes en la estabilidad de los ecosistemas y del ambiente (Terry et al., 2005). Shah et al. (2021) mencionan que las bacterias benéficas cuando promueven el desarrollo de las plantas de forma directa facilitan la absorción de agua y nutrientes por las raíces o modulan sus niveles hormonales. Estas bacterias, principalmente del

género *Streptomyces* también pueden promover el desarrollo de las plantas indirectamente mediante el control de agentes fitopatógenos. Existen investigaciones donde se demostró el impacto positivo que causan algunos microorganismos benéficos en diferentes cultivos (Shah et al. 2021); sin embargo, no se tiene evidencia de estudios relacionados con la efectividad de alguna rizobacteria para estimular el sistema radicular de plantas de chiltepín, por lo que, el objetivo del presente trabajo fue determinar la influencia del *Streptomyces* sp. PRIO41 en el desarrollo del sistema radicular del fenotipo JAR de plántulas de chiltepín provenientes de la región de Batopilas, Chihuahua.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo de junio a agosto del 2024, utilizándose semillas silvestres de chiltepín fenotipo JAR provenientes de frutos maduros deshidratados colectados en Batopilas Chihuahua. Se esterilizaron las semillas en etanol (70^a%) y cloro (5% y 3%), finalizando con enjuagues con agua destilada estéril; se germinaron en cajas Petri con papel filtro estéril humedecido con agua estéril. El inóculo de *Streptomyces* sp. PRIO41 se obtuvo en caldo de papa dextrosa después de su crecimiento en una agitadora-incubadora (Thermo Forma Orbital Shaker) a 28°C por 4 días. La biomasa microbiana se separó utilizando una centrífuga refrigerada (Eppendorf Centrifuge 5430 R) y el crecimiento bacteriano fue resuspendido en buffer de fosfatos (150 mM, pH 7). Dicha solución bacteriana se utilizó para enmendar el sustrato de los semilleros a una concentración de 2.7×10^7 CFU g⁻¹.

En el establecimiento del experimento, se trabajaron dos tratamientos: el sustrato sin inóculo bacteriano (Control), y aquel que contenía el *Streptomyces* sp. PRIO41 (PRIO). El ensayo se estableció bajo un diseño completamente al azar con dos tratamientos conteniendo 18 repeticiones cada uno. Los semilleros con los germinados se colocaron en charolas de plástico transparente con un fotoperiodo de 16 h luz y 8 h oscuridad a 23°C y 18°C, respectivamente. Después de 30 días de crecimiento, a las plántulas se les removió el sustrato mediante múltiples lavados con agua corriente para evaluar la longitud de raíz primaria y número de raíces secundarias y terciarias.

Para el análisis estadístico, se utilizó un ANOVA de una vía (One-way ANOVA) para evaluar si existen diferencias significativas entre los dos tratamientos (CONTROL y PRIO) en todas las variables. Se empleó la prueba t de Yuen, que es una versión robusta de la prueba t para comparar medias. Para ello se utilizaron las funciones integradas dentro del paquete 'ggstatsplot' v.0.11.1 (Patil, 2021) del lenguaje R (R Core Team, 2023).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los germinados de chiltepín fueron tratados con *Streptomyces* sp. PRIO41 para evaluar su impacto en el desarrollo de las raíces de las plántulas por 30 días. Una imagen representativa del sistema radicular por tratamiento se puede apreciar en la figura 1.

En la figura 2 se compara la longitud de la raíz primaria de las plántulas de chiltepín fenotipo JAR entre los dos tratamientos. El análisis ANOVA de una vía muestra diferencias significativas ($p = 0.049$) donde la media (μ_{trimmed}) de la longitud de la raíz primaria es mayor en las plántulas tratadas con PRIO41 (2.85 cm) en comparación con el control.

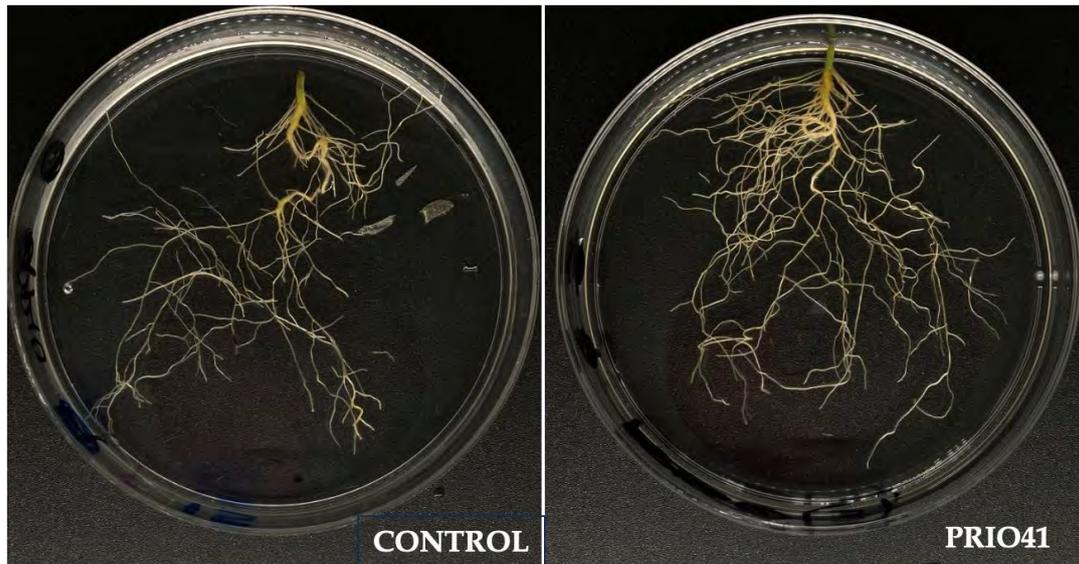


Figura 1. Sistema radicular promedio de plántulas de chiltepín a los 30 días de exposición a los tratamientos: sin aplicación microbiana (Control) y *Streptomyces* sp. PRIO41 (PRIO41).

En el número de raíces secundarias, se presentaron diferencias altamente significativas ($p=0.00048$), mostrando el tratamiento PRIO la mayor media con 21.8 casi duplicando el valor observado en las plantas control (Figura 3). Por otro lado, la comparación en el número de raíces terciarias entre los dos tratamientos, las plantas tratadas con *Streptomyces* sp. PRIO41 presentaron los valores más altos (60.4, $p=05$) comparado con aquellas generadas en el tratamiento control con una media de 37.7 (Figura 4).

La raíz no es solo el anclaje de la planta a su sustrato, sino es un elemento clave para el desarrollo de los cultivos en todas sus etapas. El incremento de las raíces secundarias y terciarias son uno de los elementos principales del sistema radicular, pues a través de ellas se realiza la absorción de nutrientes como el fósforo, potasio, entre otros, los cuales, tienen un papel importante en muchos procesos vitales que permiten la división celular formando tejidos meristemáticos e incrementando la elongación celular (Omar et al., 2022).

La relación microorganismo-planta juega un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo del sistema radicular. Se ha demostrado en otros estudios que algunas cepas de *Streptomyces* sp. son capaces de sintetizar los ácidos pterídicos A y B que ayudan a promover el desarrollo de raíces secundarias en plantas donde han sido inoculadas y así, actuar como promotores del crecimiento vegetal, de forma similar como actúan las auxinas (Igarashi et al., 2002; Meguro et al., 2006). En nuestro estudio, la proliferación de raíces secundarias y terciarias en fenotipo JAR de plántulas de chiltepín, se vió favorecida significativamente casi el doble por la presencia de *Streptomyces* sp. PRIO41 en comparación con las plántulas no tratadas, reflejándose una respuesta positiva sobresaliente del fenotipo JAR con esta rizobacteria.

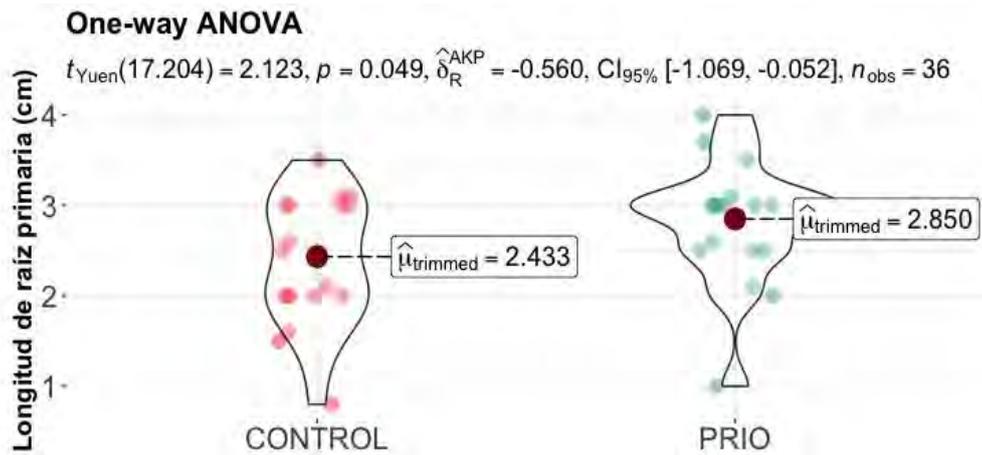


Figura 2. Longitud de raíz primaria de plántulas de chiltepín a los 30 días después de exposición a los tratamientos. El punto rojo representa la media ($n=18$). Tratamientos: Control, sin aplicación microbiana; PRIO, *Streptomyces* sp. PRIO41.

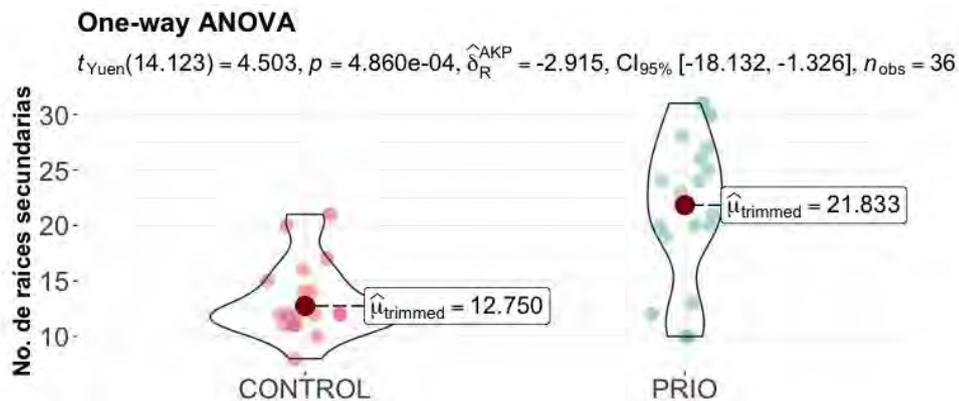


Figura 3. Número de raíces secundarias en plántulas de chiltepín a los 30 días de exposición a los tratamientos. El punto rojo representa la media ($n=18$). Tratamientos: Control, sin aplicación microbiana; PRIO, *Streptomyces* sp. PRIO41.

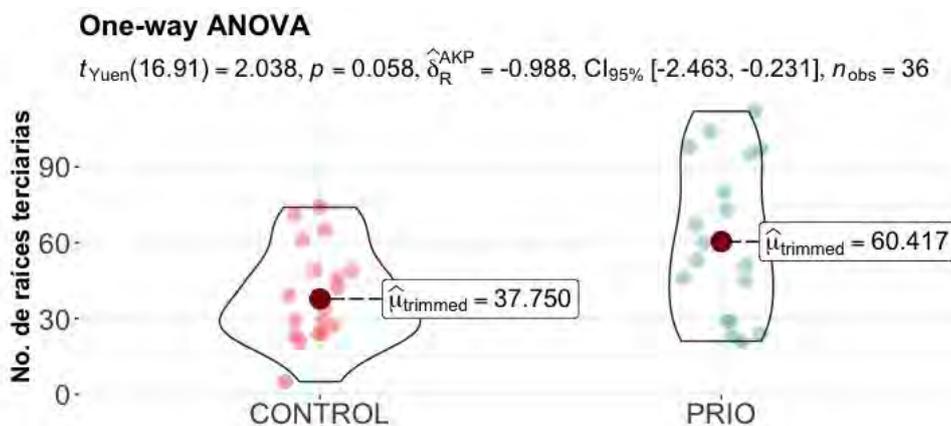


Figura 4. Número de raíces terciarias en plántulas de chiltepín a los 30 días de exposición a los tratamientos. El punto rojo representa la media ($n=18$). Tratamientos: Control, sin aplicación microbiana; PRIO, *Streptomyces* sp. PRIO41.

CONCLUSIÓN

Este es el primer estudio que evidencia el gran potencial que tiene la cepa de *Streptomyces* sp. PRIO41 como estrategia para el desarrollo sustentable del fenotipo JAR en plántulas de chiltepín.

BIBLIOGRAFÍA

- Beltrán-Burboa, J. N., López-Peralta, M. C. G., Hernández-Meneses, E., & Cruz-Huerta, N. (2020). Germinación *in vitro* de chile chiltepín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*) y regeneración por organogénesis. *Agrociencia*, 54(2), 195-208.
- Hernández-Verdugo, S., Porras, F., Pacheco-Olvera, A., López-España, R. G., Villarreal-Romero, M., Parra-Terraza, S., & Osuna Enciso, T. (2012). Caracterización y variación ecogeográfica de poblaciones de chile (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) silvestre del noroeste de México. *Polibotánica*, (33), 175-191.
- Igarashi, Y., Iida, T., Yoshida, R., & Furumai, T., (2002). Pteridic Acids A and B, Novel Plant Growth Promoters with Auxin-like Activity from *Streptomyces hygroscopicus* TP-A0451. *Journal of antibiotics*, 55(8), 764-767.
- Meguro, A., Ohmura, Y., Hasegawa, S., Shimizu, M., Nishimura, T., & Kunoh, T. (2006). An endophytic actinomycete, *Streptomyces* sp. MBR-52, that accelerates emergence and elongation of plant adventitious roots. *Actinomycetologica* 20,1-9.
- Omar, A., Abdelmageed, A., Al-Turki, A., Abdelhameid, N., Sayyed, R., & Rehan, M. (2022). Exploring the plant growth-promotion of four *Streptomyces* strains from rhizosphere soil to enhance cucumber growth and yield. *Plants*, 11, 3316.
- Patil, I. (2021). Visualizations with statistical details: The 'ggstatsplot' approach. *Journal of Open Source Software*, 6(61), 3167.
- Shah, A., Nazari, M., Antar, M., Msimbira, L. A., Naamala, J., Lyu, D., Rabileh, M., Zajonc, J., & Smith, D. L. (2021). PGPR in agriculture: A sustainable approach to increasing climate change resilience. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 667546.
- Terry, E., A. Leyva & M. M. Díaz. 2005. Uso combinado de microorganismos benéficos y productos bioactivos como alternativa para la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Cultivos Tropicales*, 26(3), 77-81.

NÍQUEL Y SU INTERACCIÓN CON BACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO EN PLANTAS DE LECHUGA

Sara Monzerrat Ramírez-Olvera*; Marco Polo Carballo-Sánchez

Posgrado de Edafología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Autor para correspondencia: ramirez.sara@colpos.mx

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de níquel en plantas de lechuga inoculadas con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. Plántulas de lechuga (*Lactuca sativa*) cv. Maximus de 30 días de edad, se colocaron en macetas de polietileno negro de 30 x 30 cm en tezontle como sustrato. A los 5 días después del trasplante, las plantas se inocularon con las cepas bacterianas C56 (*Achromobacter xylosoxidans*), AV5 (*Bacillus pumilus*) y JLB4 (*Arthobacter pokkali*). A los 12 días después de la inoculación, se suministró el Ni a la raíz a concentraciones de 0, 100 y 200 μM $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, en periodos de 5 días. A los 10 días después del inicio del tratamiento con níquel, se registraron las variables, altura de planta, número de hojas e índice de verdor. La aplicación individual de las rizobacterias y las concentraciones de níquel no modificaron las variables evaluadas en esta investigación. Mientras que la inoculación con la cepa C56 (*A. xylosoxidans*) y el suministro de 100 μM Ni, incrementó la altura de planta y el número de hojas. En combinación, la cepa C56 y níquel inducen el crecimiento vegetativo de plantas de lechuga cv. Maximus.

PALABRAS CLAVE

Asteraceae; Dosis respuesta; Elemento esencial; *Lactuca sativa*; Metales de transición.

INTRODUCCIÓN

La lechuga (*Lactuca sativa*) es una hortaliza fundamental para la alimentación humana. Su producción en México en el 2022 fue de 547 mil toneladas, se produce en todo el país y los estados con la mayor producción de lechuga son Guanajuato, Zacatecas, Aguascalientes y Puebla (SIAP, 2024). Para mejorar las condiciones del cultivo y mejorar el rendimiento, es importante la suplementación de micronutrientes que usualmente no se encuentran en las concentraciones necesarias, como es el caso del níquel. Este es un elemento fundamental para las plantas, ya que es un componente de la ureasa, una metaloenzima necesaria para el metabolismo del nitrógeno y la detoxificación de la urea, de esta manera contribuyendo a la fisiología de las plantas en general (Oliveira *et al.*, 2013). La suplementación de este metal resulta benéfica para el crecimiento vegetal, pero en cantidades excesivas resulta nocivo para la planta (Zhao *et al.*, 2019) y para los consumidores. Una manera de mejorar la incorporación del níquel es mediante la asociación con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV), ya que pueden aumentar la biodisponibilidad del níquel en la planta mediante la producción de sideróforos, aumentar su solubilidad al producir ácidos orgánicos que disminuyan el pH (Virk *et al.*, 2023), promoviendo el crecimiento radical y aumentando la superficie de absorción mediante la producción

de reguladores del crecimiento (Kamran *et al.*, 2016), así como aliviando el estrés por toxicidad de níquel (Pishick *et al.*, 2021). EL objetivo de este trabajo es evaluar el crecimiento de plantas de lechuga en presencia de distintas concentraciones de níquel y la inoculación de RPCV.

MATERIALES Y MÉTODOS

Semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) cv. Maximus tipo orejona, se germinaron en charolas de polietileno negro, en turba como sustrato. A los 35 días después de la siembra, las plántulas se transfirieron a bolsas de polietileno negro de 30 x 30 cm, en cuyo interior contenían como sustrato tezontle. A los 5 días después del trasplante, las plántulas se inocularon con las cepas C56 (*Achromobacter xylosoxidans*), AV5 (*Bacillus pumilus*) y JLB4 (*Arthobacter pokkali*), pertenecientes a la colección del Laboratorio de Microbiología de Suelos. La inoculación se llevó a cabo en la raíz de las plantas con 5 mL de medio de cultivo con células suspendidas (108 células por mL de solución).

A los 12 días después de la inoculación con las cepas bacterianas, se suministró níquel a través del riego, mediante la adición de 0, 100 y 200 μM $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$. Y a los 10 días posteriores a la aplicación de níquel, se registró la altura de planta, el número de hojas e índice de verdor, con el equipo SPAD-502.

Cada unidad experimental consistió en una maceta con una planta de lechuga, las cuales se aleatorizaron y se distribuyeron en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Se verificó que los datos obtenidos en cada variable cumplieran con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Posteriormente se realizó el análisis de varianza (ANOVA), y la prueba de comparación de medias Tukey, con el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS, Institute, 2009, Cary, NC, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las rizobacterias mejoran el crecimiento de diversas especies vegetales, al liberar compuestos a la rizosfera que inducen cambios bioquímicos en las plantas (Khosro *et al.*, 2023), no obstante esto depende de la especie vegetal y la cepa bacteriana. En esta investigación, la altura de planta (Figura 1), y el número de hojas (Figura 2), de plantas de lechuga cv. Maximus no se modificó significativamente después de la inoculación con las cepas C56, AV5 y JLB4. De manera similar, el suministro de níquel no alteró estas variables en relación al tratamiento testigo (sin cepa bacteriana ni níquel).

Por otro lado, el tratamiento en conjunto de la cepa C56 y la adición de 100 μM Ni, aumentó significativamente la altura de planta y el número de hojas en relación a las plantas inoculadas con la cepa C56, y no suministradas con níquel. Lo cual puede deberse al efecto de níquel en el incremento de la síntesis de fitohormonas por la cepa bacteriana.

Al respecto se ha informado que la exposición de cepas bacterianas a metales de transición estimula la síntesis de fitohormonas por las bacterias, que inducen cambios en el crecimiento vegetal (Tak *et al.*, 2012; Mesa *et al.*, 2015; Mendoza-Hernández *et al.*, 2016).

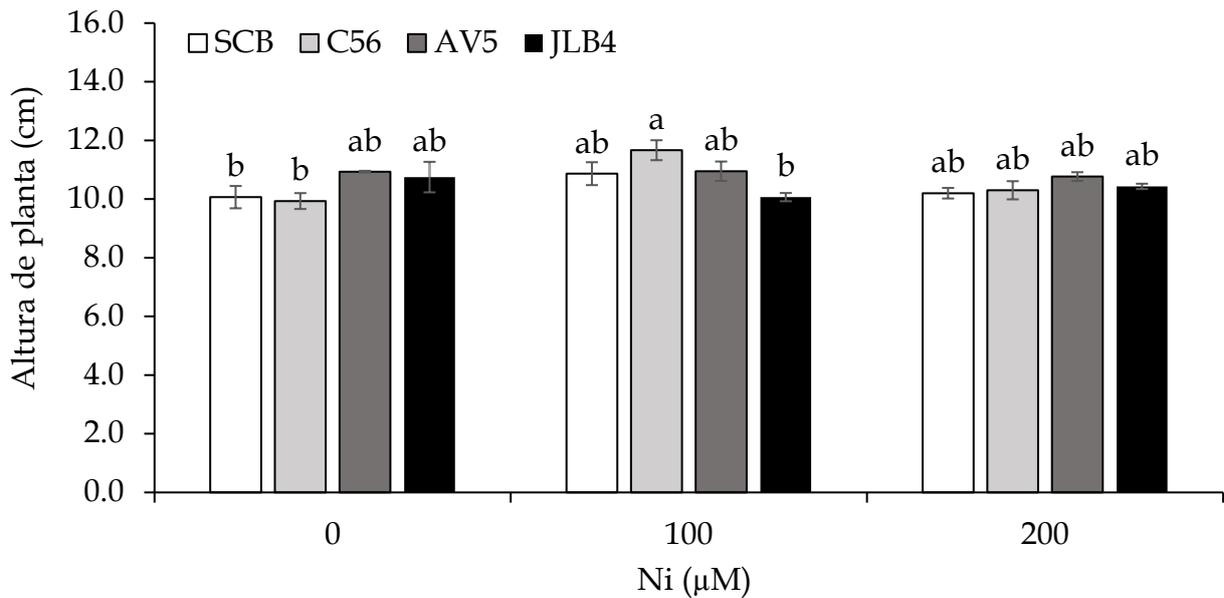


Figura 1. Influencia de rizobacterias promotoras del crecimiento y níquel en la altura de plantas de lechuga (*Lactuca sativa*) cv. Maximus. Medias \pm EE (n=4), con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$). SCB: Sin cepa bacteriana; C56 (*Achromobacter xylosoxidans*); AV5 (*Bacillus pumilus*); JLB4 (*Arthobacter pokkalii*).

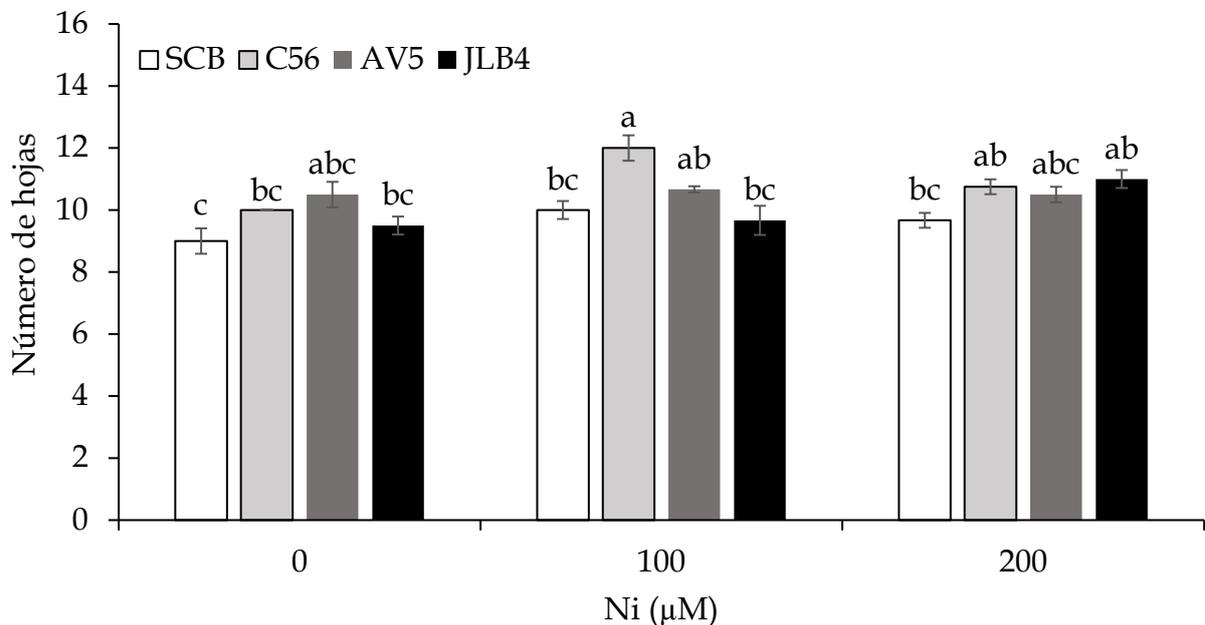


Figura 2. Rizobacterias promotoras del crecimiento y níquel en el número de hojas de plantas de lechuga (*Lactuca sativa*) cv. Maximus. Medias \pm EE (n=4), con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$). SCB: Sin cepa bacteriana; C56 (*Achromobacter xylosoxidans*); AV5 (*Bacillus pumilus*); JLB4 (*Arthobacter pokkalii*).

El índice de verdor de las plantas de lechuga, no se vio influenciado por la inoculación con rizobacterias y la aplicación de níquel (Figura 3).

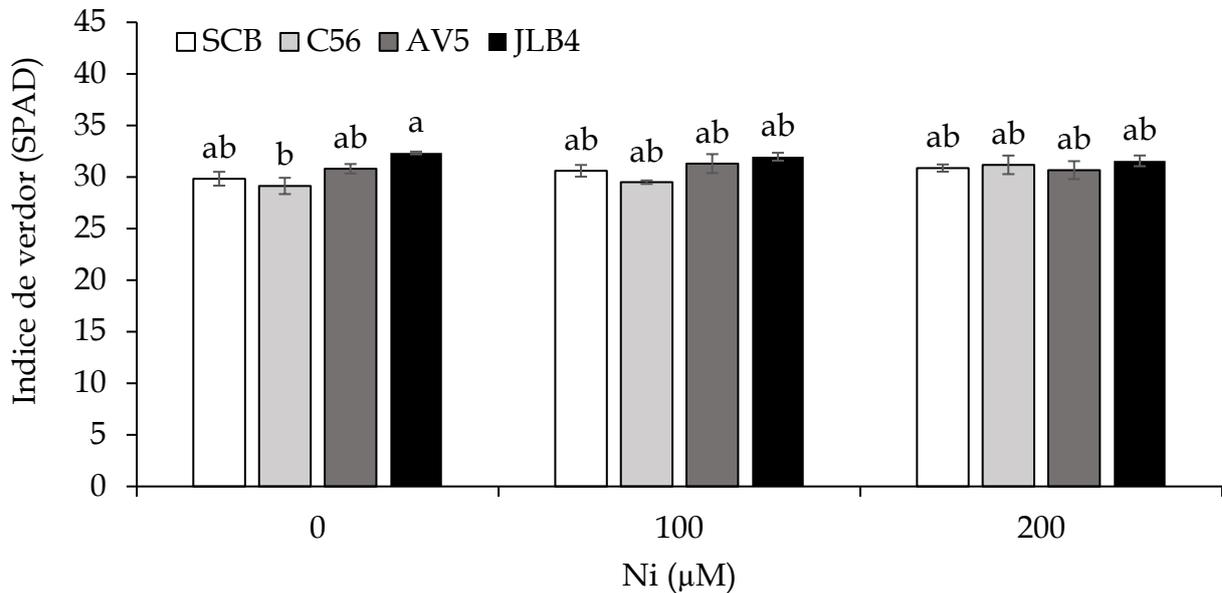


Figura 3. Influencia de rizobacterias promotoras del crecimiento y níquel en el índice de verdor plantas de lechuga (*Lactuca sativa*) cv. Maximus. Medias \pm EE (n=4), con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$). SCB: Sin cepa bacteriana; C56 (*Achromobacter xylosoxidans*); AV5 (*Bacillus pumilus*); JLB4 (*Arthobacter pokkalii*).

CONCLUSIONES

De manera individual la inoculación con las cepas bacterianas C56, AV5 y JLB4, así como el suministro de níquel a concentraciones de 100 y 200 μM Ni, no alteran la altura de planta, el número de hojas, y el índice de verdor. Mientras que la cepa C56 en conjunto con la aplicación de 100 μM Ni, incrementa altura y el número de hojas de plantas de lechuga.

BIBLIOGRAFÍA

- Kamran, M. A., Eqani, S. A. M. A. S., Bibi, S., Xu, R. K., Monis, M. F. H., Katsoyiannis, A., Chaudhary, H. J. (2016). Bioaccumulation of nickel by *E. sativa* and role of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) under nickel stress. *Ecotoxicology and Environmental safety*, 126, 256-263.
- Khoso, M. A., Wagan, S., Alam, I., Hussain, A., Ali, Q., Saha, S., Liu, F. (2023). Impact of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on plant nutrition and root characteristics: Current perspective. *Plant Stress*, 100341.
- Mendoza-Hernández, J.C., Perea-Vélez, Y.S., Arriola-Morales, J.A., Martínez-Simón, S.M., Pérez-Osorio, G. (2016). Assessing the effects of heavy metals in ACC deaminase and IAA production on plant growth-promoting bacteria. *Microbiological Research*, 188, 53-61.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Mesa, J., Mateos-Naranjo, E., Caviedes, M. A., Redondo-Gómez, S., Pajuelo, E., Rodríguez-Llorente, I. D. (2015). Scouting contaminated estuaries: heavy metal resistant and plant growth promoting rhizobacteria in the native metal rhizoaccumulator *Spartina maritima*. *Marine Pollution Bulletin*, 90(1-2), 150-159.
- Oliveira, T. C., Fontes, R. L. F., Rezende, S. T. D., Víctor Hugo, A. V. (2013). Effects of nickel and nitrogen soil fertilization on lettuce growth and urease activity. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 37, 698-706.
- Pishchik, V., Mirskaya, G., Chizhevskaya, E., Chebotar, V., Chakrabarty, D. (2021). Nickel stress-tolerance in plant-bacterial associations. *PeerJ*, 9, e12230.
- SAS institute. 2004. SAS/STAT Versión 9.1. SAS institute Inc. Cary, NC, USA.
- SIAP (2024). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> Consultado el 23 de mayo de 2024.
- Tak, H. I., Ahmad, F., Babalola, O. O. (2012). Advances in the application of plant growth-promoting rhizobacteria in phytoremediation of heavy metals. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 223, 33-52.
- Virk, Z. A., Yasin, M. Z., Gill, S., Ilyas, M. F., Dradrach, A., Alamri, S., Iqbal, M. (2023). Inducing Rhizosphere Acidification in White Willow with *Bacillus* sp. ZV6 Enhances Ni Phytoextraction from Soil and Soil Quality. *Minerals*, 13(9), 1178.
- Zhao, J., C. Lu, M. Tariq, Q. Xiao, W. Zhang, K. Huang, Q. Lu, K. Lin, and Z. Liu. (2019). "The Response and Tolerance Mechanisms of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Exposed to Nickel in a Spiked Soil System." *Chemosphere* 222: 399-406.

BACTERIAS ASOCIADAS AL MUCIGEL DE RAÍCES ADVENTICIAS AÉREAS DEL MAÍZ OLOTÓN AMARILLO DE LA SIERRA MIXE DE OAXACA

**Orlando Catalán-Barrera^{1*}; Alejandro Alarcón¹; Ronald Ferrera-Cerrato¹;
César San Martín-Hernández²; Laura Verónica Hernández-Cuevas³**

¹Microbiología de suelos, Postgrado de Edafología, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo 56264, Estado de México, México.

²Fertilidad de Suelos, Postgrado de Edafología, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, 56230, Estado de México, México.

³Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tlajomulco. Carretera Tlajomulco-San Miguel Cuyutlán, Cto. Metropolitano Sur, 45640, Jalisco, México.

*Autor para correspondencia: orlandocatalan1@hotmail.com

RESUMEN

El maíz es el cultivo de mayor importancia y producción a nivel mundial. En el sur de México se cultiva la variedad criolla Olotón, el cual produce un mucilago en sus raíces adventicias aéreas que alberca una alta cantidad de comunidades bacterianas. En este trabajo se aislaron bacterias a partir de muestras de mucilago y se evaluó sus propiedades bioquímicas relacionadas con la promoción del crecimiento vegetal. El aislamiento se realizó a través del procedimiento de diluciones seriadas en muestras de mucilago obtenido de plantas con aplicación de 120 kg N ha⁻¹. Los medios de cultivo utilizados fueron para bacterias totales agar nutritivo (AN), NFB y Rennie para bacterias fijadoras de N₂. Las pruebas bioquímicas fueron potencial de la fijación de N₂ en medio NFB semisólido, solubilización de fosfatos y producción de fitohormonas (índoles totales). Los resultados muestran una abundante cantidad de bacterias presentes en el mucilago; el mayor número de unidades formadoras de colonias (UFC) se presentó en medio NFB con 88x10⁷ UFC mL⁻¹ en NFB, seguido de Rennie con 71x10⁷ UFC mL⁻¹ y medio agar nutritivo con valores de 68x10⁷ UFC mL⁻¹. El 81 % de las cepas bacterianas aisladas el 81% fueron positivas para la producción de fitohormonas, el 43 % para la fijación de N₂, y 13 % para la solubilización de fosfatos. Las bacterias del mucilago del maíz Olotón amarillo pueden ser una alternativa para su uso biotecnológico en la agricultura ya que tienen capacidades potenciales para promover el crecimiento vegetal.

PALABRAS CLAVE

Biotecnología; Bacterias; Fijación de nitrógeno; Maíces criollos; Nitrógeno.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es considerado como el cultivo más importante y con mayor producción en todo el mundo, es utilizado en la comercialización, alimentación humana, y la ganadería (Yadav *et al.*, 2017). Se estima que este cereal fue domesticado hace 8,700 años (Grobman *et al.*, 2012) a partir de hierbas silvestres de teocintle en la cuenca del río Balsas, en la parte sur de México (Van Heerwaarden *et al.*, 2011).

Al igual que las variedades híbridas más producidas en el país, los maíces criollos también forman parte elemental de la cocina nacional y para las pequeñas comunidades, el cultivo de maíz es una actividad importante que permite sustentar su autoconsumo (Fernández- Suárez *et al.*, 2013).

Las bacterias son uno de los grupos de microorganismos más abundantes en toda la tierra, gracias a su participación en los ciclos biogeoquímicos, las bacterias cumplen con funciones importantes como el reciclaje de nutrientes, lo cual les ha permitido adaptarse a diversas condiciones y hábitats terrestres (Corrales *et al.*, 2015). El maíz es una planta que establece relaciones benéficas con los microorganismos con el objetivo de beneficiar su nutrición y crecimiento (Din *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2016).

El maíz olotón cuenta con características anatómicas importantes como su rápido crecimiento y la capacidad de generar un mayor número de nudos con raíces adventicias aéreas de las cuales se secreta un mucílago abundante. Gracias a la alta cantidad bacteriana presente en el mucílago, se puede suministrar a través de la fijación biológica de nitrógeno, la cantidad de N_2 necesaria para el crecimiento adecuado de las plantas, por lo que, se considera una propiedad de auto-fertilización de esta variedad criolla; además, el mucílago cuenta con características bioquímicas y microbiológicas importantes que han promovido el interés de su estudio a nivel social, económico y científico (Vega-Segovia y Ferrera-Cerrato, 1993).

MATERIALES Y MÉTODOS

El muestreo se realizó en el mes de septiembre del 2022 en Totontepec en la Sierra Mixe de Oaxaca, México. Se tomaron muestras de raíces adventicias aéreas con presencia de mucigel y se colocaron dentro de tubos de 50 mL estériles, con tijeras se realizó un corte de la parte basal de las raíces, las muestras se etiquetaron y preservaron en un recipiente con hielo, hasta su procesamiento en laboratorio. El aislamiento bacteriano del mucigel se realizó a través del método de diluciones seriadas (Ferrera-Cerrato *et al.*, 2020), brevemente, se tomó 1 mL de mucigel con una micropipeta y se colocó en un tubo de ensayo con 9 mL de agua destilada estéril (10^{-1}), este proceso se repitió hasta alcanzar la dilución de 10^{-7} ; del tubo de ensayo se tomaron 100 μ L y se colocaron en cajas Petri con medio de cultivo y con una varilla de vidrio se homogeniza la muestra. Las cajas se incubaron a 27 °C durante 72 h para realizar el conteo de UFC. Los medios utilizados fueron Agar nutritivo para bacterias totales y medios para bacterias fijadoras de nitrógeno como Rennie y medio libre de nitrógeno (por sus siglas en inglés NFB rojo Congo). Posterior, al recuento de UFC se realizó la purificación de cepas, para esto, con asa bacteriológica se tomó una parte de las colonias presentes en el medio, y se transfirió a nuevas cajas Petri para la visualización de colonias puras.

Las cepas aisladas fueron evaluadas en pruebas bioquímicas como la fijación de nitrógeno, en tubos de cristal de 10 mL se llenaron con 7 mL con medio de cultivo NFB semisólido con azul de bromotimol a pH 6.8, los tubos se colocaron en incubadora a 28 °C durante 15 días hasta visualizar el crecimiento y cambio de coloración del medio.

Para la producción de fitohormonas, se preparó medio de cultivo líquido YM, en una microplaca se colocó 100 μL del medio de cultivo y posteriormente con un asa bacteriológica se colocó una pequeña muestra de colonia bacteriana en cada cavidad para cada cepa por triplicado, las muestras se colocaron en incubadora durante 48 hrs, transcurrido el tiempo se colocaron 100 μL de reactivo de Salkowski en cada cavidad y se dejó reposar durante 30 min. Por último, la prueba de solubilización de fosfatos, se realizó en medio de cultivo Pikovskaya sólido, con un asa bacteriológica se colocó una pequeña muestra de colonia bacteriana en la caja Petri, las muestras se colocaron en incubadora a 28 $^{\circ}\text{C}$ durante 15 días para realizar la visualización positiva a la solubilización.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los medios de cultivo usados permitieron observar el crecimiento y abundancia de bacterias presentes en el mucílago, el mayor número de UFC se presentó en medio NFB con 88×10^7 UFC mL^{-1} y seguido de Rennie con 71×10^7 UFC mL^{-1} y el menor en agar nutritivo con 68×10^7 UFC mL^{-1} (Figura 1). Para las pruebas bioquímicas implementadas a las cepas purificadas muestran parte de la diversidad funcional que las bacterias del mucílago poseen. El porcentaje positivo más alto se obtuvo en la prueba para producción de fitohormonas (índoles totales) con un 81 % seguido de prueba cualitativa de fijación de nitrógeno con 43 % y la más baja en solubilización de fosfatos con 13 %. De todas las bacterias purificadas, todas cumplen de forma positiva por lo menos con una de las pruebas bioquímicas realizadas (Figura 2).

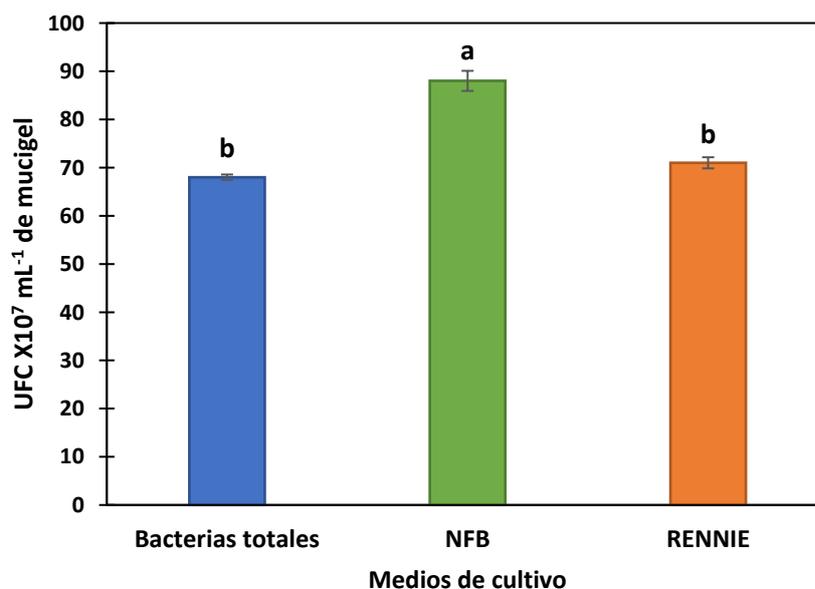


Figura 1. Cuantificación de bacterias aisladas de mucilago en diferentes medios de cultivo.

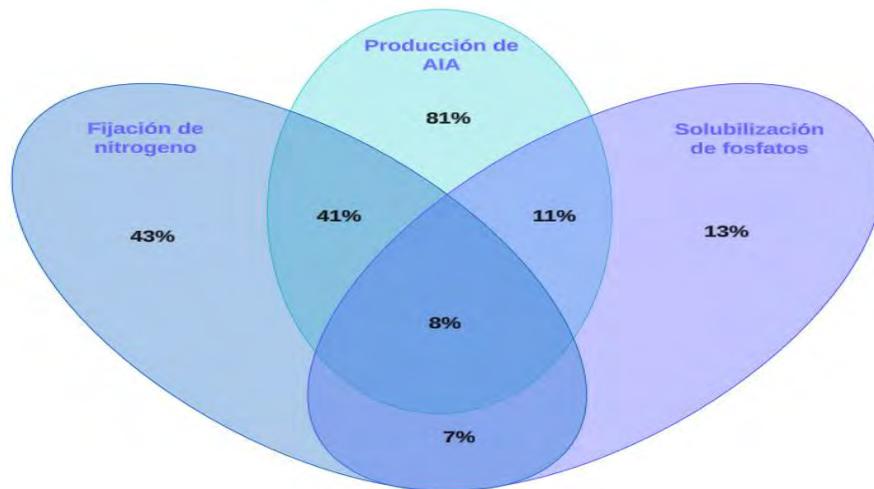


Figura 2. Diagrama de venn de pruebas bioquímicas de cepas aisladas.

El maíz olotón tiene mayor capacidad de crecimiento en comparación con otros maíces criollos mexicanos, la cantidad de nudos con presencia de raíces adventicias aéreas también es mayor, y el mucilago de las raíces adventicias aéreas alberga una alta cantidad bacteriana en comparación con las cantidades encontradas comúnmente en la rizósfera las cuales están relacionadas con el proceso de fijación biológica de nitrógeno (Van Deynze *et al.*, 2018). La composición del mucílago comprende un polisacárido como estructura central de galactosa y otros monosacáridos como fucosa, arabinosa, xilosa, manosa y ácido glucurónico inmersos en un material bajo en oxígeno, la presencia de enzimas importantes como la glicosil hidrolasa está involucrada en la asimilación del polisacárido original para la liberación de los monosacáridos de los cuales las bacterias diazotróficas obtienen la energía necesaria para realizar la FBN_2 (Bennett *et al.*, 2020). Las semillas del maíz olotón pueden albergar una carga bacteriana importante que pueden ser fijadoras de N_2 , las cuales podrían ser parte del conjunto de bacterias diazotróficas activas que benefician el proceso de auto-fertilización del maíz olotón si las condiciones ambientales son favorables para la producción de mucílago. La cantidad de nitrógeno que se aporta a la planta a través de la vía de FBN_2 en el mucílago oscila entre 29 y 82 % del total requerido por las plantas (Van Deynze *et al.*, 2018).

CONCLUSIONES

El mucilago del maíz olotón amarillo de la sierra mixe de Oaxaca cuenta con una abundante cantidad bacteriana.

Las bacterias presentes en el mucilago cumplen con funciones bioquímicas importantes que pueden influir en la nutrición y crecimiento del maíz olotón.

AGRADECIMIENTOS

A Conahcyt por el financiamiento del proyecto 317032 "Protección de la propiedad intelectual social del carácter Fijación Biológica de Nitrógeno del maíz Olotón y aprovechamiento en la seguridad y soberanía alimentaria de México".

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Al Colegio de Postgraduados por facilitar la infraestructura, materiales y espacios necesarios para realizar las actividades de proyecto doctoral adjunto a la investigación del maíz olotón.

BIBLIOGRAFÍA

- Bennett, A. B., Pankievicz, V. C., y Ané, J. M. (2020). A model for nitrogen fixation in cereal crops. *Trends in Plant Science*, 25(3), 226-235. doi:10.1016/j.tplants.2019.12.004
- Corrales, L. C., Antolínez-Romero, D. M., Bohórquez-Macías, J. A., y Corredor-Vargas, A. M. (2015). Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. *Nova*, 13(24), 55-81.
- Din, I., Khan, H., Khan, N. A., y Khil, A. (2021). Inoculation of nitrogen fixing bacteria in conjugation with integrated nitrogen sources induced changes in phenology, growth, nitrogen assimilation and productivity of wheat crop. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(7), 459-466.
- Fernández-Suárez, R., Morales-Chávez, L. A., y Gálvez-Mariscal, A., (2013). Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional: Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36, 275-283.
- Ferrera-Cerrato, R., Delgadillo, J., Alarcón, A., Alvarado, J., Pérez, J., y Almaraz, J. (2020) *Microbiología Aplicada a la Agricultura y Agroecosistemas, Principios y técnicas para su investigación*, primera edición, México. Biblioteca Básica de Agricultura. Editorial Colegio de Postgraduados.
- Grobman, A., Bonavia, D., Dillehay, T. D., Piperno, D. R., Iriarte, J., y Holst, I. (2012). Pre-ceramic maize from Paredones and Huaca Prieta, Peru. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(5), 1755-1759. doi:10.1073/pnas.1120270109
- Van Deynze, A., Zamora, P., Delaux, P. M., Heitmann, C., Jayaraman, D., Rajasekar, S., y Bennett, A. B. (2018). Nitrogen fixation in a landrace of maize is supported by a mucilage-associated diazotrophic microbiota. *PLoS Biology*, 16(8), e2006352.
- Van Heerwaarden, J., Doebley, J., Briggs, W. H., Glaubitz, J. C., Goodman, M. M., Gonzalez, J. D. J. S., y Ross-Ibarra, J. (2011). Genetic signals of origin, spread, and introgression in a large sample of maize landraces. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(3), 1088-1092. doi:10.1073/pnas.1013011108
- Vega-Segovia M.L. y Ferrera-Cerrato, R. 1993. Microorganismos de mucílago, rizoplano y rizósfera de maíz olotón de la región mixe, Oax. In: Pérez-Moreno y R. Ferrera-Cerrato (eds) *Avances de Investigación, Sección de Microbiología CEDAF-CP*. Pp. 42-48
- Yadav, A.N. Verma, P. Singh, B. Chauhan, V.S. Suman, A. y Saxena, A.K. (2017). Plant growth promoting bacteria: biodiversity and multifunctional attributes for sustainable agriculture. *Advances in Biotechnology and Microbiology*, 5(5), 1-16.
- Zhang, L. Xu, M. Liu, Y. Zhang, F. Hodge, A. y Feng, G. (2016). Carbon and phosphorus exchange may enable cooperation between an arbuscular mycorrhizal fungus and a phosphate-solubilizing bacterium. *New Phytologist*, 210(3), 1022-1032. doi.org/10.1111/nph.13838.

CERIO (Ce) Y HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN INDICADORES DE EFICIENCIA DEL FOTOSISTEMA II EN TOMATE BAJO ESTRÉS SALINO

Ángel Mena-García*; Alejandro Alarcón; Libia Iris Trejo-Téllez; Fernando Carlos Gómez-Merino; María Guadalupe Peralta-Sánchez

Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo, Posgrado en Edafología. Carr. México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, C. P. 56264, Estado de México. *Email: angelmegar@hotmail.com

RESUMEN

La salinidad es un factor de estrés abiótico que ocasiona alteraciones funcionales en la cadena transportadora de electrones en plantas superiores, lo cual provoca estrés oxidativo y reduce la fijación de carbono. La aplicación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y de cerio (Ce) puede favorecer la adaptación de las plantas bajo estas condiciones; empero, el uso conjunto de ambos bioestimulantes no se ha evaluado. El objetivo de esta investigación consistió en valorar la eficiencia del fotosistema II (PSII) en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Río Grande en respuesta a la inoculación de un consorcio de HMA y aplicación de Ce bajo estrés salino. Se diseñó un experimento factorial $2 \times 2 \times 2$ completamente al azar, con los factores Ce (0 y 10 μM), HMA (con y sin) y NaCl (0 y 50 mM). Después de 10 d se evaluó en hojas la F_o , F_m , F_v , F_v/F_o y F_v/F_m . Los datos se sometieron al análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). La aplicación de 10 μM Ce + HMA, no tuvo efecto en la F_v/F_m bajo estrés salino. La interacción de 10 μM Ce + HMA redujo la F_v/F_o . Además, la aplicación de 50 mM NaCl afectó negativamente la F_m , F_v y la F_v/F_o . Se concluyó que la salinidad reduce la eficiencia del PSII y que la aplicación de HMA y 10 μM Ce solos o en combinación no mitiga los efectos deletéreos de la salinidad en indicadores fotosintéticos.

PALABRAS CLAVE

Bioestimulantes de plantas; Elementos benéficos; Elementos de tierras raras; Inoculantes.

INTRODUCCIÓN

La salinidad es uno de los factores de estrés abióticos más graves que afecta los procesos fisiológicos, bioquímicos y moleculares en las plantas y que causa inhibición del crecimiento y del rendimiento de los cultivos. La alta concentración de sales en la zona circundante a la raíz reduce la fotosíntesis de las plantas, afecta el ingreso de CO_2 , su asimilación y su translocación desde los órganos fuente a órganos demanda (Balasubramaniam *et al.*, 2023). La alteración en la asimilación de C reduce la ocurrencia de NADP^+ en cloroplastos y modifica el transporte de electrones en la cadena transportadora en la membrana tilacoidal. Esta alteración desencadena un flujo de electrones hacia el O_2 que conduce a la producción en demasía de especies reactivas de oxígeno (EROs) y al desarrollo del estrés oxidativo (Kesawat *et al.*, 2023). El mantenimiento de la integridad del PSII y del fotosistema I (PSI) puede permitir el

flujo correcto de electrones desde los centros de reacción hasta el NADP⁺, trayendo consigo una reducción de la producción de EROs (Hossain y Dietz, 2016).

El uso de bioestimulantes microbianos e inorgánicos es una de las alternativas sustentables para mejorar el crecimiento de los cultivos. Bajo estrés salino, la aplicación de HMA mejora la eficiencia del PSII (Dastogeer *et al.*, 2020) y la aplicación de CeCl₃ bajo deficiencia de Mg²⁺ incrementa la tasa de evolución del oxígeno en cloroplastos y la expresión de los genes que transcriben para la enzima ribulosa bisfosfato carboxilasa oxigenasa (Yuguan *et al.*, 2009). Sin embargo, la aplicación de ambos bioestimulantes no se ha realizado de manera conjunta en condiciones de crecimiento fisiológico normal o bajo estrés salino, por lo tanto, el objetivo de este trabajo consistió en evaluar los indicadores de la eficiencia del PSII en plantas de tomate inoculadas con HMA y con tratamiento radical de Ce bajo estrés salino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Semillas de tomate cv. Río Grande se germinaron en una mezcla de sustrato de 80% turba (PROMIX FLX[®]) y 20 % de vermiculita (v/v) esterilizado durante 3 h dos veces (con un día de reposo entre esterilización) a 120 °C y 15 PSI y contenido en almácigos de poliestireno de 128 cavidades. La mitad de las semillas se inoculó directamente con 100 esporas por semilla de un consorcio de HMA conformado por *Rhizoglyphus fasciculatum*, *Diversispora spurca* y *Acaulospora delicata*. Las semillas se regaron con agua destilada estéril hasta la emergencia de la primera hoja verdadera. Posteriormente, las plantas se regaron con solución nutritiva Steiner 25 % durante una semana y 50 % hasta la etapa de trasplante. Cuando las plantas alcanzaron 13.28 cm de altura se trasplantaron a tezontle cribado (≤ 0.5 cm de diámetro) contenido en bolsas de polietileno negro de 11 × 20 cm. El tezontle se desinfectó durante 18 h en una solución de cloro comercial (Cloralex[®]), relación 1:200 (v/v) y se lavó con agua acidulada pH 5.0. Posterior al trasplante se diseñó un experimento factorial 2 × 2 × 2 al azar con trece réplicas por cada tratamiento. Los factores fueron: Ce (0 y 10 μM), preparado a partir de CeCl₃ 7H₂O (Sigma-Aldrich, Saint Louis, MO, USA); HMA (con y sin); y NaCl (0 y 50 mM). Después del trasplante (dt), las plantas se nutrieron con solución nutritiva Steiner 50 %, pH 5.8 (ajustado con H₂SO₄ 1 N). Los tratamientos se aplicaron 7 ddt y se suministraron en conjunto con la solución nutritiva vía radical durante 10 d. La eficiencia del PSII (Fo, Fm, Fv, Fv/Fo y Fv/Fm) se midió con un fluorómetro OS-30p+ (BioScientific) en hojas recientemente maduras y adaptadas a la oscuridad durante 10 min. Los datos obtenidos se sometieron al análisis de varianza (ANOVA, $p \leq 0.05$) y después a la prueba de comparación de medias (Tukey, ≤ 0.05) con el programa estadístico R versión 4.1.1 (R Core Team, 2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En nuestras condiciones experimentales, no existió diferencia en la eficiencia del PSII con un periodo de adaptación de 10 min con los resultados obtenidos a 20 min o 30 min; por lo tanto, se realizó la medición de esta variable con un proceso de adaptación de 10 min. La Fo es la eficiencia mínima del fotosistema, la Fm la eficiencia máxima y la Fv la eficiencia variable, la cual representa la diferencia entre Fm y Fo (Murchie y Lawson, 2013). De acuerdo con el ANOVA, no hubo efecto de la interacción de Ce × HMA × NaCl en Fo, Fm, Fv y Fv/Fo. Sin embargo, hubo un efecto significativo

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

($p \leq 0.05$) de la interacción triple en la eficiencia cuántica del PSII (Fv/Fm). Además, no hubo efecto de las interacciones dobles HMA \times NaCl y Ce \times NaCl en las variables evaluadas. La interacción Ce \times HMA tuvo efecto en Fv/Fo y Fv/Fm. Asimismo, el NaCl tuvo efecto altamente significativo ($p \leq 0.001$) en Fm, Fv, Fm/Fo y Fv/Fm (Cuadro 1).

Cuadro 1. ANOVA de los efectos de la interacción triple y doble y de los efectos principales sobre indicadores de la eficiencia del fotosistema II (PSII) en plantas de tomate.

Fuente de variación	Indicador fotosintético				
	Fo	Fm	Fv	Fv/Fo	Fv/Fm
Ce	ns	ns	ns	*	ns
HMA	ns	ns	ns	ns	ns
NaCl	ns	***	***	***	***
Ce \times HMA	ns	ns	ns	*	*
Ce \times NaCl	ns	ns	ns	ns	ns
HMA \times NaCl	ns	ns	ns	ns	ns
Ce \times HMA \times NaCl	ns	ns	ns	ns	*
CV (%)	15.25	17.87	21.88	20.19	8.43

ns: no significativo; *: estadísticamente significativo ($p \leq 0.05$); ***: ($p \leq 0.001$). Fo: Fluorescencia mínima, Fm: Fluorescencia máxima, Fv: Fluorescencia variable, Fv/Fo: relación entre Fv/Fo, Fv/Fm: relación entre Fv/Fm.

La interacción triple de los factores mostró que en los tratamientos 50 mM NaCl + 0 μ M Ce + Sin HMA y 50 mM NaCl + 10 μ M Ce + Con HMA, la relación Fv/Fm de las hojas de tomate se redujo en ~ 25.38 y ~ 22.15 %, respectivamente en comparación con las plantas sin salinidad y sin bioestimulantes (0 NaCl + 0 μ M Ce + sin HMA). (Figura 1). La interacción doble mostró que el tratamiento 10 μ M Ce + Con HMA redujo la Fv/Fo en ~ 23.52 % respecto a las plantas del tratamiento con 0 μ M Ce + Con HMA (Figura 2). Por otra parte, el efecto principal del NaCl modificó los indicadores de la eficiencia del fotosistema. La aplicación de NaCl redujo en ~ 26.06 , 33.24 y 27.70 % la Fm, Fv y la relación Fv/Fo, respectivamente, en comparación con las plantas sin NaCl (Cuadro 2).

La respuesta en la eficiencia del PSII o en la fotosíntesis de los cultivos a la aplicación de HMA y del Ce se han estudiado previamente (Wang *et al.*, 2019). Los resultados obtenidos en esta investigación del efecto de los HMA fueron diferentes a los previamente informados. El uso de HMA en cultivos mono y dicotiledóneas mejora la eficiencia cuántica del PSII y la transferencia de electrones, lo que permite a la planta reducir el desbalance oxidativo en cloroplastos generado por el estrés salino (Wang *et al.*, 2019). Sin embargo, no se obtuvieron efectos benéficos de la aplicación de los HMA en los indicadores de la eficiencia del PSII aquí informados, lo cual puede estar asociado al estrés empleado a corto tiempo, ya que estos hongos pueden ejercer una respuesta deferencial en función del tiempo y su efecto puede ser más evidente cuando las plantas son sometidas a un factor de estrés superior a 14 d (Dastogeer *et al.*, 2020). Por otra parte, el uso de elementos del grupo de las tierras raras puede modificar la eficiencia del PSII, la asimilación de CO₂, la actividad del transporte de electrones en la membrana tilacoidal y la síntesis de clorofila (Dridi *et al.*, 2022). Además, el Ce puede participar en el proceso de evolución de oxígeno en las fotosíntesis (Yuguan *et al.*,

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

2009). En este estudio, la irrigación de tomate con 10 μM Ce no modificó significativamente la Fv/Fm. Resultados diferentes se obtuvieron en *Helianthus annuus*, donde la aplicación de 10 μM Ce durante 14 d vía irrigación con la solución nutritiva Hoagland, incrementó la Fv/Fm (Dridi *et al.*, 2022).

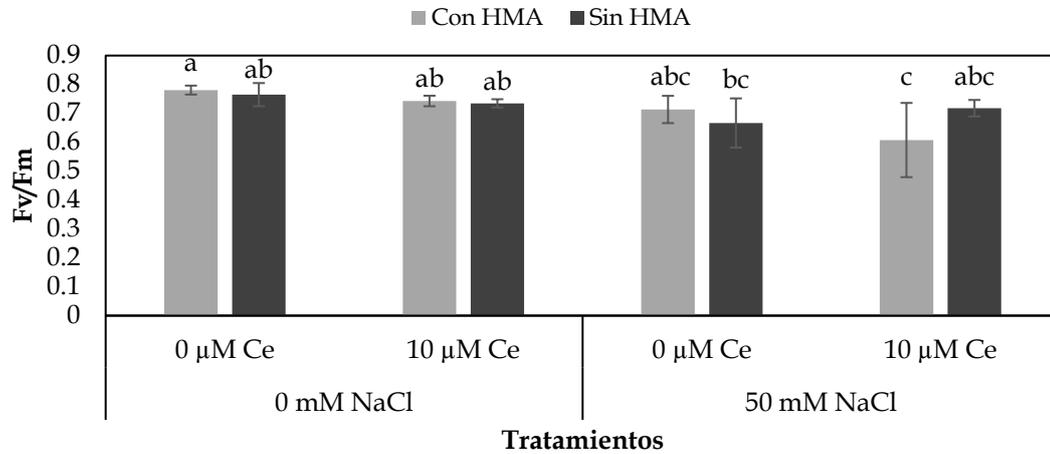


Figura 1. Efecto de la interacción triple de los factores sobre la eficiencia cuántica del fotosistema II (PSII) en plantas de tomate. Media \pm DE con letra distinta encima de la barra indica diferencia estadística significativa entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$), $n=6$.

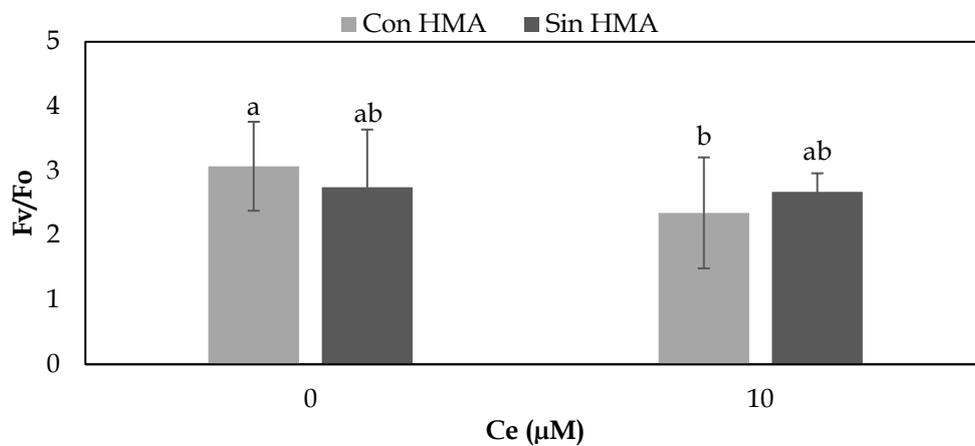


Figura 2. Efecto de la interacción Ce \times HMA sobre la relación Fv/Fo en plantas de tomate bajo estrés salino. Media \pm DE con letra distinta encima de la barra indican diferencia estadística significativa entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$), $n=12$.

Cuadro 2. Efecto de los niveles de NaCl en la Fm, Fv y Fv/Fo de hojas de tomate.

NaCl (mM)	Fm	Fv	Fv/Fo
0	909.08 \pm 148.01 a	688.75 \pm 123.98 a	3.14 \pm 0.48 a
50	667.25 \pm 126.21 b	459.75 \pm 128.05 b	2.27 \pm 0.70 b

Media \pm DE con letra distinta en la misma columna indican diferencia estadística significativa entre los niveles de NaCl, $n=16$. Fm: Fluorescencia máxima, Fv: Fluorescencia variable, Fv/Fm: relación entre Fv y Fo.

CONCLUSIONES

La aplicación de 10 μM Ce en combinación con HMA bajo estrés salino reduce la eficiencia cuántica del PSII de las plantas de tomate. Además, la aplicación de 50 mM NaCl reduce la fluorescencia de los indicadores de la eficiencia del PSII de plantas de tomate. Asimismo, bajo estrés salino la aplicación de 10 μM Ce y de HMA solos o en combinación no mejora la eficiencia cuántica del PSII (F_v/F_m).

BIBLIOGRAFÍA

- Balasubramaniam, T., Shen, G., Esmaeili, N., & Zhang, H. (2023). Plants' response mechanisms to salinity stress. *Plants*, 12(12), 2253. <https://doi.org/10.3390/plants12122253>.
- Dastogeer, K. M., Zahan, M. I., Tahjib-Ul-Arif, M., Akter, M. A., & Okazaki, S. (2020). Plant salinity tolerance conferred by arbuscular mycorrhizal fungi and associated mechanisms: a meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, 11, 588550. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.588550>.
- Dridi, N., Brito, P., Bouslimi, H., Ferreira, R., Martins-Dias, S., Caçador, I., & Sleimi, N. (2022). Physiological and biochemical behaviours and antioxidant response of helianthus annuus under lanthanum and cerium stress. *Sustainability*, 14(7), 4153. <https://doi.org/10.3390/su14074153>.
- Hossain, M. S., & Dietz, K. J. (2016). Tuning of redox regulatory mechanisms, reactive oxygen species and redox homeostasis under salinity stress. *Frontiers in Plant Science*, 7, 195225. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00548>.
- Kesawat, M. S., Satheesh, N., Kherawat, B. S., Kumar, A., Kim, H. U., Chung, S. M., & Kumar, M. (2023). Regulation of reactive oxygen species during salt stress in plants and their crosstalk with other signaling molecules—Current perspectives and future directions. *Plants*, 12(4), 864. <https://doi.org/10.3390/plants12040864>.
- Murchie, E. H., & Lawson, T. (2013). Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *Journal of Experimental Botany*, 64(13), 3983-3998. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert208>.
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.
- Wang, Y., Wang, J., Yan, X., Sun, S., & Lin, J. (2019). The effect of arbuscular mycorrhizal fungi on photosystem II of the host plant under salt stress: A meta-analysis. *Agronomy*, 9(12), 806. <https://doi.org/10.3390/agronomy9120806>.
- Yuguan, Z., Min, Z., Luyang, L., Zhe, J., Chao, L., Sitao, Y., Yanme, D., Na, L., & Fashui, H. (2009). Effects of cerium on key enzymes of carbon assimilation of spinach under magnesium deficiency. *Biological Trace Element Research*, 131, 154-164. <https://doi.org/10.1007/s12011-009-8354-5>.

COBERTURA VEGETAL COMO ALTERNATIVA A LA DISPERSIÓN AMBIENTAL DE JALES

**Margarita Beltrán Villavicencio¹; Isabel Zubieta Martínez¹; Israel Labastida
Núñez¹; María Aurora Armienta Hernández²**

¹Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. Av. San Pablo No.420, Col. Nueva el Rosario, C.P.02128, Alcaldía Azcapotzalco, CDMX. e.mail: mbv@azc.uam.mx

²Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geofísica, UNAM, 04510 CDMX, México.

RESUMEN

La minería es una de las actividades económicas de mayor tradición que ha contribuido, en gran medida, con el desarrollo económico de México. Esta actividad genera residuos, entre los que se encuentran los jales mineros, que como disposición final se apilan en presas a la intemperie. En estas condiciones puede ocurrir erosión, transporte eólico y pluvial, así como oxidación y acidificación. En este trabajo se analizaron jales de diferentes presas, que fueron los sustratos para evaluar el crecimiento de la especie vegetal pasto, respecto a un testigo sin contaminación. Se llevó a cabo una caracterización fisicoquímica de los sustratos y una evaluación del crecimiento vegetal durante 21 días, según la guía OCDE 208. En todos los sustratos se presentó crecimiento vegetal aún en condiciones adversas como pH fuertemente ácido y presencia de altas concentraciones de metales pesados, pero con una inhibición en términos de longitud de la parte aérea de la planta de entre 37.6% y 70% y de hasta del 88% en la raíz; respecto al testigo. La especie vegetal pasto presentó características que la hacen apta para evaluarse como cobertura vegetal en presas de jales.

PALABRAS CLAVE

Fitorremediación; Fitotoxicidad; Metales pesados; Pastos.

INTRODUCCIÓN

México es el principal productor de plata a nivel mundial, el segundo en fluorita, el quinto en plomo y ocupa 10 posiciones en otros minerales. En el año 2021, se registró un 10.4% de aumento en empleos directos respecto al 2020, siendo esta actividad minero - metalúrgico muy importante en el país (SE, 2024). Un problema ambiental lo representan los jales, que son los residuos sólidos resultantes de las actividades primarias de separación y concentración de los minerales; los cuales se almacenan en presas (SEMARNAT, 2004). Tanto el confinamiento como la contención han sido los planes de manejo de jales, sin considerar los cambios fisicoquímicos a largo plazo y su dispersión en el ambiente (Santini y Banning, 2016).

Estos residuos constituyen una mayoría respecto al material procesado, por lo que la cantidad de jales que se envían a las presas de disposición final es de miles de toneladas. Los elementos potencialmente tóxicos más comúnmente presentes en ellos son: plomo, cadmio, zinc, arsénico, selenio y mercurio. El transporte de contaminantes en la periferia, puede contaminar suelos y mantos acuíferos, lo que pone en riesgo al ecosistema y la salud humana (Schoenberger, 2016).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

La fitoestabilización tiene como objetivo el uso de plantas para inmovilizar contaminantes en suelos mediante la adsorción en la superficie de la raíz y acumulación en raíces, o precipitación provocada por la presencia de exudados en la zona de la rizósfera. Este mecanismo conduce a la estabilización física de los suelos a través de una reducción en la movilidad, toxicidad y/o biodisponibilidad de los contaminantes (Padmavathiamma y Li, 2007).

Las características de las especies vegetales de pastos, las hacen un foco de atención en procesos de fitorremediación por la tolerancia a metales y su alta generación de biomasa. *Festuca rubra* es una planta de la especie de gramíneas perennes de talla media, *Cynodon dactylon* crece de entre 10 a 30 cm de alto y tiene rizomas que pueden encontrarse a una profundidad de más de 20 a 25 cm en suelos arenosos; se usa para estabilizar orillas de carreteras y canales (Caseley *et al.*, 1996), *Lolium multiflorum* se reproduce en suelos bien drenados y ricos en nitrógeno. *Pennisetum* es una planta perenne que se adapta bien a todo tipo de suelo, crece en terrenos baldíos y tolera sequías (Estrada, 2004; Álvarez, 2006).

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización fisicoquímica de los sustratos. Se llevó a cabo según la NOM-021-SEMARNAT-2000. El suelo testigo se obtuvo de Zimapán, Hidalgo y los jales de: a) la Presa San Miguel Viejo, que están intemperizados; b) jales grises de una presa reciente sin procesos de oxidación; c) Presa Sago, con procesos de intemperización media; y d) de la unidad minera La Colorada en Durango. Los jales de los incisos a, b y c, corresponden a Zimapán, Hidalgo. La concentración del metal/metaloide que se tomó como referencia de estudio en los jales, se determinó de acuerdo con la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, con previa digestión ácida en un horno de microondas (CEM Mars X) y posteriormente se analizó por absorción atómica (Perkin Elmer Analyst 100).

Verificación de la viabilidad de las semillas de una mezcla de pastos (*Festuca rubra*, *Cynodon dactylon*, *Lolium multiflorum* y *Pennisetum* sp.). Las semillas se germinan en caja Petri con agua, a temperatura constante en una incubadora (OCDE, 2006), con 10 réplicas y la germinación debe ser superior al 70% para considerarse viable para experimentación.

Evaluar el crecimiento de la especie vegetal en los sustratos de prueba según la guía OCDE 208 (OCDE, 2006). Las semillas se sembraron en los sustratos con cuatro réplicas y se evaluó el crecimiento en 21 días contados a partir de que el 50% de las semillas en el suelo testigo germinó. La experimentación se llevó a cabo en rizotrones que permiten observar la raíz, con una base desmontable para facilitar la extracción de las plantas.

Monitoreo de la temperatura y la humedad del invernadero. Se verificó el cumplimiento de lo que establece la guía OCDE 208, con un dispositivo Data Logger EL-USB-2+, con medición de 0 a 100 % de HR, de -35 a +80 °C ± 0.1 °C.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presenta la caracterización fisicoquímica de los sustratos (jales) y del suelo testigo. Una de las características relevantes es el pH; el suelo de referencia y los jales grises son medianamente alcalinos; para los otros tres jales, son fuertemente ácidos (SEMARNAT, 2000).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cuadro 1. Caracterización fisicoquímica de los sustratos.

Parámetros	Suelo testigo	Jales San Miguel	Jales grises, Zimapán	Jales Sago, Zimapán	Jales Durango
pH (unidades)	7.6 ± 0.4	2.37±0.14	7.43 ± 0.03	4.44 ± 0.37	1.65 ± 0.06
Densidad aparente (g/cm ³)	1.15 ± 0.05	1.23 ± 0.1	1.7 ± 0.02	1.47 ± 0.06	1.01 ± 0.09
Densidad real (g/cm ³)	2.4 ± 0.2	2.53 ± 0.16	2.6 ± 0.01	2.78 ± 0.18	2.43 ± 0.14
Porosidad (%)	52.08	51.38	73.07	47.12	58.43
Textura del sustrato	Arcilloso	Franco arcilloso	Arenoso	Arenoso	Arcillo arenoso
Humedad a capacidad de campo (%)	60.5 ± 4.4	68.5 ± 3.6	30.04 ± 2.65	38.46 ± 2.11	31.83 ± 1.14
Materia orgánica (%)	5.6 ± 0.1	1.2±0.1	1.28 ± 0.27	1.25 ± 0.5	0.07 ± 0.02
Nitrógeno (nivel)	Muy alto	Trazas	Alto	Trazas	Medio
Fósforo (nivel)	Alto	Medio	Trazas	Medio	Ausente
Potasio (nivel)	Bajo	Trazas	Medio	Trazas	Trazas
Conductividad eléctrica (dS/m)	1.01 ± 0.05	5.8 ± 1.0	2.18 ± 0.11	2.98 ± 0.12	14.23 ± 1.12
Metal/metaloide (mg/kg sustrato)	---	A _{Soluble} =778 ± 85	Sb= 361.50 ± 72.83	Pb=2 524.89 ± 53.64	Pb=2 599.95 ± 77.88

El pH es uno de los factores que influyen en el crecimiento de una planta, aún en condiciones fuertemente ácidas se presentó desarrollo vegetativo, en los jales de Durango con pH=1.67 unidades. Fue necesario agregar una capa de 2 mm de roca caliza nativa de Zimapán, Hidalgo, que neutraliza la acidez ocasionada por los sulfuros presentes (Salas *et al.*, 2020), los jales que se consideraron para este estudio han sido reportados previamente como ricos en ellos. Cuando el sustrato es fuertemente ácido, los elementos traza contenidos en los jales y en la caliza, aumentan su solubilidad y son asimilados como nutrientes, motivo por el cual pudo presentarse desarrollo vegetativo (Casanova, 2008). La materia orgánica es un indicador de fertilidad, en suelos con pH menores de 5 presentan valores bajos, que limitan la acción bacteriana y de la macroflora; lo que se verifica en los jales en general con valores bajos de materia orgánica (SEMARNAT, 2000). En Figura 1 se visualiza el crecimiento vegetal a 21 días en los sustratos de prueba y en la Figura 2 la longitud de la planta y la generación de biomasa.

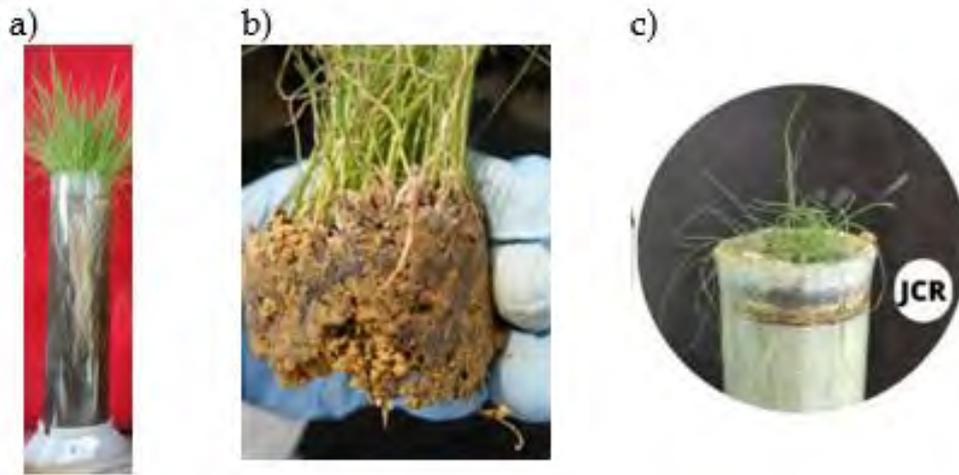


Figura 1. Crecimiento del pasto en: a) suelo testigo, b) jales de San Miguel Viejo (pH=2.35) y c) jales de Durango (pH=1.65 con capa de roca caliza).

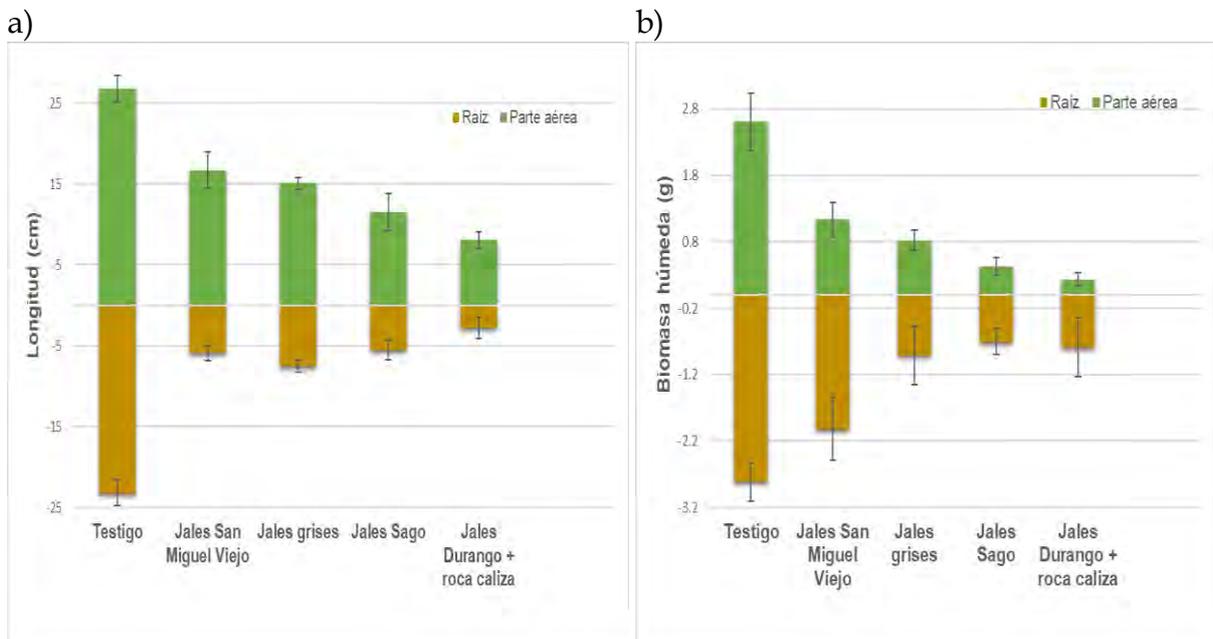


Figura 2. Crecimiento vegetal en los sustratos a) Longitud, b) Biomasa húmeda.

En todos los sustratos se tuvo desarrollo vegetativo aún en los fuertemente ácidos y altas concentraciones de metales/metaloides, sin embargo, se presentó menos biomasa. La inhibición de longitud de la parte aérea respecto al testigo fue: 1) jales con As y pH=2.37 unidades, se presentó una inhibición del 37.6 %, 2) jales con Sb y pH=7.43, del 43.5 %, 3) jales con As y pH=4.44, del 57 % y 4) jales con As y un pH=1.65, con una capa superior de roca caliza, 70 % de inhibición. En esta última condición, la presencia de caliza influye en la especiación, neutraliza la acidez y disminuye la movilidad de la mayoría de los metales tóxicos y metaloides (Armienta *et al.*, 2012).

Zacaría *et al.* (2012), llevaron a cabo un proceso de fitoextracción *in situ* en un suelo con 717 mg As/kg y 2 743 mg Cu/kg, por 120 días. Recomiendan la aplicación de la mezcla de gramíneas, pastos, debido a que existe una alta producción de biomasa,

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

asimilan altas concentraciones en el tejido vegetal de más de 600 mg As/kg de biomasa, y es de fácil poda. Todos estos factores facilitan su aplicabilidad.

CONCLUSIONES

La concentración de metales altamente biodisponibles en los sustratos y el pH por su carácter fuertemente ácido de tres de ellos, son los factores que influyen en la inhibición en el crecimiento de la especie vegetal pasto, aunado a otras características fisicoquímicas de los sustratos. Sin embargo, la tolerancia de la mezcla de pastos a estas condiciones, la hacen apta para procesos de fitorremediación y como una opción viable para aplicarse como cobertura vegetal en presas de jales, y así, minimizar la transferencia de los contaminantes hacia el entorno. Es recomendable la ampliación de los periodos de prueba para garantizar la supervivencia de la especie vegetal.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez M. (2006) Césped (Una guía esencial para el cuidado y la renovación del césped de todo tipo de jardines). Editorial Albatros SACI.
- Armienta M.A., Villaseñor G., Cruz O., Ceniceros N., Aguayo A. y Morton O. (2012). Geochemical processes and mobilization of toxic metals and metalloids in an As-rich base metal waste pile in Zimapán, Central Mexico. *Appl. Geochem.* 27 (11), 2225-2237. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2012.01.015>
- Casanova E. (2008). Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Central de Venezuela. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. 1ra edición. Venezuela. Colección de estudios. ISBN 980000484X, 978980000484
- Caseley J., Parker C., Labrada R., (1996). Manejo de malezas para países en desarrollo. Italia. Editorial FAO.
- Estrada J. (2004) Pastos y forrajes para el territorio colombiano. 2da edición, Colombia, editorial Universidad de Caldas.
- OCDE. Organization for Economic Cooperation and Development. 2006. Terrestrial Plants Test. Seedling Emergence and Seedling Growth Test. Guideline for Testing of Chemicals. No. 208. París, Francia.
- Padmavathiamma, P. & Li, L. (2007). Phytoremediation Technology: Hyper-Accumulation Metals in Plants. *Water, Air, and Soil Pollution.* 184. 105-126. [10.1007/s11270-007-9401-5](https://doi.org/10.1007/s11270-007-9401-5).
- Salas U., F., Guadarrama G., Gutiérrez B., J., García L., N., Fernández V., G. Alarcón H., M. T. (2020). Determinación de posible drenaje ácido de mina y caracterización de jales mineros provenientes de la mina cerro de mercado, Durango, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 36(3), 729-744.
- Santini T.C. y Banning N.C. (2016). Alkaline tailings as novel soil forming substrates: Reframing perspectives on mining and refining wastes. *Hydrometallurgy* 164, 38-47. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2016.04.011>
- Schoenberger E. (2016). Environmentally sustainable mining: The case of tailings storage facilities. *Resour. Policy* 49, 119-128. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2016.04.009>
- Secretaría de Economía. (2024). Minería. Disponible en: <https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/mineria> Consultado el 28 de julio de 2024.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- SEMARNAT. (2000). 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.
- SEMARNAT. (2004). NOM-141-SEMARNAT-2003. Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales.
- SEMARNAT. (2007). NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.
- Zacarías S.M., Beltrán V.M., Torres B.L.G., González A.A. (2012). Assessment of in situ and ex situ phytoremediation with grass mixtures in soils polluted with nickel, copper, and arsenic. *Physics and Chemistry of the Earth*. 37-39 (2012) 52-57. doi:10.1016/j.pce.2010.11.006

CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE ESPORAS DE *Trichoderma afroharzianum* CON HIDROLATOS DE *Foeniculum vulgare*

**Diego Raúl Colmena-Chino; Miguel Angel Serrato-Cruz;
Miguel Angel Ruíz-González; Roney Solano-Vidal**

Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5. Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. Autor de correspondencia: al18104475@chapingo.mx

RESUMEN

La producción de inóculo de *Trichoderma* spp. es una alternativa para contrarrestar las enfermedades fúngicas. El uso de agentes de biocontrol puede minimizar la aplicación de compuestos químicos que son tóxicos para el suelo. El objetivo del estudio fue evaluar hidrolato de *F. vulgare* con diferentes tiempos de conservación sobre el crecimiento y producción de esporas de *T. afroharzianum*. El hidrolato de *F. vulgare* con diferentes tiempos de conservación (1, 2 y recién destilado) se evaluó *in vitro* con medio PDA sobre el crecimiento de *T. afroharzianum*. Se utilizaron dos concentraciones por cada hidrolato (3 y 5 %). Resultaron seis tratamientos y el control. Cada tratamiento tuvo cinco réplicas y se usó un Diseño Completamente al Azar. La producción de esporas se estimó a partir de cultivos de cuatro días de crecimiento en cámara Neubauer. Cada conteo se hizo por triplicado. El análisis estadístico ($p \leq 0.05$) se hizo en Software R versión 4.3.1. Los hidrolatos con menor tiempo de conservación (1 año y recién destilado) promovieron el crecimiento de *T. afroharzianum* durante el día 1 y 2 sin diferencias estadísticas con el control. El hidrolato de dos años redujo el crecimiento del hongo. La producción de esporas fue mayor con el hidrolato de dos años al 3 y 5 % (2.25×10^7 y 1.95×10^7 esporas mL⁻¹) y menor con el hidrolato recién destilado (7.50×10^6). Se confirmó que el tiempo y el método de conservación del hidrolato influye sobre el crecimiento y producción de esporas de *T. afroharzianum*.

PALABRAS CLAVE

Conservación; Crecimiento; Esporas.

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades en las plantas son causadas principalmente por hongos fitopatógenos. El rendimiento y la calidad de los cultivos también es afectado (Li *et al.*, 2017). Por ello, se han utilizado métodos de control químico y biológico.

El control químico es el principal método utilizado, sin embargo, estos productos afectan las funciones del ecosistema en los suelos (Bernasconi *et al.*, 2021). El uso de especies del género *Trichoderma* spp. como biocontroladores ha sido eficiente para la protección de las plantas (Guzmán-Guzmán *et al.*, 2023).

En el género *Trichoderma* spp. se han registrado alrededor de 506 metabolitos, muchos con potencial para su uso en la agricultura (Bai *et al.*, 2023). Los compuestos químicos derivados de *Trichoderma afroharzianum* inhiben *in vitro* e *in vivo* el crecimiento de patógenos como *Fusarium oxysporum*, *Fusarium proliferatum* y *Alternaria alternata* (Khruengsai *et al.*, 2021; Wu *et al.*, 2022; Philip *et al.*, 2024).

También, se ha observado efecto degradante sobre el ácido oxálico (factor patogénico) contra *Botrytis cinerea* y efectos estimulantes en las plantas (Zhao *et al.*, 2021). Esto son aspectos importantes para continuar la exploración y producción de biomasa fungosa de este organismo para su aplicación práctica en la agricultura. Por otra parte, se ha propuesto el uso de hidrolatos como insumo antifúngico (Taglienti *et al.*, 2022). Aunque el hidrolato en altas concentraciones inhibe el crecimiento de algunos hongos, también se ha demostrado que a bajas concentraciones (3-7 %) reduce el tiempo de crecimiento de *Trichoderma harzianum* y promueve su productividad (Ruíz-González *et al.*, 2024).

Este mismo efecto se ha observado con aceite esencial de *Citrus sinensis* sobre diferentes cepas de *Trichoderma asperellum* para un uso simultaneo de biocontrol (Infante *et al.*, 2013). Varios compuestos químicos presentes en los hidrolatos y aceites esenciales son susceptibles a la degradación por calor (Mahanta *et al.*, 2021).

Los procesos de oxidación y polimerización pueden dar lugar a una pérdida de calidad y propiedades biológicas (Turek y Stintzing, 2013). Por ello, el objetivo del estudio fue evaluar hidrolato de *F. vulgare* con diferentes tiempos de conservación sobre el crecimiento y producción de esporas de *T. afroharzianum*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el laboratorio de Resistencia Genética en la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) durante marzo-junio 2024. Se utilizó hidrolato de *F. vulgare* obtenido por hidrodestilación a partir de tejido fresco (tallos, hojas y flores) de plantas cultivadas sin fertilización en invernadero en el campo experimental Chapingo, México.

Los hidrolatos se conservaron en frascos de plástico y temperatura ambiente hasta su uso. Se preparó medio Agar Dextrosa y Papa (PDA) combinado con hidrolato conservado de 1 y 2 años e hidrolato recién destilado. Por cada tratamiento se hicieron cinco réplicas y se usó un Diseño Completamente al Azar. Se usó como control medio PDA sin hidrolato. Las condiciones de esterilización en autoclave fueron: 120 °C durante 17 min.

Se usó una cepa de *T. afroharzianum* resguardada en el Laboratorio de Resistencia Genética en la UACH (registro PP843541.1). El medio PDA se inoculó con micelio de *T. afroharzianum* obtenido con un sacabocado estéril a partir de una colonia de cinco días de crecimiento. Las condiciones de incubación fueron: 27 ± 2 °C en estufa de cultivo y oscuridad durante tres días. El crecimiento radial del hongo se registró cada 24 h para estimar la velocidad de crecimiento.

La producción de esporas se estimó mediante una suspensión de esporas preparada con Tween 80 (0.01 %). El conteo se hizo con cámara Neubauer, se hicieron tres repeticiones de conteo por cada tratamiento. Los datos obtenidos se sometieron a una prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) mediante el Software R versión 4.3.1 (2023-06-16).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los hidrolatos con menor tiempo de conservación (1 año y recién destilado) promovieron el crecimiento de *T. afroharzianum* durante el día 1 y 2, aunque no hubo diferencias estadísticas con el control (Cuadro 1). El hidrolato de dos años redujo el crecimiento del hongo sin diferencias estadísticas, excepto el hidrolato de dos años al 5 % en el día 1. Un resultado similar se observó con el hidrolato de *F. vulgare* al 5 % sobre *T. harzianum* (Ruíz-González *et al.*, 2024). El menor crecimiento de *T. afroharzianum* con el hidrolato de dos años se puede asociar con la degradación de los compuestos químicos. Los hidrolatos contienen trazas de aceites esenciales y varios corresponden a monoterpenos (Jakubczyk *et al.*, 2021). Se ha confirmado que en muestras de aceites esenciales conservadas durante 72 semanas hay degradación en los compuestos químicos, principalmente los monoterpenos (Turek y Stintzing, 2012).

Cuadro 1. Velocidad de crecimiento de *T. afroharzianum* en medio PDA enriquecido con hidrolato de *F. vulgare*.

Tratamientos	Día 1	Día 2	Día 3
Control	24.87 ab	53.10 a	90 a
<i>F. vulgare</i> 3 %	26.49 ab	56.61 a	90 a
<i>F. vulgare</i> 5 %	26.13 ab	55.22 a	90 a
<i>F. vulgare</i> 3 % de un año	25.84 ab	54.33 a	90 a
<i>F. vulgare</i> 5 % de un año	27.22 a	55.40 a	90 a
<i>F. vulgare</i> 3 % de dos años	24.26 ab	55.35 a	90 a
<i>F. vulgare</i> 5 % de dos años	23.79 b	52.37 a	90 a
CV	4.37	4.48	4.48
DMS	2.85	7.04	2.85×10 ⁻¹⁴

DMS: Diferencia Mínima Significativa, CV: Coeficiente de Variación. Medias con letras iguales entre columnas no son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Aunque el hidrolato con conservación de dos años redujo el crecimiento de *T. afroharzianum* (Cuadro 1), la producción de esporas fue mayor (Cuadro 2). Sobresale la concentración del 3 % (2.25×10^7) seguida de la concentración del 5 % del mismo hidrolato (1.95×10^7) que fueron estadísticamente diferentes con la concentración del 5 % con hidrolato recién destilado (7.50×10^6). Esto confirma los resultados obtenidos por Ruíz-González *et al.* (2024) donde una concentración baja (3 %) también indujo una mayor producción de esporas en *T. harzianum*. Con los resultados obtenidos en este estudio también se confirma que el tiempo y el método de conservación del hidrolato influye en el efecto de estos. Esto sucede porque algunos factores como la temperatura, la luz y la disponibilidad de oxígeno afectan la integridad de los compuestos químicos presentes en este tipo de sustancias (Turek y Stintzing, 2013).

Cuadro 2. Producción de esporas de *T. afroharzianum* en medio de cultivo enriquecido con hidrolato de *F. vulgare*.

Tratamiento	Número de esporas mL ⁻¹
<i>F. vulgare</i> 3 % de dos años	2.25 × 10 ⁷ a
<i>F. vulgare</i> 5 % de dos años	1.95 × 10 ⁷ a
Control	1.90 × 10 ⁷ a
<i>F. vulgare</i> 3 %	1.65 × 10 ⁷ ab
<i>F. vulgare</i> 3 % de un año	1.15 × 10 ⁷ ab
<i>F. vulgare</i> 5 % de un año	1.15 × 10 ⁷ ab
<i>F. vulgare</i> 5 %	7.50 × 10 ⁶ b
CV	4.82
DMS	1.11 × 10 ⁷

DMS: Diferencia Mínima Significativa, CV: Coeficiente de Variación. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

El tiempo de conservación y la concentración del hidrolato de *F. vulgare* influye sobre el crecimiento y esporulación de *T. afroharzianum*. El hidrolato al 3 % conservado durante dos años y a temperatura ambiente se puede utilizar para producción de esporas de este hongo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bai, B., Liu, C., Zhang, C., He, X., Wang, H., Peng, W., & Zheng, C. (2023). Trichoderma species from plant and soil: An excellent resource for biosynthesis of terpenoids with versatile bioactivities. *Journal Of Advanced Research*, 49, 81-102. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2022.09.010>
- Bernasconi, C., Demetrio, P. M., Alonso, L. L., Mac Loughlin, T. M., Cerdá, E., Sarandón, S. J., & Marino, D. J. (2021). Evidence for soil pesticide contamination of an agroecological farm from a neighboring chemical-based production system. *Agriculture Ecosystems & Environment* 313, 107341. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107341>
- Guzmán-Guzmán, P., Kumar, A., De los Santos-Villalobos, S., Parra-Cota, F. I., Del Carmen Orozco-Mosqueda, M., Fadiji, A. E., Hyder, S., Babalola, O. O., & Santoyo, G. (2023). *Trichoderma* species: our best fungal allies in the biocontrol of plant diseases-a review. *Plants* 12(3), 432. <https://doi.org/10.3390/plants12030432>
- Infante, D., Coca, B. M., Sánchez, Y., & Pino, O. (2013). Effect of essential oils on 18 four strains of *Trichoderma asperellum* samuels. *Revista de Protección Vegetal* 28(2), 153-157.
- Jakubczyk, K., Tuchowska, A., & Janda-Milczarek, K. (2021). Plant hydrolates – Antioxidant properties, chemical composition and potential applications. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 142, 112033. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.112033>

- Khruengchai, S., Pripdeevech, P., D'Souza, P. & Panuwet, P. (2021). Biofumigation activities of volatile compounds from two *Trichoderma afroharzianum* strains against *Fusarium* infections in fresh chilies. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 101, 14, 5861-5871. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11238>
- Li, J., Gu, F., Wu, R., Yang, J., & Zhang, K. (2017). Phylogenomic evolutionary sur-14 veys of subtilase superfamily genes in fungi. *Scientific Reports* 7(1), 15. <https://doi.org/10.1038/srep45456>
- Mahanta, B. P., Bora, P. K., Kemprai, P., Borah, G., Lal, M., & Haldar, S. (2021). Thermolabile essential oils, aromas and flavours: Degradation pathways, effect of thermal processing and alteration of sensory quality. *Food Research International* 145, 110404. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110404>
- Philip, B., Behiry, S. I., Salem, M. Z. M., Amer, M. A., El-Samra, I. A., Abdelkhalek, A., & Heflish, A. (2024). *Trichoderma afroharzianum* TRI07 metabolites inhibit *Alternaria alternata* growth and induce tomato defense-related enzymes. *Scientific Reports* 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52301-2>
- Ruíz-González, M. A., Colmena-Chino, D. R., Jerónimo-Ponce, F., Solano-Vidal, R., & Serrato Cruz, M. Ángel. (2024). Evaluation of aromatic plants hydrosols on the growth of *Trichoderma harzianum*. *AgroProductividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v17i7.2813>
- Taglienti, A., Donati, L., Ferretti, L., Tomassoli, L., Sapienza, F., Sabatino, M., Di Massimo, G., Fiorentino, S., Vecchiarelli, V., Nota, P., & Ragno, R. (2022). *In vivo* antiphytoviral activity of essential oils and hydrosols from *Origanum vulgare*, *Thymus vulgaris*, and *Rosmarinus officinalis* to control zucchini yellow 16 mosaic virus and tomato leaf curl New Delhi virus in *Cucurbita pepo* L. *Frontiers in Microbiology* 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.840893>
- Turek, C., & Stintzing, F. C. (2012). Impact of different storage conditions on the quality of selected essential oils. *Food Research International* 46(1), 341-353. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.12.028>
- Turek, C., & Stintzing, F. C. (2013). Stability of essential oils: a review. *comprehensive reviews*. In *Food Science And Food Safety*, 12(1) 40-53. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12006>
- Wu, X., Lyu, Y., Ren, H., Zhou, F., Zhang, X., Zhao, X., Zhang, G., & Yang, H. (2022). Degradation of oxalic acid by *Trichoderma afroharzianum* and its correlation with cell wall degrading enzymes in antagonizing *Botrytis cinerea*. *Journal Of Applied Microbiology* 133(5), 2680-2693. <https://doi.org/10.1111/jam.15617>
- Zhao, J., Liu, T., Liu, W., Zhang, D., Dong, D., Wu, H., Zhang, T., & Liu, D. (2021). Transcriptomic insights into growth promotion effect of *Trichoderma afroharzianum* TM2-4 microbial agent on tomato plants. *Journal Of Integrative Agriculture* 20(5), 1266-1276. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(20\)63415-3](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(20)63415-3)

EFFECTO DE LA ZEOLITA EN EL CULTIVO DE CHILE JALAPEÑO (*Capsicum annuum*), PRODUCIDO EN SUSTRATO

Víctor Manuel Ordaz Chaparro¹; Sara Monzerrat Ramírez Olvera^{1*}; Miriam Alejandra Flores Buendía²

¹Posgrado de Edafología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. ²División de Ingeniería Química, Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán, Chimalhuacán, Estado de México, México. Autor para correspondencia: ramirez.sara@colpos.mx

RESUMEN

Las zeolitas son minerales con alta capacidad de retención de agua e intercambio catiónico, que mejoran la disponibilidad de agua y nutrientes. Por lo que es de suma importancia determinar su influencia en cultivos de interés agrícola. El objetivo de esta investigación fue evaluar la incorporación de zeolita al sustrato y su efecto en crecimiento y rendimiento de frutos de chile jalapeño (*Capsicum annuum*). Plántulas de chile jalapeño se trasplantaron en macetas de polietileno negro, en cuyo interior contenían los tratamientos de zeolita adicionados al sustrato. El sustrato consistió en la mezcla de tezontle y espuma de polifenol (1:1), y zeolita al 0, 1 y 2%. Los frutos maduros se cosecharon y se registró el rendimiento de frutos por planta, el número, peso, longitud y ancho de frutos. La adición de zeolita al sustrato incrementa el número de frutos, reduce el peso fresco, y no altera el rendimiento, la longitud y el ancho de frutos. La zeolita tiene influencia en el crecimiento de frutos.

PALABRAS CLAVE

Aluminosilicatos; Minerales; Número de frutos; Peso fresco; Solanáceas.

INTRODUCCIÓN

Las zeolitas son aluminosilicatos porosos de estructura cristalina, alta capacidad de adsorción, intercambio catiónico, área superficial, porosidad y retención de agua (Lin *et al.*, 2021; Jarosz *et al.*, 2022). Así como, alta afinidad a elementos esenciales para las plantas, como el amonio, fosfato, nitrato, potasio y sulfato (Mondal *et al.*, 2021).

El suministro exógeno de zeolita a plantas ha mostrado favorecer el crecimiento vegetal, al mejorar la disponibilidad de agua y nutrientes en la zona de la raíz (Jarosz *et al.*, 2022). En este sentido, es fundamental su evaluación en cultivos de alta demanda e importancia en la población mexicana.

El chile es un cultivo de suma importancia en la industria alimentaria y farmacéutica, al ser fuente de vitaminas, minerales, flavonoides, carotenoides y capsaicinoides de importancia en la salud humana (Hernández-Pérez *et al.*, 2020).

Para el consumo humano los frutos de chile se comercializan congelados, deshidratados, encurtidos y enlatados (Aguirre y Muñoz, 2015). Y como materia prima para la elaboración de colorantes, jabones y productos farmacéuticos con propiedades analgésicas, antibacterianas, antiinflamatorias y analgésicas (Chakrabarty *et al.*, 2017).

Por lo que es fundamental el incremento de la producción de este cultivo, y eficientizar los recursos como el agua y fertilizantes. El objetivo de esta investigación fue evaluar la incorporación de zeolita al sustrato, y su efecto en el crecimiento de frutos de chile jalapeño.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la obtención de las plántulas de chile jalapeño (*Capsicum annuum*) se utilizaron semillas de chile cv. 56SG, las cuales se germinaron en turba como sustrato, y a los 45 d después de la siembra, las plántulas se transfirieron a bolsas de polietileno negro de 10 L de capacidad, en cuyo interior contenían sustrato, y los tratamientos de zeolita evaluados.

El sustrato consistió en tezontle y espuma de polifenol en relación (1:1), con tamaño de partícula de 1 cm para el tezontle, y fragmentos mayores a 2 cm para la espuma de polifenol. Al sustrato se le adicionó zeolita de la marca comercial Prosemart Tehuacan® de tamaño de partícula de 2.28 mm, a concentraciones del 0, 1 y 2% (v/v). El manejo de la nutrición en las plantas chile se realizó con solución nutritiva Steiner (Steiner, 1984), a concentraciones crecientes en función de la edad de la planta.

A partir de los 110 días después del trasplante, se realizó el primer corte de frutos maduros, con un total de cuatro cortes. En cada corte se registró el rendimiento de frutos por planta, el número de frutos, peso fresco de fruto, y longitud y ancho de frutos. Con los datos obtenidos en cada corte se determinó el rendimiento y número de frutos acumulado.

Finalmente, a los datos obtenidos en cada variable se les verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, y se realizó en análisis de varianza y (ANOVA), y la prueba de comparación de medias Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación de zeolitas a plantas ha mostrado efectos positivos en el crecimiento vegetal, al mejorar el rendimiento y calidad de cultivos agrícolas. En este estudio el número de frutos por planta (Figura 1A), incrementó significativamente con la adición de 1 y 2% de zeolita al sustrato, con relación al tratamiento testigo (sin adición de zeolita). Mientras que, las dos concentraciones evaluadas de zeolita disminuyeron el peso fresco de fruto en relación al tratamiento testigo (Figura 1B).

Por otro lado, la aplicación de zeolita a 1 y 2% no modificó significativamente el rendimiento de fruto por planta (Figura 1C), la longitud ni ancho de frutos, en relación al tratamiento testigo (Figura 2A,B).

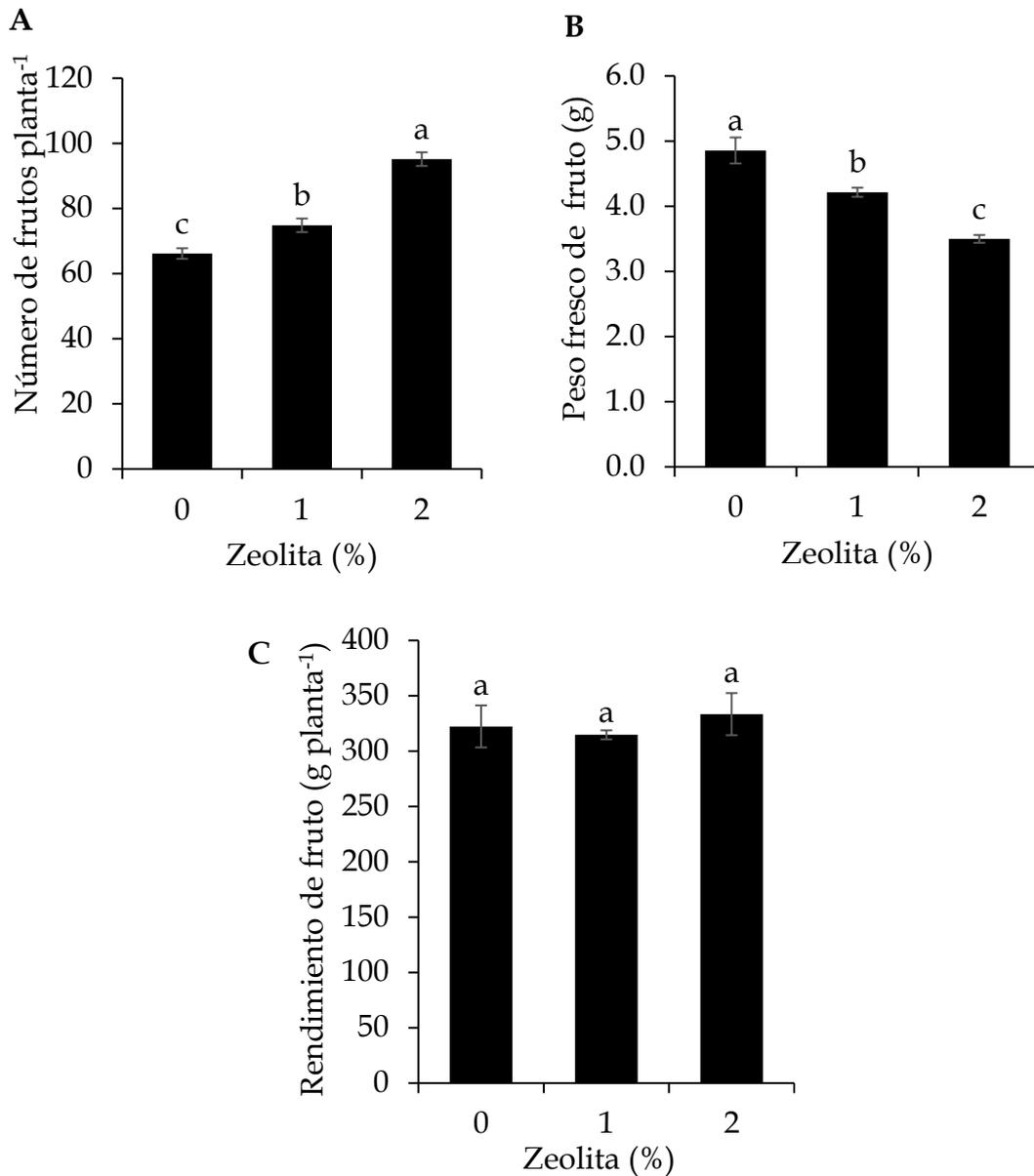


Figura 1. Número (A), peso fresco (B), y rendimiento (C) de frutos de chile jalapeño (*Capsicum annuum*) producido en sustrato con 0, 1 y 2% de zeolita. Medias \pm EE con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

La reducción del peso fresco de frutos por efecto de la zeolita, está relacionada con el contenido de agua en la planta y el fruto. Al respecto se ha reportado que las zeolitas retienen agua hasta el 50% de su volumen, pero los poros pequeños de este mineral pueden retener el agua, y no dejarla disponible para la planta (Szatanik-Kloc *et al.*, 2021).

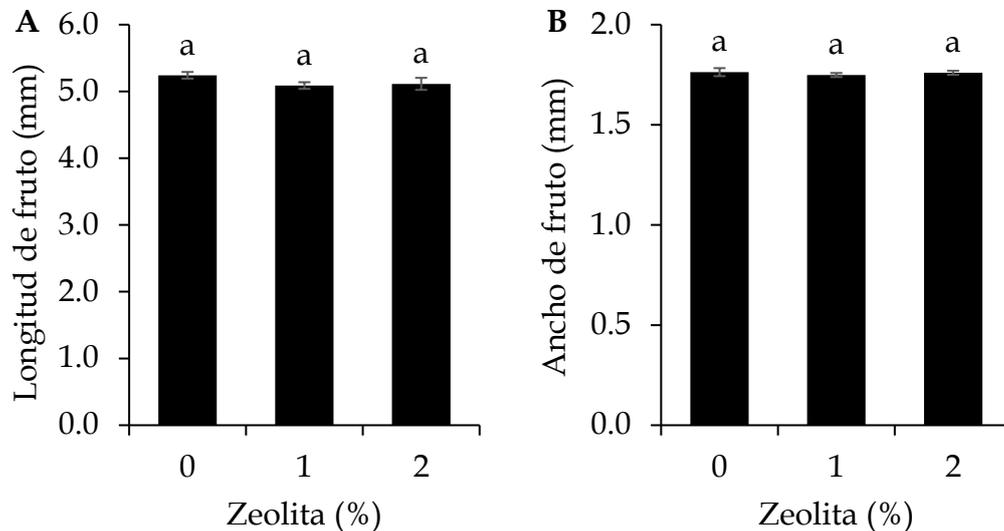


Figura 2. Longitud (A) y ancho (B) de frutos de chile jalapeño (*Capsicum annuum*), producido en sustrato con 0, 1 y 2% de zeolita. Medias \pm EE con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

La incorporación de zeolita al sustrato incide en el crecimiento de frutos de chile jalapeño. El incremento en el número de frutos por efecto de la zeolita, permite considerar este mineral como complemento a la fertilización para mejorar la producción. Sin embargo, la aplicación de zeolita disminuyó el peso fresco de fruto, por lo que será necesario continuar su evaluación en relación a su efecto en el transporte y acumulación de agua.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre-Hernández, E., & Muñoz-Ocotoero, V. (2015). El chile como alimento. *Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, 66(3), 16-23.
- Chakrabarty, S., Islam, A. M., & Islam, A. A. (2017). Nutritional benefits and pharmaceutical potentialities of chili: A review. *Fundamental and Applied Agriculture*, 2(2), 227-232.
- Hernández-Pérez, T., Gómez-García, M. D. R., Valverde, M. E., & Paredes-López, O. (2020). *Capsicum annuum* (hot pepper): An ancient Latin-American crop with outstanding bioactive compounds and nutraceutical potential. A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 2972-2993.
- Jarosz, R., Szerement, J., Gondek, K., & Mierzwa-Hersztek, M. (2022). The use of zeolites as an addition to fertilisers—A review. *Catena*, 213, 106125.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Lin, Q. F., Gao, Z. R., Lin, C., Zhang, S., Chen, J., Li, Z., & Chen, F. J. (2021). A stable aluminosilicate zeolite with intersecting three-dimensional extra-large pores. *Science*, 374(6575), 1605-1608.
- Mondal, M., Biswas, B., Garai, S., Sarkar, S., Banerjee, H., Brahmachari, K., & Hossain, A. (2021). Zeolites enhance soil health, crop productivity and environmental safety. *Agronomy*, 11(3), 448.
- Steiner, A. (1984). The universal nutrient solution. *In: Proceedings of the Sixth International Congress on Soils Culture, Wageningen, Netherlands.* 633-65.
- Szatanik-Kloc, A., Szerement, J., Adamczuk, A., & Józefaciuk, G. (2021). Effect of low zeolite doses on plants and soil physicochemical properties. *Materials*, 14(10), 2617.



EVALUACIÓN DE DIFERENTES ESPECIES HOSPEDANTES DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN EL COMPORTAMIENTO DE LA CEPA INCAM-11

Yonaisy Mujica Pérez¹; Yordanka González Silva¹; Sandra Pérez Alvarez^{3*}; Luisa Patricia Uranga Valencia³; Joel Rascón Solano³

¹ Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cuba, Carretera de Tapaste, Km 3½ San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

³ Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad de Chihuahua, Km 2.5 carretera a Rosales, Campus Delicias, C. P. 33000, Delicias, Chihuahua, México, email: spalvarez@uach.mx

RESUMEN

Los microorganismos simbiotes conocidos como hongos micorrízicos arbusculares (HMA) establecen una asociación mutualista con aproximadamente el 90% de las plantas terrestres. El objetivo fue evaluar el efecto de la combinación de diferentes especies vegetales hospedantes de HMA en el comportamiento de la cepa INCAM-11. Se utilizó la cepa INCAM-11 de *Rhizophagus irregularis*, tres especies vegetales como hospedantes potenciales: sorgo, maíz y braquiaria híbrido y un sustrato arcilloso que se clasificó como Gleysol vértico húmico carbonatado. Se establecieron tres tratamientos que consistieron en diferentes combinaciones de las tres especies vegetales estudiadas utilizando un diseño completamente aleatorizado. Las evaluaciones se llevaron a cabo a los 150 días después de la siembra determinándose las variables frecuencia e intensidad de colonización micorrízica, y la dinámica del número de esporas. Como resultados se obtuvo que el contenido de esporas fue significativamente diferente entre los tratamientos estudiados, siendo la variante inoculada con la combinación de las 3 especies vegetales (braquiaria + maíz + sorgo) la que mostró un comportamiento superior a los 150 d. En relación a cómo cambia la frecuencia y la intensidad de la colonización micorrízica de la cepa INCAM-11 en los tres intervalos estudiados fue superior con la combinación de las 3 especies vegetales mostrando diferencias significativas con los demás tratamientos. El impacto económico de esta investigación se estimó cualitativamente por el valor que aporta para el proceso la posibilidad de disponer de diferentes especies de plantas como hospedantes potenciales de la cepa de HMA que se desee reproducir.

PALABRAS CLAVE

Braquiaria; Maíz; Micorrizas; Sorgo.

INTRODUCCIÓN

Los microorganismos simbiotes conocidos como hongos micorrízicos arbusculares (HMA) pertenecen al phylum Glomeromycota y forman una relación de mutualismo con aproximadamente el 90% de las plantas terrestres; por lo que se consideran como la interacción terrestre más importante en los agroecosistemas (Smith y Read, 2008).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Los HMA pueden ser extraídos, elegidos, cultivados y añadidos al suelo o a las plantas en forma de inóculos (Solaiman *et al.*, 2014).

Además del componente sustrato, la selección de la especie vegetal hospedante también es crucial cuando se trata de reproducir estos hongos. Por tal motivo, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la combinación de diferentes especies vegetales hospedantes de HMA en el comportamiento de la cepa INCAM-11.

MATERIALES DE MÉTODOS

La cepa INCAM-11 de *Rhizophagus irregularis* procedente de la colección del INCA (Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas) fue utilizada en esta investigación que se realizó en el INCA Mayabeque, Cuba en el año 2023. La cepa se reprodujo en condiciones controladas con el empleo de *Sorghum bicolor* L. como planta hospedante. Al concluir el ciclo de vida del cultivo se colectó el sustrato, conteniendo raíces micorrizadas, micelio extraradical y esporas. La concentración del inóculo se certificó por el laboratorio de control de la calidad de micorrizas del INCA (70 esporas g⁻¹).

Se utilizaron tres especies vegetales como hospedantes potenciales: sorgo (*S. bicolor* 'CIAP 1322'), maíz (*Zea mays* L. 'Raúl') y braquiaria híbrido (*Brachiaria decumbens* 'Mulato II') con 96, 92 y 83% de germinación, respectivamente. Previo a la siembra, las semillas se desinfectaron con hipoclorito de sodio (10 %) durante 10 minutos y se lavaron tres veces con abundante agua destilada.

Se utilizó un sustrato arcilloso que se clasificó como Gleysol vértico húmico carbonatado, según la clasificación de Suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 2015).

Se establecieron tres tratamientos braquiaria- maíz (B+M); braquiaria-sorgo (B+S) y braquiaria-maíz-sorgo (B+M+S). El diseño fue completamente al azar, y las evaluaciones se llevaron a cabo a los 150 días después de la siembra, así como en el área de secado del producto terminado. En cada una de las secciones se tomaron cinco muestras del sustrato y de raíces (0-20 cm de profundidad).

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y a la prueba de Tukey para su evaluación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de esporas de INCAM-11 por gramo de sustrato en el muestreo realizado a los 150 días se puede observar en la Figura 1.

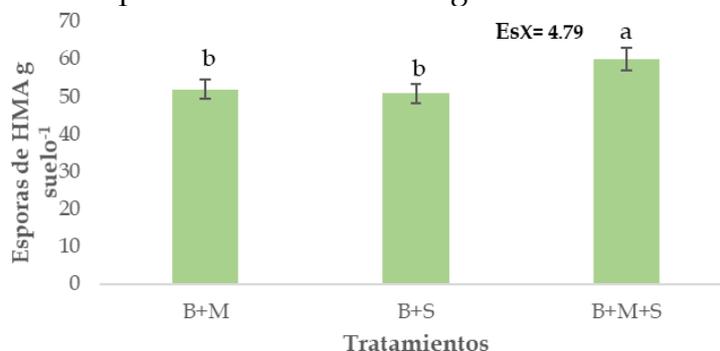


Figura 1. Dinámica del contenido de esporas de INCAM-11 por gramo de sustrato a los 150 d. B+M (braquiaria + maíz), B+S (braquiaria + sorgo) B+S+M (braquiaria + maíz + sorgo).

En el muestreo realizado el tratamiento inoculado en presencia de la combinación de las tres especies vegetales (B+M+S) mostró una respuesta superior a los otros dos tratamientos y alcanzó cifras de 60 esporas por gramo de sustrato.

El comportamiento encontrado en la dinámica de las esporas coincide con resultados reportados por Lovera-Cuenca (2007) y Pattinsb *et al.* (2011) quienes demostraron que el mayor contenido de esporas de HMA que puede emplearse como inóculos se distribuye en la capa superficial del suelo (0-20cm).

En la Figura 2 se describen los cambios en la frecuencia y la intensidad de colonización micorrízica de la cepa INCAM-11 a los 150 DDS.

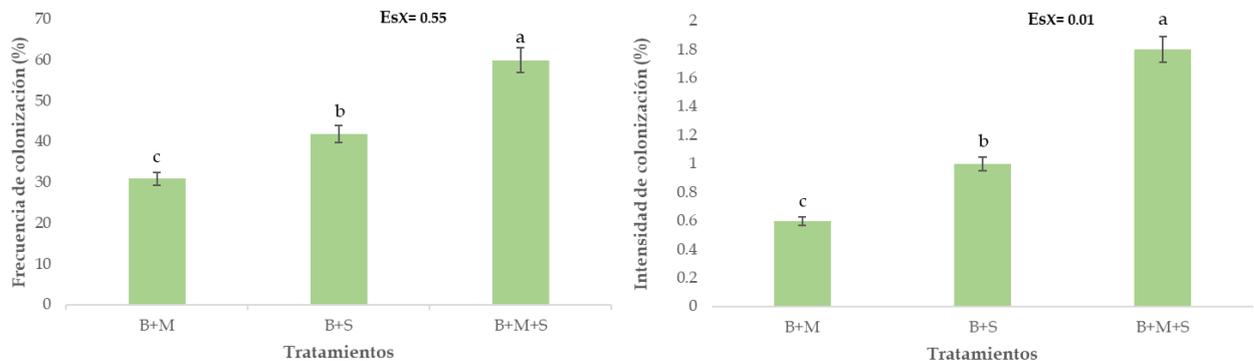


Figura 2: Dinámica de la frecuencia e intensidad de colonización micorrízica de la cepa INCAM-11 a los 150 d. B+M (braquiaria + maíz), B+S (braquiaria + sorgo) B+S+M (braquiaria + maíz + sorgo).

Se encontraron diferencias significativas, siendo la variante inoculada con la combinación de las 3 especies vegetales (B+M+S) la que mostró una respuesta superior, comportamiento que fue similar para ambas variables evaluadas.

Los valores alcanzados en los porcentajes de colonización fueron indicativos de una micorrización efectiva de la cepa y coincidieron con los resultados informados por González *et al.* (2015), quienes en condiciones de campo e igual combinación de cultivo y cepa de HMA obtuvieron una colonización en el orden del 60 %.

Para corroborar la eficiencia del funcionamiento micorrízico encontrada en las condiciones experimentales evaluadas, en la figura 3 se muestran segmentos de raíces extraídas del tratamiento inoculados con combinación de las tres plantas hospederas (B+M+S) a los 150 d.

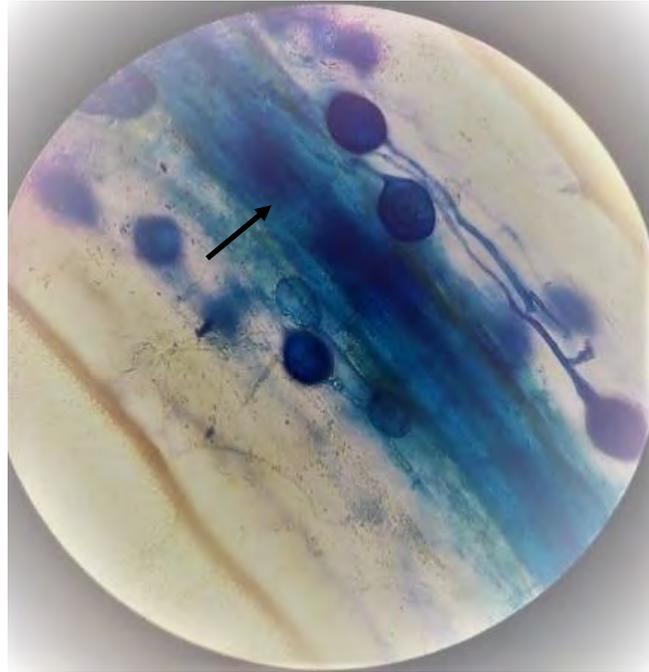


Figura 3. Segmento de raíces tomadas de la sección 3 (B+M+S) a los 150 DDS. Se observan la presencia de nuevas esporas de la cepa

Nótese que en dicha figura se pueden observar la presencia de estructuras fúngicas (esporas), las cuales se encargan de almacenar sustancias de reserva vitales en el funcionamiento la planta y el hongo. La formación de arbusculos y vesículas constituye una característica común durante el establecimiento de la simbiosis micorrízica dado que estas estructuras intrarradicales son las responsables de la transferencia de nutrientes entre la planta y el hongo y almacenamiento de metabolitos de reserva (Camarena, 2012).

En la figura 4 se muestra la dinámica de esporas de INCAM-11 en el área de secado.

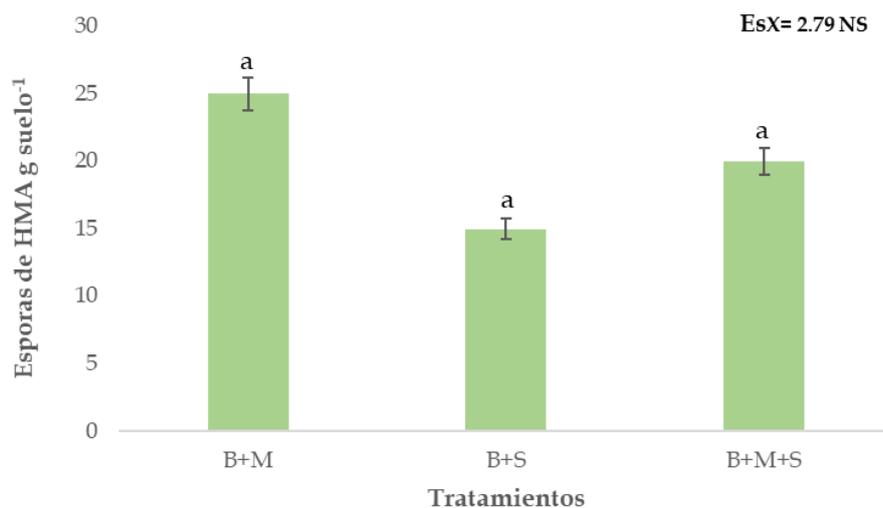


Figura 4. Dinámica de esporas de INCAM-11 en el área de secado. NS: sin diferencias significativas. B+M (braquiaria + maíz), B+S (braquiaria + sorgo) B+S+M (braquiaria + maíz + sorgo).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Como se observa en la figura 4 no hubo diferencias significativas, lo que indica que las tres especies vegetales se consideran promisorias para el establecimiento y funcionamiento de la cepa INCAM-11 y por consiguiente pueden utilizarse como hospederos potenciales para la reproducción de HMA y la consiguiente obtención de inoculante comercial.

Resulta interesante destacar que durante la etapa de secado del inoculante se manifiestan algunos procesos que inciden en el número de esporas, tales como la disminución de la humedad del material y la terminación o maduración del proceso de esporulación. En el caso de la reducción en la humedad del sustrato la respuesta pudo estar relacionada con el hecho de que la cubierta del área de secado permitió la incidencia uniforme de los rayos solares sobre el material dispuesto a secar, por lo que las radiaciones ultravioletas tuvieron un efecto negativo sobre la viabilidad y sobrevivencia de las esporas (Fernández, 2003).

CONCLUSIONES

Los resultados permiten establecer que la combinación de B+M+S inoculada con la cepa de HMA INCAM-11 produjo niveles fúngicos funcionales en el establecimiento de la simbiosis micorrízica y permite la reproducción efectiva de dicha cepa.

BIBLIOGRAFÍA

- Camarena, G. (2012). Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 18 (3), 409-421.
- Fernández, F. (2003). Avances en la producción de inoculantes micorrízicos arbusculares. En *El manejo eficiente de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible* (pp.97-98). Ediciones INCA, La Habana, Cuba.
- González, P.J., Ramírez, J.F., Morgan, O., Rivera, R., & Plana, R. (2015). Contribución de la inoculación micorrízica arbuscular a la reducción de la fertilización fosfórica en *Brachiaria decumbens*. *Cultivos Tropicales* 36(1), 135-142.
- Hernández, A., Pérez, J.M., Bosch, D., & Castro, N. (2015). *Clasificación de los suelos de Cuba* (93 p). Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA.
- Lovera, M., & Cuenca, G. (2007). Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y potencial micorrízico del suelo de una sabana natural y una sabana perturbada de la gran sabana, Venezuela. *INCI* 32(2), 108-114.
- Pattinsb, G.S., Sutton, B.G., & McGEE, P.A. (2011). Simulated fire reduces the density of AMF at the soil surface. *Mycological Research* 103, 491-496.
- Smith, S. & Read, D. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*. London: Academic Press.
- Solaiman, Z., Abbott, L.K., & Varma, A. (2014). *Mycorrhizal Fungi: Use in sustainable agriculture and land restoration*. Solaiman, Z.; Abbott, L.K.; Varma, A (Ed), Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

DESCOMPOSICIÓN DEL MANTILLO EN UN BOSQUE TROPICAL SECO: ¿CÓMO VARÍA EN UNA CRONOSECUENCIA DURANTE LA ESTACIÓN SECA?

Cinthia Lizbeth Báez Gaxiola^{1*}; Jesús Adrián Bojórquez Valdez¹; Juan Carlos Álvarez Yépiz¹; Zulia Mayari Sánchez Mejía¹

Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de febrero 818 sur colonia Centro 85000, Ciudad Obregón, Sonora, México. *autor para correspondencia: cinthia.baez208189@potros.itson.edu.mx

RESUMEN

La descomposición del mantillo es el proceso mediante el cual el material orgánico que cubre el suelo se transforma en nutrientes disponibles. Esta tasa varía según el tipo y la edad de los bosques, así como por factores ambientales estacionales. Las alteraciones pueden deberse a disturbios antropogénicos y eventos climáticos extremos, como incendios y heladas. Este estudio estimó la tasa de descomposición del mantillo (k) en una cronosecuencia del bosque tropical seco (BTS) de Álamos, Sonora, durante la estación seca y fría (enero - abril). Se usaron bolsas de descomposición con material de bosques de diferentes edades (de 8 años a >200 años) para evaluar el proceso previo a la temporada de lluvias. Los resultados mostraron que el sitio más joven (11b) tuvo la mayor tasa de descomposición ($k = 0.473 \text{ meses}^{-1}$), mientras que el bosque más viejo (>200 años, OG) presentó la menor tasa ($k = 0.011 \text{ meses}^{-1}$). Esto indica que, en la estación seca, los bosques jóvenes podrían experimentar una mayor descomposición debido a diferencias en la calidad del mantillo, la actividad microbiana o el microclima. Estos hallazgos contrastan con lo esperado durante la temporada lluviosa, cuando la mayor disponibilidad de agua y menor apertura del dosel podrían alterar las tasas de descomposición.

PALABRAS CLAVE

Cambio climático; Sucesión ecológica; Suelo.

INTRODUCCIÓN

El mantillo es un estrato orgánico que se forma por la acumulación de la hojarasca en el suelo y es esencial en la biogeoquímica de los ecosistemas (Prescott, 2005), y como regulador de la temperatura y humedad del suelo (Schlatter et al., 2006). La descomposición del mantillo está influenciada por factores bióticos y abióticos, por ejemplo, los organismos descomponedores presentes y la humedad del suelo disponible, así como la temperatura y la calidad del mantillo (Chapin et al., 2011).

En los ecosistemas tropicales, particularmente en los bosques tropicales secos (BTS), se ha observado que la descomposición del mantillo puede ser considerablemente más lenta en comparación con los bosques de climas templados-fríos (García-Velásquez et al., 2012). Esta variación en las tasas de descomposición (k) podría atribuirse a las condiciones ambientales particulares de los BTS, como lo es la disponibilidad de humedad asociada la estacionalidad de la precipitación que se limita aproximadamente a 4 meses del año (julio-octubre) (Powers et al., 2009). La disminución en la k limitada por humedad se ha observado en bosques en regeneración (Ibarra et al., 2011), y en los BTS del noroeste de México (Rojas-Robles et al., 2020).

Por otro lado, en el BTS de Chamela, Jalisco, donde dos huracanes (Jova y Patricia) indujeron cambios en la estructura del bosque, se observaron cambios en las tasas de descomposición (Gavito et al., 2018). El huracán Jova, que ocurrió en 2011, originó una disminución general en la descomposición del mantillo. Sin embargo, los bosques maduros y de sucesión tardía mantuvieron una capacidad de descomposición más alta en comparación con bosques de sucesión temprana (Gavito et al., 2018). En cuanto al huracán Patricia, que impactó en 2015, se observaron fluctuaciones significativas en la descomposición en el BTS, pues hubo una disminución de los procesos de descomposición, pero luego volvieron a incrementar después del huracán en los bosques maduros. Esto indica que estos ecosistemas son dinámicos y pueden adaptarse a eventos de perturbación como los huracanes, lo que sugiere que tienen una alta resiliencia y capacidad para recuperar sus funciones ecológicas (Gavito et al., 2018).

De manera similar, en su distribución más norteña en México, el BTS es también vulnerable a eventos climáticos extremos, como se ha observado en Sonora. Este ecosistema, caracterizado por un mosaico de bosques de distinta edad sucesional, resultado de actividades humanas, el clima y perturbaciones recientes, ha sido impactado por la helada extrema de febrero de 2011 (Álvarez-Yépez et al., 2008; Álvarez-Yépez, 2020). Este evento afectó a la vegetación del BTS de Sonora, induciendo mortandad extensiva de árboles en bosques maduros y secundarios, lo que permitió establecer cronosecuencias de bosques que son actualmente objeto de estudio (Bojórquez et al., 2019).

Estos casos ilustran cómo tanto los huracanes en Chamela como las heladas en Sonora son eventos climáticos extremos que desafían la resiliencia de los BTS, pero que también ofrecen oportunidades para estudiar la respuesta de estos ecosistemas y su capacidad de recuperación. Sin embargo, a pesar de la considerable cantidad de investigaciones sobre la descomposición del mantillo en diferentes tipos de bosques y bajo diversas condiciones, el proceso específico en el bosque tropical seco de Álamos, Sonora, cerca del límite más norteño de la distribución de este bioma, aún no ha sido examinado a profundidad. Dada la importancia crítica de la descomposición del mantillo en la dinámica de estos ecosistemas y su variabilidad en respuesta a diferentes condiciones ambientales, este estudio tiene como objetivo estimar la tasa de descomposición durante la estación seca en una cronosecuencia de bosque tropical seco en Álamos, Sonora.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el sureste del bosque tropical seco (BTS) en los límites del Área de Protección de Flora y Fauna Sierra de Álamos-Río Cuchujaqui, dentro de la Reserva Monte Mojino (ReMM). El clima es semiárido cálido con una precipitación anual media de 712 mm, mayormente en verano (julio a octubre) y una temperatura media de 24 °C (Bojórquez et al., 2019; Rojas-Robles et al., 2020). La región presenta bosques maduros y secundarios en varias etapas sucesionales (Álvarez-Yépez et al., 2008).

Monitoreo a largo plazo (RETROSECE)

En el BTS se realiza un monitoreo a largo plazo, Respuesta del Ecosistema Tropical Seco a Eventos Climáticos Extremos (RETROSECE), para estudiar la respuesta del ecosistema a eventos climáticos extremos. Se han categorizado ocho sitios en una cronosecuencia de bosques afectados por disturbios antropogénicos y una helada extrema en 2011: seis de bosque secundario (11 - 52 años) y dos de bosque maduro (>103 años). (Cuadro 1).

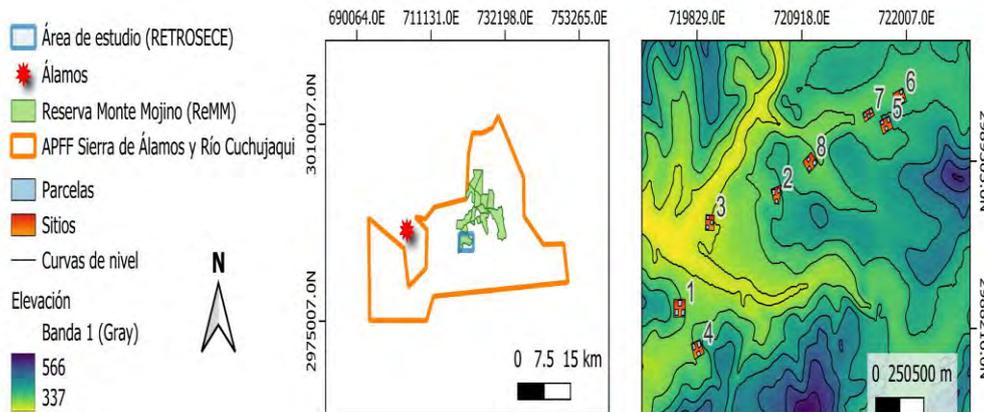


Figura 1. Localización del área y sitios de estudio dentro del bosque tropical seco de Álamos.

Cuadro 1. Categorización de la cronosecuencia del bosque tropical seco en Álamos, Sonora. La edad del bosque (años) representa el tiempo de recuperación y la letra indica una diferencia en la estructura, donde *a* presenta menor estructura que *b*.

Acrónimo	Cronosecuencia	Edad del bosque (años)
11a	Temprano	11
11b	Temprano	11
13a	Temprano	13
13b	Temprano	13
32	Intermedio	32
52	Intermedio	52
~103	Tardío	~103
OG	Viejo	>200

Diseño experimental

En cada sitio se establecieron tres parcelas (20 × 20 m) ubicadas en la pendiente baja, media y alta. Se utilizó el método de bolsas de descomposición (en inglés, *litter bags*), descrito por Bockock y Gilbert (1957).

Instalación y monitoreo de bolsas de descomposición

En cada una de las parcelas de los ocho sitios de estudio, se colocaron cuatro bolsas de descomposición, cada una con 5 gramos de mantillo recolectado de su respectivo sitio, a una profundidad de entre 10 y 15 cm. En total, se utilizaron 96 bolsas, las cuales fueron recolectadas después de un periodo de tres meses.

Cálculo de tasa de descomposición (k)

Adicionalmente, se incluyeron dos bolsas de control para cada sitio. La tasa de descomposición (k) de cada sitio se calculó utilizando la fórmula del modelo experimental de Olsen (1963): k (meses^{-1}) = $\frac{-\ln \frac{X_t}{X_0}}{t}$ donde X_t = Cantidad de muestra remanente en el tiempo (g); X_0 = Cantidad de muestra inicial (g); t = tiempo transcurrido (meses).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA, $n=12$) para determinar si existían diferencias significativas en las tasas de descomposición (k) entre los diferentes sitios. Posteriormente, se empleó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para identificar cuáles de estos sitios presentaban diferencias significativas entre sí (Tukey, 1949).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante la temporada seca en el bosque tropical seco de Álamos, Sonora (enero-abril), las tasas de descomposición (k) variaron entre sitios, con el sitio 11b mostrando la mayor tasa ($-0.473 \text{ meses}^{-1}$) y el sitio OG la menor ($-0.011 \text{ meses}^{-1}$) (Figura 2). Aunque hubo variaciones, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre sitios. Las tasas de descomposición durante la estación seca podrían no relacionarse directamente con la cronosecuencia de los bosques, ya que la sequía puede afectar uniformemente a todos los sitios (Jiménez y García-Oliva, 2002). Las diferencias observadas podrían estar influenciadas por factores como la composición del suelo, la topografía y la diversidad de especies (Powers et al., 2009). Un análisis a largo plazo que cubra todo el año y considere diferentes estaciones podría proporcionar una visión más completa del proceso de descomposición y la influencia de estos factores.

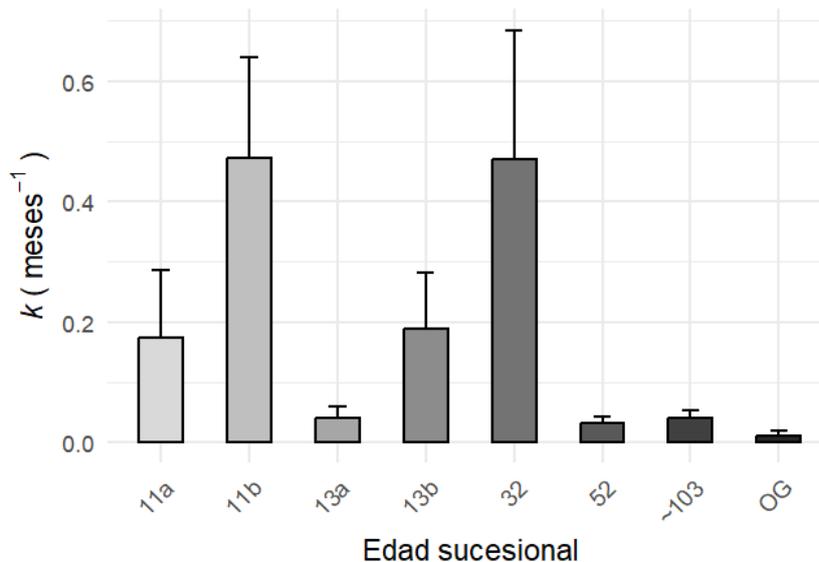


Figura 2. Variación de la tasa de descomposición (k) a lo largo de diferentes edades sucesionales del Bosque Tropical Seco. El promedio de tres parcelas está representado por la barra y el error es la desviación estándar.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

La estación seca afecta significativamente la tasa de descomposición (k) en los bosques tropicales secos (BTS). La escasez de agua limita la actividad microbiana y la eficacia enzimática, reduciendo la fragmentación física de la hojarasca (Allison y Treseder, 2008; Bradford et al., 2002). Esto disminuye la velocidad y eficiencia de la descomposición en comparación con períodos de mayor humedad (Sayer et al., 2006). Esta descomposición más lenta puede influir en la acumulación de mantillo antes del pico de humedad (julio a octubre) y afectar la dinámica de nutrientes en el ecosistema (Dent et al., 2006; Zhu et al., 2021).

CONCLUSIONES

La temporada seca limita la tasa de descomposición del mantillo debido a la falta de humedad, complicando la relación entre la cronosecuencia de los bosques y la descomposición. Para comprender mejor esta dinámica, es crucial monitorear también durante la temporada de lluvias, lo que permitirá evaluar cómo la disponibilidad de agua y las variaciones estacionales afectan la descomposición y su relación con la sucesión ecológica. Estos resultados subrayan la importancia de considerar las condiciones estacionales en el análisis de la descomposición en ecosistemas tropicales secos y ofrecen una base para futuras investigaciones sobre factores adicionales como la calidad del mantillo, características del suelo y apertura del dosel.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue posible gracias al financiamiento por parte de los Proyectos CONACYT 36971 Ciencias-Básicas y CONACYT CB2016-286494-T Ciencia-Básica, y al programa de ITSON PROFAPI. Y al apoyo de CONANP y NCI.

BIBLIOGRAFÍA

- Allison, S. D., y Treseder, K. K. (2008). Warming and drying suppress microbial activity and carbon cycling in boreal forest soils. *Global Change Biology*, 14(12), 2898-2909.
- Álvarez-Yépiz, J. C. (2020). Restoration ecology in the Anthropocene: learning from responses of tropical forests to extreme disturbance events. *Restoration Ecology*, 28(2), 271-276.
- Álvarez-Yépiz, J. C., Martínez-Yrizar, A., Búrquez, A., y Lindquist, C. (2008). Variation in vegetation structure and soil properties related to land use history of old-growth and secondary tropical dry forests in northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 256(3), 355-366.
- Bocock, K. L., y Gilbert, O. J. W. (1957). The disappearance of leaf litter under different woodland conditions. *Plant and Soil*, 9(2), 179-185.
- Bojórquez, A., Álvarez-Yépiz, J. C., Búrquez, A., y Martínez-Yrizar, A. (2019). Understanding and predicting frost-induced tropical tree mortality patterns. *Global change biology*, 25(11), 3817-3828.
- Bradford, M. A., Tordoff, G. M., Eggers, T., Jones, T. H., y Newington, J. E. (2002). Microbiota, fauna, and mesh size interactions in litter decomposition. *Oikos*, 99(2), 317-323.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Chapin, F. S., Matson, P. A., y Vitousek, P. M. (2011). *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology* (2nd ed.). Springer.
- Dent, D. H., Bagchi, R., Robinson, D., Majalap-Lee, N., y Burslem, D. F. R. P. (2006). Nutrient fluxes through litterfall and decomposition in a lowland rain forest on New Britain, Papua New Guinea. *Journal of Tropical Ecology*, 22(5), 555-568.
- García-Velásquez, L. M., Ríos-Quintana, A., y Rico, L. J. M. (2012). Estructura, composición vegetal y descomposición de hojarasca en el suelo, en dos sitios de un bosque nublado andino (reforestado y en sucesión espontánea), en peñas blancas, calarcá (quindío), Colombia. *Actualidades Biológicas*, 32(93), 142-164.
- Gavito, M. E., Sandoval-Pérez, A. L., del Castillo, K., Cohen-Salgado, D., Colarte-Avilés, M. E., Mora, F., Santibáñez-Rentería, A., Siddique, I., y Urquijo-Ramos, C. (2018). Resilience of soil nutrient availability and organic matter decomposition to hurricane impact in a tropical dry forest ecosystem. *Forest Ecology and Management*, 426, 81-90.
- Ibarra, M. J., Caldentey, J., y Promis, Á. (2011). Descomposición de hojarasca en rodales de *Nothofagus pumilio* de la región de Magallanes. *Bosque (Valdivia)*, 32(3), 227-233.
- Jiménez, J. J., y García-Oliva, F. (2002). Effects of litter fragmentation and treefall gaps on decomposition in a tropical dry forest. *Biology and Fertility of Soils*, 36(5), 361-366.
- Olsen, J. S. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* 44(2):322-331.
- Powers, J. S., Montgomery, R. A., Adair, E. C., Brearley, F. Q., DeWalt, S. J., Castanho, C. T., ... y Schlesinger, W. H. (2009). Decomposition in tropical forests: A pan-tropical study of the effects of litter type, litter placement and mesofaunal exclusion across a precipitation gradient. *Journal of Ecology*, 97(4), 801-811.
- Prescott, C. E. (2005). Decomposition and mineralization of nutrients from litter and humus. In H. BassiriRad (Ed.), *Nutrient Acquisition by Plants: An Ecological Perspective* (pp. 15-41). Springer.
- Rojas-Robles, N. E., Garatuza-Payán, J., Álvarez-Yépez, J. C., Sánchez-Mejía, Z. M., Vargas, R., y Yépez, E. A. (2020). Environmental Controls on Carbon and Water Fluxes in an Old-Growth Tropical Dry Forest. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 125(8).
- Sayer, E. J., Tanner, E. V. J., y Lacey, A. L. (2006). Effects of litter manipulation on early-stage decomposition and mesoarthropod abundance in a tropical moist forest. *Forest Ecology and Management*, 229(1-3), 285-293.
- Schlatter, J. E., Gerding, V., Schlatter, J. E., Donoso, P., y González, M. (2006). Manejo de nutrientes y materia orgánica en plantaciones de *Pinus radiata*. *Bosque*, 27(2), 229-240.
- Tukey, J. W. (1949). *Comparative Sampling Designs*. In *Statistical Methods for Research Workers* (pp. 37-41). Wiley.
- Zhu, L., Hu, Z., Zhang, L., Zhou, Z., y He, J. (2021). Effects of seasonal drought on litter decomposition and nutrient release in a tropical dry forest. *Forest Ecology and Management*, 497, 119498.

MOVIMIENTO DEL SUELO EN UN MOSAICO DE BOSQUE TROPICAL SECO: ¿EROSIÓN O SEDIMENTACIÓN?

Yesica María Robles Lagarda^{1*}; Zulia Mayari Sánchez Mejía¹; Jesús Adrián Bojórquez Valdez¹; Juan Carlos Álvarez Yépez¹; Luis Arturo Méndez Barroso¹

¹ Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de febrero 818 sur colonia Centro 85000, Ciudad Obregón, Sonora, México. *autor para correspondencia: yesica.robles205590@potros.itson.edu.mx

RESUMEN

El movimiento de suelo, que incluye la erosión y sedimentación, es influenciado por factores biológicos y físicos; destacando la acción del agua en movimiento. La región más septentrional del bosque tropical seco (BTS) en el continente Americano, ha sido severamente transformado por el cambio de uso de suelo, creando un mosaico conformado por bosques secundarios y maduros. Esta región es vulnerable a eventos climáticos extremos, como las heladas severas. En febrero del 2011, una helada con temperaturas que descendieron hasta $-6.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante siete días, ocasionó mortandad extensiva de árboles tropicales, causando cronosecuencias en el BTS y afectando las funciones y procesos del ecosistema como erosión y sedimentación. Esta investigación busca comprender procesos ecohidrológicos en una cronosecuencia del BTS, y el objetivo es analizar el movimiento de suelo, estimando la magnitud de erosión y sedimentación, empleando la técnica puntual de clavos a escala anual. Para este estudio se caracterizó geomorfológicamente una cuenca generando una curva hipsométrica. Los resultados muestran que la sedimentación es el proceso predominante en el transporte de suelo en la cronosecuencia, presente en el 71% de los puntos de muestreo en esta región. Este hallazgo concuerda con el tipo de cuenca donde se ubica la cronosecuencia de bosques, ya que la cuenca estudiada es joven y se encuentra en etapa de formación. Estos resultados son importantes ya que existe una falta de conocimiento sobre el movimiento de suelo bajo condiciones de perturbación antrópica y climática en la distribución más septentrional del BTS en México.

PALABRAS CLAVE

Análisis hipsométrico; Cronosecuencia; Evento climático extremo; Monzón de norteamérica.

INTRODUCCIÓN

El movimiento de suelo comprende la erosión y sedimentación (Súarez Díaz, 2001). Estos procesos están estrechamente relacionados con la erosión hídrica, la cual implica la separación, transporte y depósito de partículas (Morgan, 1997). La magnitud de este proceso natural está influenciada por factores biológicos (cobertura vegetal) (Dong *et al.*, 2018) y físicos (características y morfología del suelo, precipitación y el aumento de la frecuencia de eventos climáticos extremos) (Alvarado *et al.*, 2014). A escala cuenca existen métodos para inferir los procesos dominantes de transporte de sedimentos (Piña *et al.*, 2023), resalta el de la curva hipsométrica que permite conocer la etapa de desarrollo y la geomorfología entre la elevación del terreno y su fracción de superficie

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

en relación al área total de la cuenca (Farhan *et al.*, 2016). Las características de la cuenca pueden influenciar los procesos de movimiento del suelo y estructura de las comunidades vegetales del BTS.

En el Noroeste de México se distribuye el BTS más septentrional del continente Americano (Rzedowski, 2006), el cuál ha sido transformado por cambio de uso de suelo, induciendo mosaicos de bosques maduros y sucesionales, con áreas dedicadas a la agricultura y ganadería (Álvarez-Yépiz *et al.*, 2008). El cambio en el uso del suelo por factores antropogénicos y naturales causan la fragmentación del paisaje ocasionando parches con diferente edad, estructura y características que pueden ser categorizadas en una cronosecuencia (Mora F., 2015). A lo largo de esta cronosecuencia es clave estudiar procesos eco-edafológicos.

Por su ubicación, los BTS en el noroeste de México, presentan un patrón estacional de precipitación regido por el Monzón de Norteamérica con lluvias de entre 250 a 800 (Bojórquez, 2021; Rojas-Robles *et al.*, 2020). Esta región es vulnerable a los efectos del cambio climático, incluyendo los eventos climáticos extremos (Álvarez-Yépiz *et al.*, 2008). En febrero del 2011 una helada extrema que en promedio duró siete días alcanzando temperaturas de $-6.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ causó la mortandad extensiva de árboles en bosques maduros y secundarios del BTS, modificando funciones y procesos ecológicos (Bojórquez, 2021). A la fecha se desconoce el efecto sobre la erosión y sedimentación. Sin embargo, el proceso de movimiento de suelo impacta al 11.4% del territorio nacional y es probable que también ocasione efectos importantes en el ecosistema del BTS, como la degradación y cambios en la composición del suelo (Cotler y Ortega-Larrocea, 2006). Por lo anterior, existe un vacío de conocimiento de dicho proceso en la distribución más norteña del BTS en México. El objetivo de esta investigación es analizar el movimiento de suelo en una cronosecuencia del BTS, para la caracterización del movimiento a través de erosión o sedimentación y su magnitud empleando el método puntual de clavos a escala anual.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra en el extremo norte de distribución del BTS ubicado al este de la ciudad de Álamos, Sonora. Los sitios de observación se encuentran dentro del Área Natural Protegida Sierra de Álamos-Río Cuchujaqui y dentro de la Reserva Monte Mojino (ReMM, Naturaleza y Cultura Internacional). Según García (2004), el clima que predomina en la región se clasifica como semiárido cálido, BS1(h')hw(e), con una temperatura media anual de $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la precipitación media anual de 706 mm (Bojórquez, 2021). La precipitación registrada para el año 2022 fue de 835.1 mm y del 2023 fue de 530.4 mm (MX-Aog).

Se realizó un análisis de curva hipsométrica, a partir de la cuenca que contribuye al flujo del agua dentro del área de estudio la cual se delimitó a partir de un Modelo Digital de Elevación (MDE) de 15 metros del estado de Sonora obtenido del Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM) (INEGI, 2023). Los datos para la generación de la curva hipsométrica se obtuvieron mediante ArcGis versión 10 y se utilizó el programa matemático R para generar las curvas.

El paisaje de la región está compuesto por bosques maduros y bosques secundarios, con diferente estado sucesional (edad). El diseño experimental se enmarca en el proyecto a largo plazo "Respuesta del Ecosistema Tropical Seco a Eventos Climáticos

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Extremos (RETROSECE)” que tiene por objetivo estudiar la respuesta del ecosistema después del impacto de eventos climáticos extremos en una cronosecuencia de bosques que incluye 8 sitios compuestos por 2 bosques maduros y 6 secundarios. En cada sitio se establecieron 3 parcelas de 20 × 20 metros cada una, distribuidas espacialmente a lo largo de la pendiente.

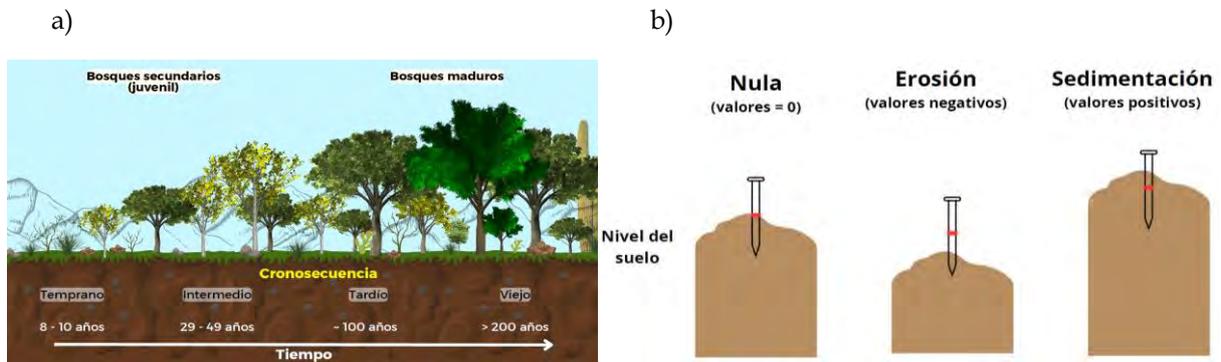


Figura 1. a) Diseño experimental de la cronosecuencia. b) Método puntual del clavo.

La cronosecuencia está compuesta por sitios de edad sucesional juvenil hasta maduros, abarcando un rango de edad desde los ocho hasta los doscientos años (Figura 1a). Cuando se inició el periodo de este monitoreo de suelos (año 2022), estos bosques tenían una edad que va desde los nueve a mayor de doscientos años de abandono (Cuadro 1).

Cuadro 1. Sitios de estudio de RETROSECE en una cronosecuencia. OG es bosque viejo. “a” representa una menor estructura de vegetación y “b” una mayor estructura.

Núm. del sitio	Condición	Edad del bosque (años)	Tipo de afectación
8	Temprano	9a	Helada + fuego
7	Temprano	9b	Helada + fuego
3	Temprano	11a	Helada
6	Temprano	11b	Helada
1	Intermedio	30	Helada
2	Intermedio	50	Helada
5	Tardío	~ 101	Helada
4	Viejo	> 200 (OG)	Helada

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

En este estudio se aplicó el método de Clavos de Erosión, para estimar la erosión/sedimentación hídrica propuesto por Anaya Garduño *et al.* (1991). En cada parcela se colocaron 10 clavos de 18 cm de largo, 5 en la parte baja y 5 en la parte alta separados por 3 metros cada clavo. Los clavos se marcaron a 9 cm, medida que fue utilizada para enterrar el clavo dejando 9 cm por encima del suelo. Para este estudio el periodo de monitoreo fue anual (noviembre 2022 - noviembre 2023).

Para determinar la cantidad de suelo erosionado y sedimentado en cada punto de muestreo, se utilizó la ecuación de Bascuñán (2006):

$$Re = \Delta h * Da \quad (1)$$

donde Re ($g\ cm^{-2}$) es la tasa de suelo erosionado, Δh (cm) es la diferencia de altura de los clavos en un periodo de tiempo determinado y Da ($g\ cm^{-3}$) es la densidad aparente del suelo. Se realizó una conversión de unidades a $ton\ ha^{-1}$. Dentro de las parcelas, se identificaron el número de casos de erosión (valores negativos), sedimentación (valores positivos) y nula (valores igual a cero) (Figura 1b). Además, se midieron en cada punto de muestreo variables del terreno que influyen en el proceso de movimiento de suelo, como son: pendiente del terreno y registro de presencia o ausencia de dosel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del análisis de curva hipsométrica de la cuenca, se determinó que la forma de la curva es cóncava, indicando que esta se encuentra en una etapa joven. Esto nos indica que los procesos de formación del paisaje de la cuenca están dominados por procesos fluviales, en consecuencia, las partículas de suelo son transportadas y depositadas en las partes bajas de la cuenca haciendo que domine la sedimentación (Piña *et al.*, 2023).

Los resultados a escala anual revelan que el bosque secundario de ~101 años es el que presentó mayor magnitud de movimiento de suelo, tanto para erosión como para sedimentación con un valor de $-228.9\ ton\ ha^{-1}$ y $341\ ton\ ha^{-1}$ respectivamente. Este bosque se caracteriza por pendientes horizontales y suaves (valores de 0 a 7.5% de inclinación) observando que la mayoría de los clavos se encuentran descubiertos, generando mayor vulnerabilidad al desprendimiento de partículas por el impacto de las gotas de lluvia.

Adicionalmente, se determinó el tipo de proceso predominante con respecto a la edad del bosque. La Figura 2 muestra que todos los sitios son afectados principalmente por sedimentación, es decir, por acreción de suelo.

Los sitios de bosques secundarios, que son más juveniles y presentan una mayor composición en la estructura de la vegetación (9b años), mostraron un mayor número de casos de sedimentación, al igual que los bosques más viejos (~101 años) caracterizados por una mayor abundancia de vegetación. Además, los bosques secundarios se caracterizan por tener menos años de abandono y por lo tanto se encuentran en regeneración (Lebrija-Trejos *et al.*, 2010) y la cuenca en la que se ubican los bosques está en formación, por lo que se puede esperar que sean más impactados por la precipitación directa y escurrimientos. Esto explica el proceso de sedimentación, ya que el suelo está siendo transportado y depositado en las partes bajas de la cuenca.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Sin embargo, las características de la cronosecuencia y ubicación en la cuenca, era de esperarse que la sedimentación fuera menor en sitios de bosques maduros, ya que estos presentan mayor estructura tanto en cobertura como en raíces, brindando así mayor protección al suelo, evitando el esparcimiento de partículas de suelo y una mayor acreción (Piña et al., 2023).

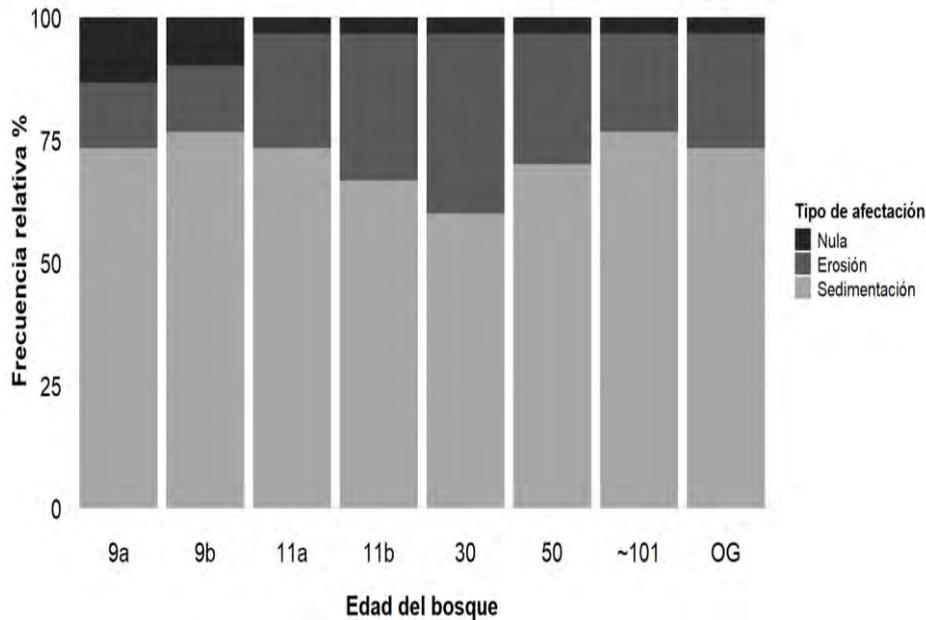


Figura 2. Frecuencia relativa del número de casos por tipo de afectación a escala anual por sitio con respecto a la edad del bosque, ordenados de los más juveniles a los más viejos. "a" representa una menor estructura de vegetación y "b" una mayor estructura y OG es bosque viejo.

CONCLUSIONES

El movimiento de suelo es un proceso natural, el cual puede intensificarse por diferentes factores biofísicos. La helada severa en interacción con actividades antropogénicas causó cambios en la estructura del BTS, dejando al suelo vulnerable y expuesto a los procesos de movimiento de suelo. Los resultados indican una mayor frecuencia de sedimentación en BTS de mayor estructura de la vegetación, es decir, en el bosque maduro (~101 años) y en el bosque secundario (9b años) y una menor frecuencia en BTS secundarios con menor estructura en la vegetación, por las posibles diferencias en esta estructura de la vegetación y por la ubicación de los sitios en la cuenca y la etapa de formación de la cuenca. Estos hallazgos son significativos debido a la escasez de información sobre el movimiento del suelo en condiciones de perturbación antrópica y climática en la parte más septentrional del BTS en México.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias al financiamiento por parte de los Proyectos CONACYT 36971 Ciencia-Básica y CONACYT CB2016-286494-T Ciencia-Básica, y al programa de ITSON PROFAPI, así como también al apoyo logístico de Naturaleza y Cultura Internacional y el Área Natural Protegida de Sierra de Álamos y Río Cuchujaqui.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, V., Bermúdez, T., Romero, M., y Piedra, L. (2014). Plantas nativas para el control de la erosión en taludes de ríos urbanos. *Spanish Journal of Soil Science*, 4(1), 99–111. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2014.V4.N1.07>
- Álvarez-Yépiz, J. C., Martínez-Yrizar, A., Búrquez, A., y Lindquist, C. (2008). Variation in vegetation structure and soil properties related to land use history of old-growth and secondary tropical dry forests in northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 256(3), 355–366. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.04.049>
- Bojórquez Adrián. (2021). Efectos de una helada severa en un paisaje en el límite norte del bosque neotropical seco.
- Cotler, H., y Ortega-Larrocea, M. P. (2006). Effects of land use on soil erosion in a tropical dry forest ecosystem, Chamela watershed, Mexico. *Catena*, 65(2), 107–117. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.11.004>
- Dong, Y., Xiong, D., Su, Z., Yang, D., Zheng, X., Shi, L., y Poesen, J. (2018). Effects of vegetation buffer strips on concentrated flow hydraulics and gully bed erosion based on in situ scouring experiments. *Land Degradation and Development*, 29(6), 1672–1682. <https://doi.org/10.1002/ldr.2943>
- Farhan, Y., Elgaziri, A., Elmaji, I., y Ali, I. (2016). Hypsometric Analysis of Wadi Mujib-Wala Watershed (Southern Jordan) Using Remote Sensing and GIS Techniques. *International Journal of Geosciences*, 07(02), 158–176. <https://doi.org/10.4236/ijg.2016.72013>
- Lebrija-Trejos, E., Pérez-García, E. A., García, G., Meave, J. A., Bongers, F., y Poorter, A. L. (2010). Functional traits and environmental filtering drive community assembly in a species-rich tropical system. In *Ecology* (Vol. 91, Issue 2).
- Mora F. (2015). Cambios temporales y espaciales en la estructura y diversidad de la vegetación y en los almacenes de carbono de bosques tropicales secos secundarios en la región de Chamela, Jalisco.
- Morgan. (1997). Erosión y conservación del suelo.
- Piña, V. M. G., Muñoz-Salinas, E., Castillo, M., y Franco-Ramos, O. (2023). Study of sediment erosion at the headwaters of the Amalacaxco and Altzomoni gulches (Iztaccíhuatl-Popocatepetl Zoquiapan National Park, Mexico) by means of optically stimulated luminescence. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 75(1). <https://doi.org/10.18268/BSGM2023v75n1a140922>
- Rojas-Robles, N. E., Garatuza-Payán, J., Álvarez-Yépiz, J. C., Sánchez-Mejía, Z. M., Vargas, R., y Yépez, E. A. (2020). Environmental Controls on Carbon and Water Fluxes in an Old-Growth Tropical Dry Forest. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 125(8). <https://doi.org/10.1029/2020JG005666>
- Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Suárez Díaz, J. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.

FITORREMEDIACIÓN CON ESPECIES ARBÓREAS EN JALES DE ZIMAPÁN, HIDALGO

Isabel Zubieta Martínez¹; Margarita Beltrán Villavicencio¹; Israel Labastida Núñez¹; María Aurora Armienta Hernández²

¹Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. Av. San Pablo 420. Col. Nueva El Rosario Alcaldía Azcapotzalco C.P. 02128, CDMX, México. C.P. 02128.

Correo electrónico: isabel.zubmar@gmail.com

²Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geofísica, UNAM, 04510 CDMX, México.

RESUMEN

La explotación minera del estado de Hidalgo y más concretamente en el municipio de Zimapán es crucial para la economía regional. Esta actividad ha generado residuos sólidos conocidos como jales, los cuales se almacenan en depósitos a cielo abierto, conocidos como presas de jales. Debido a la exposición ambiental y tamaño de las partículas, los jales se transportan vía eólica y pluvial y contaminan aire, agua y suelos con distintos metales pesados. La alta toxicidad del plomo y otros metales pesados, por su ingesta indirecta, en agua, así como la inhalación de partículas que lo contienen representa un riesgo a la salud. El presente estudio evaluó la aplicabilidad de especies arbóreas seleccionadas por ser abundantes en la zona, tales como huizache, mezquite y pirul, en tecnologías de fitorremediación. De esta forma, su establecimiento minimizaría la dispersión de metales como el plomo en el entorno. El huizache y mezquite demostraron ser efectivos en la fitoextracción del plomo, trasladando el metal hacia sus partes aéreas. En contraste, el mezquite mostró un rol más cercano a la fitoestabilización, con alta acumulación de plomo en las raíces.

PALABRAS CLAVE

Metales pesados; Plomo; Contaminación minera; Remediación.

INTRODUCCIÓN

La minería en México es relevante para el país debido a que aporta el 2.5% del Producto Interno Bruto (PIB). México se encuentra, a nivel internacional, entre los diez principales productores de 17 minerales diferentes (Secretaría de Economía, 2024).

La principal actividad económica en el municipio de Zimapán es la minería. Los minerales de plomo, zinc y plata se encuentran como depósitos masivos de sulfuro tipo skarn en las calizas al norte y oeste del municipio (H. Ayuntamiento de Zimapán, 2020; Ongley *et al.*, 2007). Cuando estos minerales pasan por las actividades primarias de separación y concentración se generan residuos denominados jales.

Estos se construyen y operan de manera simultánea para su contención (SEMARNAT, 2004). Sin embargo, se encuentran expuestos a la intemperie, donde las precipitaciones pluviales y el oxígeno, los somete a diversos procesos químicos, como oxidación, lixiviación, acidificación, entre otros, dando como resultado la contaminación de los entornos circundantes (Ramos-Gómez *et al.*, 2012).

La composición de los jales puede derivar en una contaminación por plomo (Pb). Este metal es particularmente preocupante por su alta toxicidad y su capacidad de bioacumulación. En cantidades altas, por ingesta o inhalación, pueden ocasionar daños a varios órganos vitales del ser humano (OMS, 2024).

Por otro lado, la fitorremediación es un conjunto de técnicas que utiliza plantas para limpiar contaminantes del ambiente, incluyendo metales pesados, a través de procesos como la fitoextracción, la fitoestabilización y la fitovolatilización entre otros. Dentro de estas técnicas, la fitoextracción se refiere específicamente al uso de plantas para absorber y acumular metales pesados, como el Pb, del sustrato contaminado, presentándose como una solución viable para evitar su mayor propagación. Las plantas ideales para la fitoextracción deben cumplir con ciertos criterios: crecer rápidamente, producir una gran cantidad de biomasa, tener raíces profundas, ser capaces de desarrollarse en sustratos de baja calidad y acumular grandes cantidades de metal en las partes que se pueden cosechar (Ramírez *et al.*, 2024; Sahito *et al.*, 2021; Xiang Shi *et al.*, 2016).

El objetivo de este estudio fue evaluar la viabilidad de la aplicación de especies arbóreas nativas para la cobertura vegetal de las presas de jales y así limitar la movilidad de los contaminantes, tomando en cuenta la tolerancia a las altas concentraciones de metales pesados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El muestreo de los jales que se utilizaron como sustrato para las diferentes especies arbóreas, se obtuvieron de la presa de jales conocida como San Miguel Nuevo, en Zimapán, Hidalgo. Las plantas arbóreas, huizache, mezquite y pirul, se obtuvieron de un ejido de la zona de Aguas Blancas, en Zimapán, Hidalgo a unos kilómetros de la zona de influencia de la presa de jales.

Las plantas obtenidas se trasplantaron a rizotrones, que son unidades experimentales tubulares de vidrio para apreciar el crecimiento de la raíz, con cinco réplicas en sustrato de jales. Se evaluó su crecimiento por 90 días y posteriormente se desplantaron. Se separaron la parte aérea y raíces, y después se sometieron a una digestión según el método de Ruíz y Armienta (2012).

Se analizó la concentración de plomo, en el jal y en las partes aéreas y raíces de las especies arbóreas, con un equipo de espectrofotometría de absorción atómica Agilent Technologies 55AA, de acuerdo con la serie de métodos SW-846 7000 (EPA, 1986), con un límite de detección de 0.01 mg/L. Se utilizó un estándar de plomo certificado, blancos con agua desionizada y blancos de digestión.

Con los resultados obtenidos, se calcularon índices para determinar si la especie vegetal es acumuladora, fitoextractora o fitoestabilizadora. Estos índices son: 1) el coeficiente de absorción biológica del metal (BAC), que es la concentración del metal en la parte aérea/concentración en el sustrato; 2) el factor de bioconcentración (BCF), concentración del metal en la raíz/concentración en el sustrato; 3) el factor de traslocación (TF), concentración del metal en la parte aérea/concentración en la raíz (Vamerali *et al.*, 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan las concentraciones totales de plomo (Pb) en las especies arbóreas, mezquite, huizache y pirul, con 90 días de crecimiento en jales, para la parte aérea y de raíz, además de la muestra de jales.

Cuadro 1. Concentración de plomo en las especies arbóreas con 90 días de crecimiento en jales.

Matriz de estudio (mg/kg)	Concentración (mg Pb/kg)		
Jal	2 266.30 ± 595.55		
	Mezquite	Huizache	Pirul
Parte aérea	44.14 ± 38.14	422.46 ± 212.76	184.25 ± 142.39
Raíz	513.58 ± 87.43	403.11 ± 45.61	216.70 ± 85.51

La concentración de plomo en las presas de jales se encuentra dentro de los rangos reportados en zonas mineras, que oscilan entre 51 y 21 546 mg/kg (Kabata-Pendias, 2011). Sin embargo, esta concentración es superior a los 100 mg/kg permitidos en la NOM-157-SEMARNAT-2009 donde se establecen los requisitos de los planes de manejo de residuos mineros para una minimizar los impactos ambientales (SEMARNAT, 2011).

El huizache y el pirul presentaron concentraciones cercanas a las que se han encontrado en otras plantas arbóreas que crecen en zonas mineras como el maple (135 mg/kg) y la betula (277-570 mg/kg) (Kabata-Pendias, 2011). En el estudio de Patrick y Farmer (2007) se menciona que el Pb es el metal con menor biodisponibilidad, pero también el que se acumula en mayor medida en los tejidos de las raíces. Los autores probaron diferentes concentraciones de isótopos de Pb (206 y 207) en el pino silvestre (*Pinus sylvestris*).

Un ejemplo notable de fitorremediación con árboles es el *Sapindus mukorossi*, conocido como soapberry o Chinese washnut, de la familia *Sapindaceae*. Este árbol ha sido estudiado por su capacidad para la fitoextracción del plomo (Pb). Sahito *et al.* (2021) evaluó el potencial de *S. mukorossi* para fitorremediar sitios contaminados con diferentes concentraciones de Pb y encontró que esta especie puede germinar y crecer en sustratos con niveles significativos de plomo, hasta 1000 mg/kg. Durante un período de 120 días, las plantas acumularon metales en sus tejidos y, a largo plazo, demostraron la capacidad de translocar y acumular el plomo en la parte aérea. En el Cuadro 2 se presentan los índices de acumulación del mezquite, huizache y pirul.

Cuadro 2. Índices de acumulación en las especies arbóreas.

Índice	Plomo (Pb)		
	Mezquite	Huizache	Pirul
BAC	0.02 ± 0.01	0.19 ± 0.09	0.08 ± 0.06
BCF	0.23 ± 0.04	0.18 ± 0.02	0.10 ± 0.04
TF	0.12 ± 0.11	1.02 ± 0.43	1.06 ± 0.52

El coeficiente de absorción biológica del metal (BAC); el factor de bioconcentración (BCF); el factor de traslocación (TF) (Vamerali et al., 2010).

Los resultados muestran que tanto el huizache como el pirul son adecuados para la fitoextracción. El factor de translocación (TF), que indica la capacidad de las plantas para translocar metales desde las raíces hacia las partes aéreas, es superior a 1: 1.02 para el huizache y 1.06 para el pirul. Esto significa que ambas especies son eficientes en la translocación de metales hacia sus hojas y tallos. En cambio, el factor de bioconcentración (BCF), que refleja la acumulación de metales en las raíces en relación con la concentración del sustrato, es menor a 1, dando valores de 0.19 para el huizache y 0.08 para el pirul. Esto indica que, aunque las plantas transportan bien el metal hacia sus partes aéreas, la acumulación en las raíces es relativamente baja. En consecuencia, se puede concluir que ninguna de las especies es fitoextractora, a pesar de que ambas demuestran tolerancia a altas concentraciones de este metal.

A pesar de ello, en el estudio de Ramírez *et al.* (2024), se encontró que el mezquite puede acumular metales pesados, incluyendo plomo, en sus tejidos, demostrando su potencial como hiperacumulador de metales en sitios contaminados. Duarte-Zaragoza *et al.* (2020) y Ramírez *et al.* (2024) coinciden en que el mezquite es una especie acumuladora de plomo, a pesar de que el factor de bioconcentración (BCF) es menor a 1. Esto sugiere que, aunque el mezquite no acumula plomo en las raíces en una proporción alta en comparación con el sustrato, sí es notable la capacidad de acumular el metal en sus tejidos. Sin embargo, esto no implica que es necesariamente hiperacumuladora, debido a que no alcanza los niveles de hiperacumulación observados en otras especies.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indicaron que tanto el huizache como el pirul tienen factores de translocación mayores a uno, lo que coincide con las concentraciones de plomo en la parte aérea de las plantas, esto significa que ambas especies actúan como plantas fitoextractoras, ya que son capaces de mover el metal desde las raíces hacia las hojas y tallos. Sin embargo, a pesar de su capacidad para translocar metales, estas especies no son árboles acumuladores significativos en las raíces. Estas especies demuestran una notable tolerancia a altas concentraciones de plomo.

Por otro lado, el mezquite, aunque se clasifica como una especie acumuladora de plomo, presenta un factor de bioconcentración (BCF) menor a 1, indicando que la acumulación en las raíces es relativamente baja en comparación al sustrato. Esto sugiere que el mezquite tiene una función más cercana a la fitoestabilización, reduciendo la movilidad del metal en la presa de jales.

Para obtener una comprensión mejor del potencial de estas especies, se recomendaría realizar estudios a largo plazo y evaluar su desempeño en diferentes etapas fenológicas. Este estudio subraya la importancia de continuar investigando y desarrollando estrategias efectivas para la implementación de una cobertura vegetal para sitios contaminados, con el objetivo de reducir la movilidad de los contaminantes derivadas de las actividades mineras. La búsqueda de soluciones sostenibles es crucial para proteger la salud ambiental y humana de Zimapán, Hidalgo, México.

BIBLIOGRAFÍA

- Duarte-Zaragoza, V.M., Pérez-Hernández, V.S., Hernández-Acosta, E., Villanueva-Morales A. (2020). Estudio exploratorio de la acumulación de plomo y cobre en *Prosopis laevigata* en depósitos mineros. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 7(2).
- EPA. Environmental Protection Agency. (1986). Test Methods. SW-846 7000 Series Methods, US: s.n.
- H. Ayuntamiento de Zimapán. (2020). Plan Municipal de Desarrollo. 2020-2024. Gobierno municipal de Zimapán. Hidalgo. México. 86pp.
- Kabata-Pendias, A. (2011). Trace Elements in Soils and Plants. Fourth Edition Polonia: CRC Press. Taylor and Francis Group, LLC.
- Ongley, L.K., Sherman, L., Armienta, A., Concilio, A., Ferguson Salinas, C. (2007). Arsenic in the soils of Zimapán, Mexico. *Environmental Pollution*. Volume 145. Issue 3. Pages 793-799. ISSN 0269-7491.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2024). Plomo. Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/plomo>. Consultado el 17 de julio de 2024.
- Patrick, G. J., & Farmer, J. G. (2007). A lead isotopic assessment of tree bark as a biomonitor of contemporary atmospheric lead. *Science of the Total Environment*, 388(1-3), 343-356.
- Ramírez, V., Lopez, D., Quintero-Hernandez, V. et al. Ironic analysis of *Prosopis laevigata* response to heavy metals: phytoremediation potential determined by wavelength-dispersive X-ray fluorescence. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 21, 4705-4714 (2024).
- Ramos-Gómez, M., Avelar, J., Medel-Reyes, A., Yamamoto, L., Godinez, L., Ramirez, M., Guerra, R. y Rodríguez, F. (2012). Movilidad de metales en jales procedentes del distrito minero de Guanajuato, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(1), 49-59.
- Ruiz, E. A., Armienta H., M. A. (2012). Acumulación de arsénico y metales pesados en maíz en suelos cercanos a jales o residuos mineros. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 28, núm. 2, 2012, pp. 103-117. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Sahito, Z. A., Zehra, A., Yu, S., Chen, S., He, Z. Y Yang, X. (2023). Chinese sapindaceous tree species (*Sapindus mukorosii*) exhibits lead tolerance and long-term phytoremediation potential for moderately contaminated soils, *Chemosphere*, Volume 338, ISSN 0045-6535.
- Secretaría de Economía. (2024). Minería. Disponible en: <https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/mineria> Consultado el 17 de julio de 2024.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2004). NOM-141-SEMARNAT-2003. Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales. *Diario Oficial de la Federación*
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2007). NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio. *Diario Oficial de la Federación*
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2011). NOM-157-SEMARNAT-2009, Que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros. *Diario Oficial de la Federación*.
- Vamerali, T., Bandiera, M. y Mosca, G. (2010). Field crops for phytoremediation of metal-contaminated land. A review. *Environ Chem Lett* 8, 1-17pp.
- Xiang Shi, Yi-Tai Chen, Shu-Feng Wang, Hong-Wei Pan, Hai-Jing Sun, Cai-Xia Liu, Jian-Feng Liu, & Ze-Ping Jiang. (2016). Phytoremediation potential of transplanted bare-root seedlings of trees for lead/zinc and copper mine tailings. *International Journal of Phytoremediation*, 18(11), 1155-1163.

EVAPORACIÓN EN PRESAS AGRÍCOLAS COMO SISTEMAS SENSIBLES DE ALMACENAMIENTO BAJO LAS CIRCUNSTANCIAS ACTUALES DE SEQUÍA

Lenin Ejecatl Medina Orozco¹

¹Tecnológico Nacional de México, I.T del Valle de Morelia. Carretera Morelia-Salamanca km 6.5 S/N. Morelia, Michoacán. C.P. 58100. leninmed@gmail.com

RESUMEN

El estado de Michoacán destaca por su importancia agrícola y depende en gran medida de la capacidad de almacenamiento de agua en presas de uso agrícola. A partir del año 2022, el estado presenta sequía sostenida en prácticamente todo el territorio con efectos negativos en los sistemas de almacenamiento de agua agrícola. Embalses con capacidad < 50 hm³, representan el 53 % (160) del total en el estado y carecen de registros de evaporación. La pérdida de agua por evaporación, puede ser medida de forma sencilla y viable para las condiciones de nuestro país utilizando información del tanque evaporímetro clase A. En el presente trabajo se utilizó información de seis estaciones instaladas en embalses con registros del tanque evaporímetro y se estimaron las pérdidas de agua durante su almacenamiento. Los resultados sugieren una relación de tipo lineal para estimar la tasa de evaporación media anual (evaporación de la presa=96.36x+5417, R²=0.792) en presas con capacidad < 50 hm³. La tasa de evaporación media anual en embalses pequeños, fue inversamente proporcional al tamaño de los mismos. Las pérdidas por evaporación fueron significativas > 70 % en pequeñas obras, por lo que podemos concluir que dichas obras civiles, son obsoletas para las circunstancias actuales de sequía y disminución en la disponibilidad de agua para la agricultura.

PALABRAS CLAVE

Balance de agua; Riego agrícola; Sequía.

INTRODUCCIÓN

La infraestructura para retener el agua se basa principalmente en infraestructura civil como son las presas, obras derivadoras, bordos y ollas; sin embargo, esta infraestructura, se considera como un factor clave que incrementa las pérdidas del líquido por evaporación. Modifica en algunos casos, el curso de natural de los cauces y en otros, pone en riesgo el caudal mínimo ecológico para la preservación y conservación de especies acuáticas, tanto de los ecosistemas lóticos o de agua corriente, como de los cuerpos de agua lénticos dependen del agua proveniente de los escurrimientos como lagunas y lagos.

La infraestructura hidráulica con uso agrícola de Michoacán comprende más de 301 obras civiles que incluyen, obras para almacenamiento, derivación de aguas, control de avenidas, regulación o cambio de régimen, recargas del acuífero, conducción, almacenamiento en vaso lateral, algunas obras fuera de uso, y otras, con otros fines (SINA-CONAGUA, 2024), sin embargo, se estima una cantidad de 340 obras.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Las principales presas según la magnitud del volumen almacenado son: la presa Adolfo López Mateos, conocida como del Infiernillo; José María Morelos (La Villita), Tepuxtepec, El Bosque, Melchor Ocampo (El Rosario), General Francisco J. Múgica (Centenario de la Revolución no operada por la CONAGUA), Cointzio, San Juanito (La Laguna), Zicuirán (La Peña), Los Ángeles (Tres Mezquites), El Arco (Los Pocitos), entre una gran cantidad de obras de $< 5 \text{ hm}^3$ (SINA-CONAGUA, 2024). La capacidad total de almacenamiento actual estimada para el estado es $14,282 \text{ hm}^3$ y el almacenamiento útil cercano a $11,540 \text{ hm}^3$. Del total de obras hidráulicas reportadas, 301 presas tienen un fin primario o secundario para riego (96 %), de ellas 190 son de almacenamiento, entre 82 y 89 presas, son derivadoras de agua, y el resto destinadas a otros usos (SINA-CONAGUA, 2024).

La evaporación en una superficie de agua libre sirve como un indicador que integra la radiación solar y la temperatura del aire y es dependiente de las condiciones de altitud y latitud, además integra el efecto de la humedad del aire y de la velocidad y dirección de los vientos (Allen *et al.*, 1998).

Existen modelos de evaporación por balances de masa de agua, que requieren de información, tanto de las entradas de agua al sistema (hm^3/s), como de los valores del gasto en las obras de toma o vertedores (hm^3/s) y de la precipitación sobre el espejo de agua (mm), información que, para la mayoría de los embalses, no está disponible.

Por otra parte, para evaluaciones de la evaporación con modelos de base física, se necesita información suficiente para elaborar un balance de energía y transferencia de masas, como el modelo propuesto por Penman (Penman, 1948). Lo anterior, presupone la necesidad de registrar suficiente información de las estaciones meteorológicas, que en general las convencionales no tienen disponibles, además, de su proximidad o bien, estar en el sitio. Esta información es inexistente principalmente en embalses pequeños del estado. Para embalses con poca información, una alternativa viable, es la aplicación de modelos teóricos. El modelo más utilizado y simple, es la relación entre el tanque clase A y la evaporación en superficies de agua abierta como son las presas.

En nuestro país, la Comisión Nacional del Agua cuenta con estaciones climáticas en las presas de importancia, esto según el volumen que almacena. Los instrumentos estándar para medir la evaporación consisten en un tanque evaporímetro clase A. Para el estado de Michoacán, se reportan valores históricos del tanque evaporímetro tipo A en algunas presas y por lo tanto, es factible estimar las pérdidas por evaporación con este método (SINA-CONAGUA, 2024).

La pérdida resultante del tanque clase A de evaporación o evaporímetro se obtiene con facilidad observando el cambio de la altura del agua en 24 horas. La pérdida resultante del tanque clase A, integra la radiación, viento, temperatura y humedad de la atmósfera (Allen *et al.*, 1998) y puede ser aplicado a superficie de agua abierta como los embalses. La información de la literatura sugiere que los valores del tanque clase A, pueden ser ajustados por un factor de 0.7 para tener valores óptimos de la evaporación en embalses (Molina *et al.*, 2006).

El país y puntualmente Michoacán, pasan por una sequía prolongada desde el año 2022, con una superficie de 65 % en alguna categoría de sequía, así como presencia recurrente de temperaturas excepcionalmente altas. Lo anterior, causa que a medida que incrementa el estrés hídrico por sequía, aumente la demanda de agua para la agricultura y el consumo urbano (Huerta, 2024).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

El monitor de sequía del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), utiliza diversos indicadores de sequía, entre ellos, la disponibilidad de agua en las presas. Las categorías de sequía son: anormalmente seco (D0), sequía moderada (D1), sequía severa (D2), sequía extrema (D3), sequía excepcional (D4) (SMN-CONAGUA, 2024). Exceptuando la primera categoría, en las demás, el almacenamiento del agua en las presas es un indicador para clasificar el grado de sequía. En este sentido, las presas < 50 hm³ por lo anterior, medir las tasas evaporativas de embalses en Michoacán, resulta fundamental para prever en un futuro, alternativas para almacenamiento de agua agrícola con pérdidas mínimas de evaporación ante los fenómenos de sequía.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio considera los embalses agrícolas del estado de Michoacán. La información se obtuvo del Sistema de Información Hidrológica (SINA-CONAGUA, 2024). Utilizando datos completos de evaporación y precipitación con información completa, correspondientes al año de 2022 que representan un periodo de sequía y en otros casos, la información más reciente registrada corresponde a 2006 y 2016. Los datos utilizados incluyen la evaporación del tanque clase A (mm), volumen de almacenamiento de las presas (hm³), precipitación (mm) y superficie promedio del espejo de agua (ha). De un total de 198 embalses, solo 14 dieron información para 2022, 2 para el 2016 y 4 para el 2002. Con la información colectada se estimó la evaporación media anual y la recuperación del volumen por precipitación.

La evaporación media anual (hm³) se estimó a partir de la evaporación del tanque clase A corregida por un coeficiente de 0.7 (Molina *et al.*, 2006). Los resultados en mm se convirtieron a hm³ utilizando la superficie del espejo de agua (ha) como base de cálculo. Al valor obtenido de la evaporación, expresado en (hm³), se le adiciona el volumen precipitado utilizando las mismas unidades (hm³). La evaporación anual de las presas en este estudio refleja las pérdidas netas, descontando las entradas directas de lluvia.

Se obtuvo una ecuación de regresión y el coeficiente de determinación, se calcularon en LibreOfficeCalc©. La ecuación, se aplicó a un total de 140 embalses del estado que no registran información de evaporación, para estimar la evaporación media anual.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos, indican que 140 embalses reportan información del volumen almacenado. En contraste, 30 % de embalses del estado, carecen de información oficial, tanto referente al volumen de almacenamiento, como del uso de agua, incluso algunos carecen de nombre que los identifique. Existe una diferencia significativa entre el número de embalses estimados en el estado (301) y los registrados en el Sistema de Información Hidrológica (SIH) (198). Esto sugiere que al menos 103 embalses, no están registrados, carecen de nombre, ubicación precisa y se desconoce su volumen, uso y funcionamiento. Los embalses no registrados ni regulados, según la propia información del SIH; son de propiedad privada y pueden utilizarse en actividades diferentes a la agricultura, como la minería, industrias y la agricultura.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

La estimación de la evaporación, realizada mediante el modelo empírico del tanque clase A, sugiere una relación inversamente proporcional entre el volumen de almacenamiento y las tasas de evaporación (Figura 1). Se aprecia que, a menor capacidad de almacenamiento, la tasa evaporativa es mayor, en contraste, la presa Adolfo López Mateos (Infiernillo) y La Villita, presentaron las menores tasas.

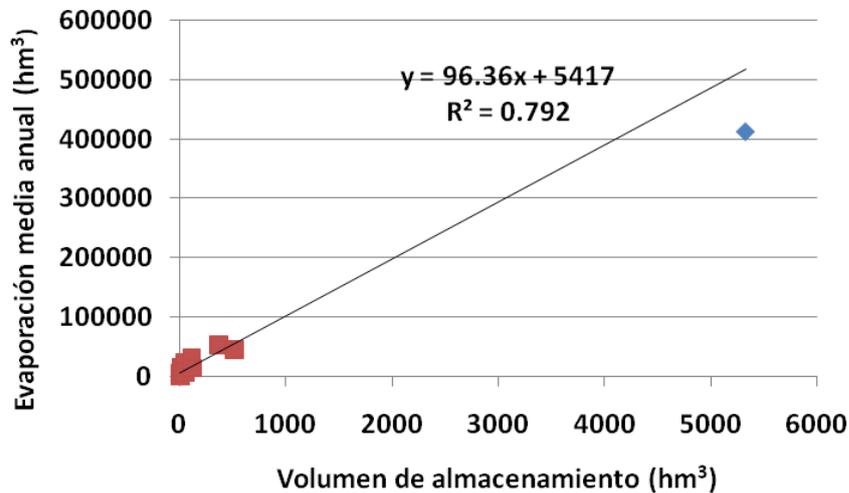


Figura 1. Relación entre la tasa de evaporación media anual estimada del tanque clase A y el volumen de almacenamiento de las presas de Michoacán.

La ecuación de regresión, como un modelo estimativo de presas sin información, sugiere pérdidas por evaporación cercanas a 70 % en presas con volúmenes de almacenamiento $<3 \text{ hm}^3$, en contraste, para presas $>3 \text{ hm}^3$ denominadas como Grandes Presas, la tasa evaporativa fue de 18 %. En ambos casos, los sistemas de almacenamiento de agua en presas resultan ser poco eficientes. En términos de volumen real, se tiene por un lado, embalses pequeños con pérdidas evaporativas altas, pero el volumen de agua es relativamente pequeño. En contraste, grandes presas (GP), tienen tasas bajas, pero los volúmenes son significativos; las GP representan el 99 % del total de agua almacenado en el estado. Una de las principales causas para no tener estimadores robustos de la evaporación, pueden ser atribuidos principalmente a la información incompleta de las estaciones climatológicas, datos parciales, estaciones fuera de operación o porque se dejó de registrar esta variable.

De acuerdo con el boletín de almacenamiento de agua en presas para uso agrícola, indica que, para agosto de 2024, la presa de Cointzio tiene un llenado superior al 60 %, mientras que Los Olivos y Zicuirán se encuentran al 100 %. Lo anterior sugiere, que el llenado de las presas es relativamente rápido, por lo que deben ser desfogadas antes de finalizar la temporada de lluvias. Un caso concreto es la presa Cointzio que, en el mes de septiembre de 2024, desfogó agua previendo un excedente de agua para el resto de la temporada de lluvias. Por lo tanto, una vez finalizada la temporada lluviosa, inicia su periodo de almacenamiento destinado para la agricultura de riego, con pérdidas significativas por evaporación, principalmente cuando son embalses pequeños.

Referente a la sequía en el estado de Michoacán, se agravó a partir del segundo semestre del año de 2022 y se ha prolongado hasta el año 2024. Los municipios del estado se encuentran en las categorías de anormalmente seco (D0) a sequía moderada

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

(D1) desde finales del año de 2022. Se agravó a partir del primer trimestre del año 2023, donde predominan las categorías D1, D2 y la presencia de la categoría D3; es decir, de sequía moderada a sequía extrema. Para el segundo y tercer trimestre del año de 2023, es significativo que, en la mayoría de los municipios, se presentó la categoría D3, sequía extrema, en dos municipios, Epitacio Huerta y Contepec, la categoría D4 con sequía excepcional fue reportada (SMN-CONAGUA, 2024). Dentro de los indicadores de sequía se incluye la disponibilidad de agua, la categoría D1 considera bajos niveles en ríos, arroyos, embalses, abrevaderos y pozos, se sugiere restricción voluntaria en el uso del agua. En la categoría D2, es común la escasez de agua, se deben imponer restricciones en el uso del agua. En la D3, se generalizan las restricciones en el uso del agua por su escasez, y en la D4, hay escasez total de agua en embalses, arroyos y pozos, y es probable una emergencia por la ausencia de agua.

CONCLUSIÓN

La falta de información, datos parciales y la falta de operación en estaciones climatológicas, se convierten en la principal limitante para contar con estimaciones robustas de la evaporación en las presas. Sin embargo, es posible tener estimaciones de la evaporación media anual partiendo de los datos existentes del tanque clase A ajustado a una ecuación lineal. La fórmula sugiere una relación inversamente proporcional entre el volumen de almacenamiento y la tasa de pérdida de agua. El modelo es limitado a presas < 50 hm³, sin embargo, representan un porcentaje significativo de embalses (53 %). La sequía persistente a partir del año 2022 y su relación con los volúmenes de disponibilidad de los embalses agrícolas, sugieren que estas obras civiles se han convertido en sistemas anticuados y son sensibles frente a las condiciones actuales de sequía. Es necesario explorar alternativas para estimar la evaporación en presas de mayor volumen de almacenamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998) *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome. 298 pp.
- Huerta, L. (2024). Consecuencias de la sequía en México, *UNAM Global revista*, https://unamglobal.unam.mx/global_revista/consecuencias-de-la-sequia-en-mexico/
- Molina, M. J. M., V. Martínez, A., A. Baille., & M. González-Real. (2006). Estimación de la evaporación en embalses de riego mediante un modelo de balance de energía. *Ingeniería del Agua*, 13 (3): 219-229.
- Penman, H.L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of Mathematical and Physical Sciences.*, 193 (1032): 120-145.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN-CONAGUA, 2024). *Monitor de Sequía en México (MSM)*, <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>
- Sistema Nacional de Información del Agua SINA-CONAGUA. (2024). Infraestructura hidráulica: monitoreo de presas. <https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/>

ARBUSTOS PERENNES DEL MATORRAL DE MÉDANOS DE SAMALAYUCA Y SU INTERACCIÓN CON EL SUELO Y HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

Paola Margarita Estupiñan Villarreal¹; Miroslava Quiñónez Martínez¹; Pedro Osuna Avila¹; Emilio Álvarez Parrilla¹; Silvia Margarita Carrillo Saucedo²

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Av. Plutarco Elías Calles #1210 Fovissste Chamizal, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

² Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, No. 46, Col. La Victoria, CP. 83304, Hermosillo, Sonora, México
paola.estupinan98@gmail.com

RESUMEN

Las especies vegetales establecen relaciones con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) para resistir a factores abióticos como baja precipitación y nutrimentos. Estos hongos se asocian con las plantas, permitiendo un beneficio mutuo. Esta investigación tuvo como objetivo describir la colonización micorrízica y las características del suelo presente en dos arbustos perennes en el Matorral de Médanos de Samalayuca. Las especies arbustivas fueron seleccionadas mediante el índice de valor de importancia, resultando en las dos primeras posiciones: *Prosopis juliflora* var. glandulosa y *Larrea tridentata*. Se tomaron muestras de raíces finas para obtener datos de colonización, las cuales fueron procesadas para la obtención del porcentaje de colonización. Se realizaron muestras compuestas de suelo perteneciente a las dos especies arbustivas. Los análisis fisicoquímicos de suelo de ambas especies arrojaron niveles bajos de materia orgánica y fósforo. Los niveles de nitratos de *Prosopis juliflora* var. glandulosa resultaron más altos que en *Larrea tridentata*. Por otro lado, los niveles de calcio fueron mayores a 1000 ppm en ambas fechas de muestreo, tanto para *Prosopis juliflora* var. glandulosa como *Larrea tridentata*. En raíces de *Larrea tridentata* se encontró un 52.67% de colonización total, mientras que en *Prosopis juliflora* var. glandulosa se obtuvo un 14.67%. Estos resultados, indican la importancia de estudiar las interacciones entre plantas y hongos micorrízicos arbusculares en zonas áridas para mejorar la comprensión de la diversidad y funcionamiento de estos ecosistemas.

PALABRAS CLAVES

Diversidad; Plantas perennes; Relación planta-suelo; Simbiosis micorrízica; Zonas áridas.

INTRODUCCIÓN

El Matorral de Médanos de Samalayuca, es una comunidad vegetal caracterizada por la presencia de dunas tipo *aklé* de diferentes longitudes, constituidas por especies vegetales perennes de talla mediana principalmente de los géneros *Prosopis*, *Atriplex*, *Larrea*, *Koeberlinia*, *Ephedra* y *Yucca*. Esta comunidad vegetal se desarrolla en suelos deficientes de materia orgánica y escasa precipitación, resistiendo condiciones ambientales adversas como largos periodos de sequía, lo que presentan un alto estrés

hídrico, además de baja disponibilidad de nutrimentos por lo que las plantas principalmente las perennes, desarrollaron estrategias que permiten superar esta condición (Martínez y Pugnaire, 2009).

Una de estas estrategias son las interacciones mutualistas entre las raíces de las plantas con hongos del suelo formando micorrizas llamados hongos micorrízicos arbusculares (HMA), cuya relación simbiótica genera "islas de recursos" siendo parte estructural relevante de un ecosistema árido. El objetivo fue describir la colonización micorrízica y las características del suelo presente en dos arbustos perennes en el Matorral de Médanos de Samalayuca.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio fue la comunidad vegetal Matorral de Médanos de Samalayuca que destaca por sus agrupaciones dispersas de plantas y zonas sin cubierta vegetal. Se localiza en la región central norte del estado de Chihuahua, latitud 31.3622381 y longitud -106.4264451. Se obtuvo el índice de valor de importancia (IVI) de las plantas arbustivas del área, utilizando ocho cuadrantes de 20 m² que cubrieron un área de 3200 m². Se obtuvo la densidad, dominancia y frecuencia de las especies vegetales que conforman el matorral de médanos, así como el índice de riqueza mediante el software EstimateS. Se evaluó la colonización micorrízica en dos plantas de mayor IVI, *Prosopis juliflora* var. *glandulosa* y *Larrea tridentata*. Se analizaron raíces finas del mes de febrero 2024 y se procesaron usando la metodología de tinción de Phillips & Hayman (1970) con modificaciones en los tiempos de preparación de la muestra. Posteriormente, se evaluó el porcentaje de colonización por el método de intersección de Giovannetti y Mosse (1980), en tres repeticiones. Los análisis fisicoquímicos de suelo asociado a la raíz se realizaron en muestras compuestas por lo que los resultados muestran un único valor. La materia orgánica se analizó con la técnica Walkley-Black, nitratos (N-NO₃) con la técnica de ácido salicílico, fósforo total mediante la técnica Olsen, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, manganeso, zinc y sodio fueron analizados mediante espectroscopia de absorción atómica. Se realizaron dos muestreos: el primero correspondió a la temporada fría y húmeda (febrero 2024), registrándose una temperatura de 16 °C; el segundo correspondió a la temporada cálida y seca (junio 2024), con una temperatura registrada de 35 °C.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El índice de valor de importancia mostró a *Prosopis juliflora* var. *glandulosa* en la primera posición con un IVI calculado de 77.23, mientras que *Larrea tridentata* ocupó la segunda posición con un IVI calculado de 71.64 para el área perteneciente de Matorral de Médanos (Cuadro 1). El índice de riqueza de especies (S) fue de 9, la curva alcanzó la asíntota en el 9.5, manteniéndose a lo largo de la distancia recorrida la cual fue de 20 metros, demostrando homogeneidad de especies (Figura 1). En *Prosopis juliflora* var. *glandulosa*, los niveles de materia orgánica fueron de 0.13% en febrero, aumentando a 0.52% en junio (Figura 2), niveles que se consideran bajos según los criterios de la NOM-021/RECNAT-2000. Los niveles de nitratos (N-NO₃) fueron más altos en febrero, disminuyendo en junio, mientras que el magnesio (Mg) mostró un incremento en junio.

Los niveles de fósforo (P) fueron medio bajos (Figura 3) y los de potasio (K) y sodio (Na) fueron altos en ambos muestreos (Figura 4), con el calcio (Ca) también elevado en ambos meses (Figura 5). Según Sadeq *et al.* (2020), *P. juliflora* presenta mayores concentraciones de nitrógeno debajo de su dosel debido a la acumulación de materia orgánica y su capacidad de fijación de nitrógeno.

Por otro lado, en *Larrea tridentata*, los niveles de materia orgánica fueron de 1.04% en febrero, disminuyendo a 0.13% en junio (Figura 2), también considerados bajos según la NOM-021/RECNAT-2000. Los niveles de nitratos (N-NO₃) se mantuvieron bajos, inferiores a 5 ppm en ambos muestreos, y los niveles de fósforo (P) también fueron bajos (Figura 3). Sin embargo, los niveles de potasio (K), sodio (Na) y calcio (Ca) fueron altos en ambos meses (Figura 4 y 5). Thomas *et al.*, (2006) menciona que los nutrientes en zonas áridas se ven afectados por las precipitaciones escasas, temperaturas extremas, niveles de pH alcalinos y suelos salinos.

Cuadro 1. Índice de Valor de Importancia.

Nº	Especies	IVI
1º	<i>Prosopis juliflora</i> var. glandulosa	77.2398
2º	<i>Larrea tridentata</i>	71.6425
3º	<i>Ephedra trifurca</i>	28.6728
4º	<i>Yucca elata</i>	26.2444
5º	<i>Gutierrezia sorothroae</i>	22.0518
6º	<i>Koeberlinia spinosa</i>	18.2862
7º	<i>Condalia</i> sp	17.3263

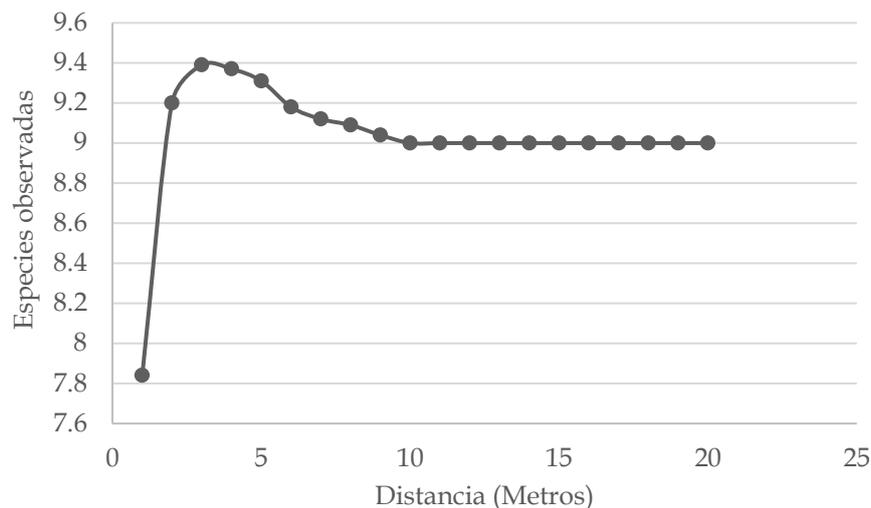


Figura 1. Curva de acumulación de especies vegetales del área muestreada.

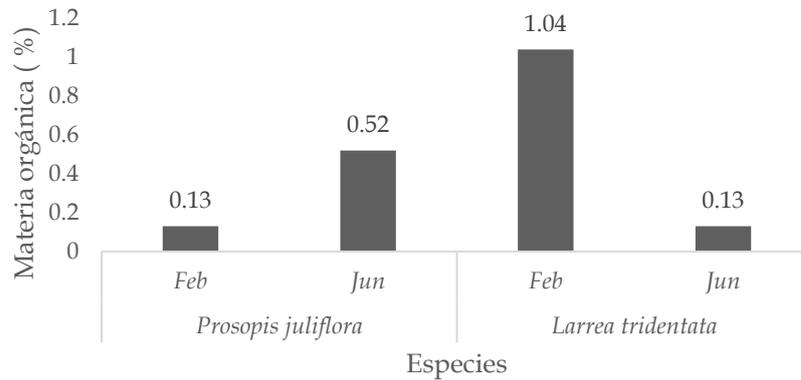


Figura 2. Porcentaje de Materia orgánica.

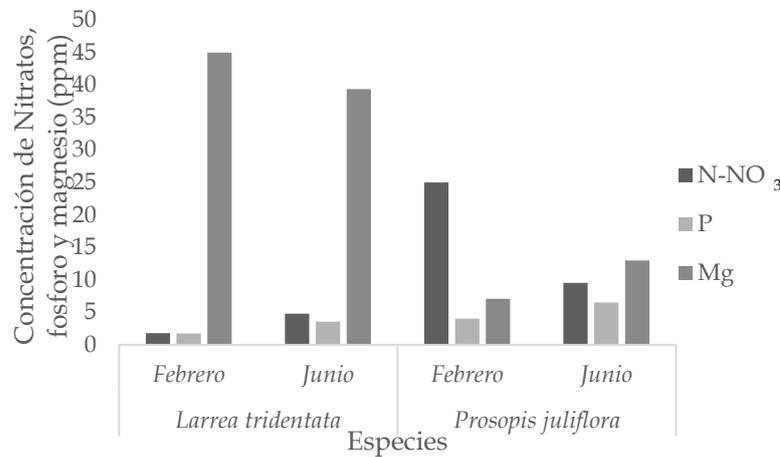


Figura 3. Niveles de Nitratos, Fósforo y Magnesio. Valores únicos de muestra compuesta.

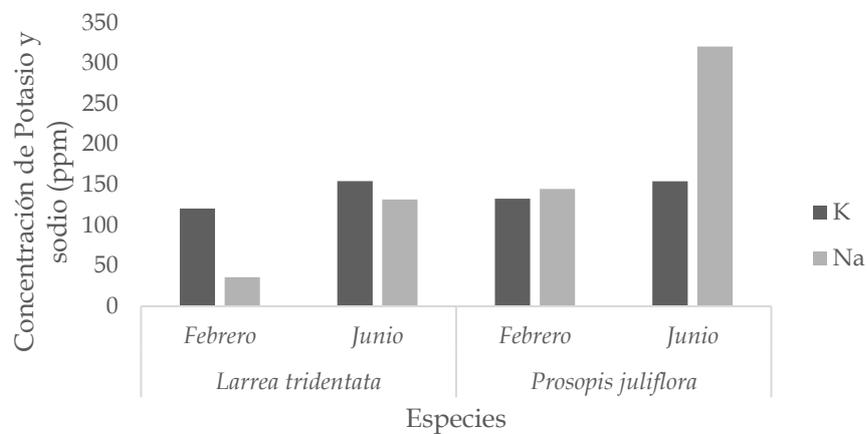


Figura 4. Niveles de Potasio y Sodio. Valores únicos de muestra compuesta.

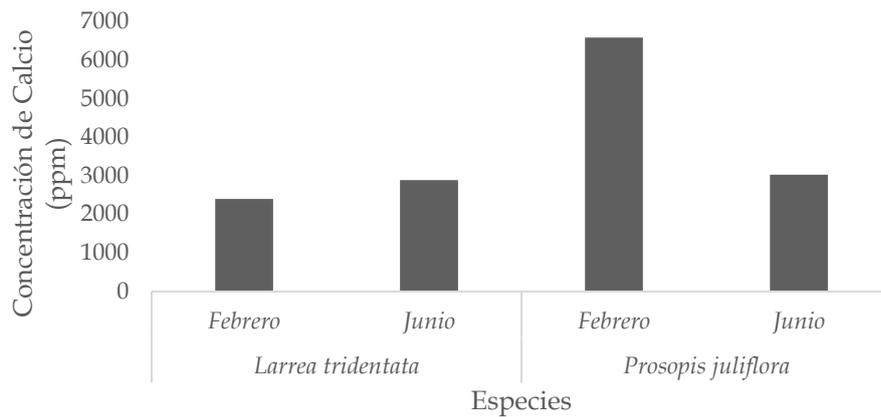


Figura 5. Niveles de Calcio. Valores únicos de muestra compuesta.

El porcentaje de colonización total para *L. tridentata* fue del 52.6%, con un 52.6% de colonización por hifas y un 30.6% de colonización por vesículas. Por otro lado, *P. juliflora* presentó un porcentaje de colonización total del 14.6%, siendo 14.6% la colonización por hifas y 8.6% la colonización por vesículas. Se observó que *L. tridentata* tuvo un porcentaje de colonización mayor en comparación con *P. juliflora* (Figura 6). En el caso de *P. juliflora*, sólo se encontró una raíz colonizada de las tres repeticiones de raíz observadas. Lo que sugiere que el grosor de las raíces seleccionadas durante el muestreo pudo haber influido en la identificación de estructuras micorrízicas. Además, no se encontraron arbusculos en ninguna de las especies observadas. Por otra parte, la presencia de vesículas podría estar vinculada con el estado vegetativo de los arbustos, dado que las vesículas son estructuras de almacenamiento de los hongos micorrízicos arbusculares. Estos resultados indican que *P. juliflora* var. *glandulosa* y *L. tridentata* actúan como huéspedes de los hongos micorrízicos arbusculares, por lo que podrían desempeñar un papel crucial en la generación de islas de fertilidad. Estas islas son fundamentales en los ecosistemas desérticos, ya que contribuyen a mantener la diversidad y productividad de las comunidades vegetales bajo el dosel de los arbustos (Schafer *et al.*, 2012). En concordancia, Van Der Heijden y Sanders (2002) señalan que las interacciones entre plantas y hongos micorrízicos arbusculares conectan la biodiversidad con el funcionamiento de los ecosistemas.

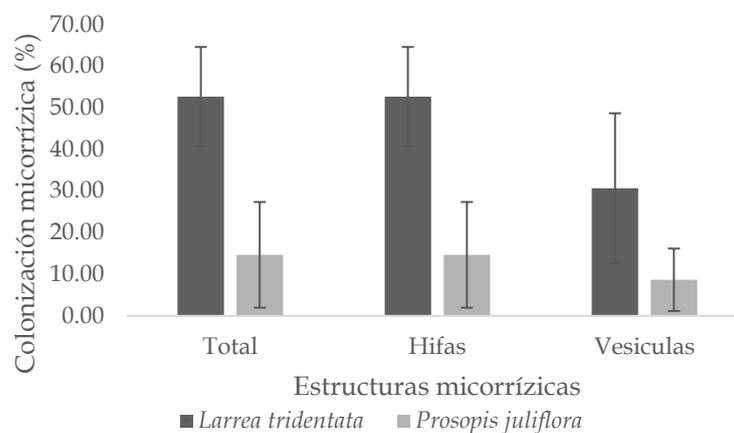


Figura 6. Porcentajes de colonización micorrízica en *P. juliflora* y *L. tridentata*.

CONCLUSIÓN

La relación simbiótica entre plantas y hongos micorrízicos arbusculares es clave en ambientes xéricos, siendo *Prosopis juliflora* var. glandulosa y *Larrea tridentata* plantas hospederas de estos hongos. Los resultados del presente estudio, realizados en condiciones de humedad y temperatura extremas, sugieren que esta relación podría estar vinculada con una mayor eficiencia en la obtención de nutrimentos por parte de las plantas, reflejada en las concentraciones de nitratos, fósforo y magnesio en el suelo. Por lo que, las raíces colonizadas por los hongos micorrízicos podrían jugar un papel fundamental en la dinámica de los suelos áridos del Matorral de Médanos de Samalayuca. Estos hallazgos subrayan la importancia de seguir investigando la interacción simbiótica entre hongos micorrízicos arbusculares y arbustos perennes, especialmente en ecosistemas áridos, para comprender mejor su influencia en la fertilidad y estabilidad del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Giovannetti, M., & Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84(3), 489–500. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x>
- Martínez, L. B., & Pugnaire, F. I. (2009). Interacciones entre las comunidades de hongos formadores de micorrizas arbusculares y de plantas. *Ecosistemas*, 18(2), 44–54.
- Phillips, J. M., & Hayman, D. S. (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–IN18. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3).
- Sadeq, M. A. M., Abido, M. S., Salih, A. A., & Alkhuzai, J. A. (2020). The Effects of Mesquite (*Prosopis juliflora*) on Soils and Plant Communities in the Deserted Rangelands of Bahrain. *International Journal of Forestry Research*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8810765>.
- Schafer, J. L., Mudrak, E. L., Haines, C. E., Parag, H. A., Moloney, K. A., & Holzapfel, C. (2012). The association of native and non-native annual plants with *Larrea tridentata* (creosote bush) in the Mojave and Sonoran Deserts. *Journal of Arid Environments*, 87, 129–135. <https://doi.org/10.1016/J.JARIDENV.2012.07.013>.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2000). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000.
- Thomas, R., El-Dessougi, H., & Tubeileh, A. (2006). Soil System Management under Arid and Semi-Arid Conditions (pp. 41–55). <https://doi.org/10.1201/9781420017113.ch4>.
- Van Der Heijden, M. G. A. (2002). Arbuscular Mycorrhizal Fungi as a Determinant of Plant Diversity: in Search of Underlying Mechanisms and General Principles (pp. 243–265). https://doi.org/10.1007/978-3-540-38364-2_10.

META-ANALYSIS REVEALS THE INFLUENCE OF MYCORRHIZAL FUNGI ON DECOMPOSITION

Eduardo Misael Choreño-Parra; Kathleen Treseder

Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of California, Irvine, California, 92697, USA. Email: echoreno@uci.edu

ABSTRACT

Mycorrhizal fungi can diminish decomposition of different substrates through the “Gadgil effect” or augment it through the “priming effect”. However, it is unclear whether one or the other predominates globally. This work synthesized 43 studies (97 trials) on the influence of mycorrhizal fungi on organic matter (OM) decomposition to evaluate whether this effect was widespread and identified conditions mediating it. The studies were carried out under field or laboratory conditions and consisted of restricting or allowing the access of mycorrhizal fungi to substrates colonized by saprotrophs. For each study, decomposition rate, substrate C:N ratio, type of substrate, type of mycorrhiza (ectomycorrhizal or arbuscular-mycorrhizal), mean annual or incubation temperature, mean annual precipitation, length of the experiment, absolute latitude and biome were recorded. A meta-analysis showed that the presence of mycorrhizal fungi, regardless of whether they were ectomycorrhizal or arbuscular-mycorrhizal, promote OM decomposition by 6.7% overall. This suggests that the priming effect is more prevalent than the Gadgil effect. However, there was large variation among studies, indicating that this effect is context-dependent. The substrate C:N ratio contributed to the variation and was the most important moderator of the influence of mycorrhizal fungi on OM decomposition. Specifically, mycorrhizal fungi increased decomposition at substrates with low C:N ratio, such as leaf litter, and organic and mineral soil. Contrarily, OM decomposition remained unaffected in substrates with a high C:N, like wood and needle litter. These findings challenge the generality of the Gadgil effect but highlight the potential influence of mycorrhizal fungi on soil C storage by promoting the priming effect.

KEYWORDS

Carbon storage; Decay; Gadgil effect; Priming effect.

INTRODUCTION

Fungi are recognized as the main decomposers of organic matter in terrestrial ecosystems. In doing so, they influence biogeochemical cycles, the release of CO₂ to the atmosphere, and C storage in soils (Talbot *et al.*, 2008). Traditionally, saprotrophic fungi have been considered as the main drivers of organic matter decomposition, given their genetic capacity to depolymerize and metabolize organic matter to acquire energy, C and nutrients in the process (Lebreton *et al.*, 2021).

In contrast, mycorrhizal fungi are not considered active decomposers since they derive C and energy from their plant hosts rather than from organic matter (Lindahl & Tunlid, 2015). However, the presence of ectomycorrhizal (ECM) fungi has been associated with decreased decomposition rates (Fernandez & Kennedy, 2016; Frey, 2019), whereas arbuscular mycorrhizal (AM) fungi have been linked to increased decomposition rates (Cheng *et al.*, 2012). These phenomena are known as the “Gadgil effect” and “priming effect”, respectively. Although the mechanisms behind both phenomena remain uncertain, there is no consensus on the generality of these effects. Determining whether the Gadgil or the priming effect prevail, could shed light on whether mycorrhizal fungi slow or accelerate OM decomposition, potentially influencing soil C storage.

Furthermore, the conditions in which these phenomena occur are still unclear. One factor influencing the effect of mycorrhizal fungi on decomposition is the chemical composition of organic matter. In particular, the Gadgil effect has been reported in sites where ~~organic matter~~ OM has high C:N ratios (Averill *et al.*, 2014), while the priming effect tends to occur in systems with low C:N ratios (Taylor *et al.*, 2016). Despite these trends, it is still necessary to systematically assess whether the substrate C:N ratio consistently modifies the effect of mycorrhizal fungi on decomposition across ecosystems.

This work synthesizes available information on the effect of mycorrhizal fungi on decomposition of different substrates. Specifically, it evaluates whether the Gadgil or the priming effect prevails and identifies conditions mediating them. Specifically, two hypotheses were tested. First, that mycorrhizal fungi alter OM decomposition rates depending on the type of mycorrhizal association. Specifically, ECM fungi have a suppressing effect on decomposition (i.e., a Gadgil effect), while AM have a promoting effect (i.e., a priming effect, Hypothesis 1). Second, that the suppressive effect of mycorrhizal fungi on decomposition is greater when the substrate C:N ratios are high, whereas the promoting effect of mycorrhizal fungi on decomposition is stronger when substrate C:N ratios are low (Hypothesis 2).

MATERIALS AND METHODS

To test the two hypotheses, 43 studies (97 trials) evaluating the effect of mycorrhizal fungi on decomposition under field and laboratory conditions were surveyed. In general, these experiments consisted of allowing (mycorrhizal-access treatment) or restricting (mycorrhizal-exclusion treatment) the access of mycorrhizal fungi to substrates being decomposed by free-living saprotrophs.

To estimate the effect of mycorrhizal fungi on OM decomposition, decomposition data were recorded in both treatments in each trial. With these data, the %Change of decomposition was calculated, which represents a percentage change in substrate decomposition in the mycorrhizal-access treatment relative to the mycorrhizal-exclusion treatment. In addition, to test the influence of different factors on the effect of mycorrhiza fungi on decomposition, other variables were recorded, including the substrate C:N ratio, type of substrate, type of mycorrhizal fungi involved (ECM or AM), mean annual or incubation temperature, mean annual precipitation, length of the experiment, absolute latitude and biome.

A meta-analysis was employed to examine the overall effect of mycorrhizal fungi on decomposition (all trials) or the independent effect of each individual mycorrhizal type (ECM or AM fungi, Hypothesis 1). Similarly, the overall percentage change on decomposition in different types of substrates was examined. Finally, a random-forest approach was employed to search for the variables that best predicted the percentage change of decomposition, and their relationship with OM decomposition (Hypothesis 2).

RESULTS AND DISCUSSION

On average, the presence of mycorrhizal fungi increased decomposition by 6.7% ($P = 0.007$). Importantly, decomposition was not influenced by the type of mycorrhizal fungi (ECM: $P = 0.087$, AM: $P = 0.101$, Figure 1a). Therefore, Hypothesis 1 was partially supported. The overall slightly positive influence of mycorrhizal fungi on decomposition indicates that the priming effect is a more common phenomenon than the Gadgil effect. Considering that mycorrhizal fungi support N acquisition by plants during the priming effect (Herman *et al.*, 2012; Nuccio *et al.*, 2013) its prevalence could boost plant productivity where N is limiting. In addition, the results are congruent with research questioning the generality of the Gadgil effect (Fernandez *et al.*, 2020). Therefore, the results challenge the longstanding notion that the Gadgil effect contributes to soil C storage in ECM fungi-dominated systems (Orwin *et al.*, 2011; Averill *et al.*, 2014)

However, the effect of mycorrhizal fungi on decomposition was heterogeneous among trials ($P < 0.001$, $Q = 804.83$), indicating the context-dependency of this effect. A random-forest approach showed that the substrate C:N ratio contributed to this heterogeneity and was the most important moderator of the influence of mycorrhizal fungi on decomposition. Specifically, mycorrhizal fungi promoted decomposition in substrates with a low C:N ratio (Figure 1b), such as leaf litter ($P < 0.001$), a mixture of leaf litter and mineral soil ($P < 0.001$), organic ($P = 0.023$) and mineral soil ($P = 0.044$, Figure 1c). Nevertheless, decomposition remained unaffected in substrates with a high C:N (Figure 1b), like wood ($P = 0.851$) and needle litter ($P = 0.851$, Figure 1c). Therefore, Hypothesis 2 was supported. These findings align with evidence showing that substrate C:N ratio influences the Gadgil and priming effects by determining the nutrient demands of mycorrhizal fungi and free-living saprotrophs (Orwin *et al.*, 2011; Averill *et al.*, 2014). Furthermore, the fact that the presence of mycorrhizal fungi modified decomposition of different substrates with varying C:N ratios, suggests that they can influence C cycling differently across the upper soil layers.

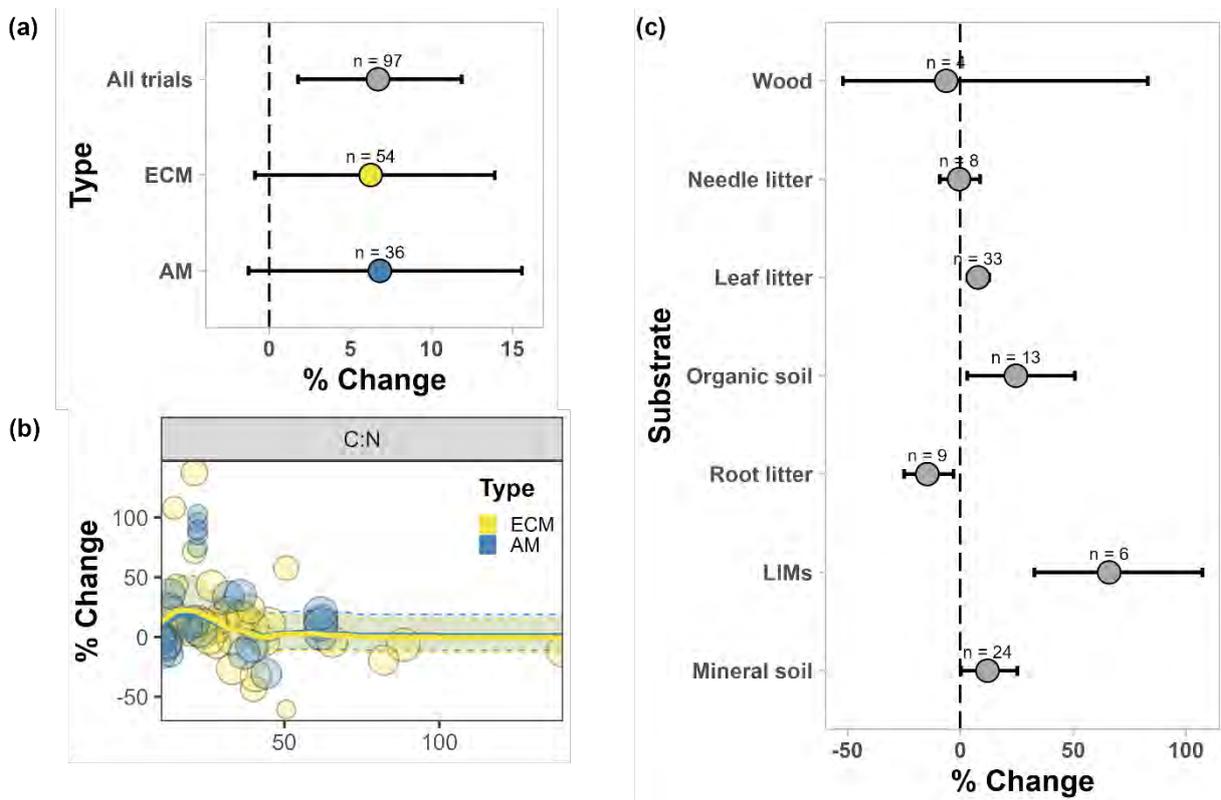


Figure 1. Percentage change of decomposition depending on the type of mycorrhiza (a), substrate C:N ratio (c) and substrate type (c). Symbols represent the average change of decomposition \pm 95% confidence intervals (a,c). Transparent symbols represent individual trials (b). Solid lines depict the relationship between substrate C:N and the percentage change of decomposition, while dashed lines are 95% confidence intervals (b). n: number of trials; ECM: ectomycorrhizal fungi; AM: arbuscular mycorrhizal fungi; LIMs: a mixture of leaf litter and mineral soil.

CONCLUSIONS

The findings of this study challenge the universality of the Gadgil effect but highlight the potential of mycorrhizal fungi to influence soil C storage by promoting the priming effect. Consequently, the presence of mycorrhizal fungi, regardless of their type, may exert a more widespread influence on soil C cycling than previously assumed by promoting decomposition in different ecosystems.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank all the authors whose data were included in this study. This research was supported by grants from NSF (DEB 1912525 and IOS2308342) and the U.S. Department of Energy (DE-SC0020382).

REFERENCES

Averill, C., Turner, B. L., & Finzi, A. C. (2014). Mycorrhiza-mediated competition between plants and decomposers drives soil carbon storage, *Nature*, 505, 543-545.

- Cheng, L., Booker, F. L., Tu, C., Burkey, K. O., Zhou, L., Shew, H. D., Rufty, T. W., & Hu, S. (2012). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Increase Organic Carbon Decomposition Under Elevated CO₂, *Science*, 337, 1084-1087.
- Fernandez, C. W., Kennedy, P. G. (2016). Revisiting the 'Gadgil effect': do interguild fungal interactions control carbon cycling in forest soils?, *New Phytologist*, 209, 1382-1394.
- Fernandez, C. W., See, C. R., & Kennedy, P. G. (2020). Decelerated carbon cycling by ectomycorrhizal fungi is controlled by substrate quality and community composition, *New Phytologist*, 226, 569-582.
- Frey, S. D. (2019). Mycorrhizal Fungi as Mediators of Soil Organic Matter Dynamics, *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 50, 237-259.
- Herman, D. J., Firestone, M.K., Nuccio, E., & Hodge, A. (2012). Interactions between an arbuscular mycorrhizal fungus and a soil microbial community mediating litter decomposition, *FEMS Microbiology Ecology*, 80(1), 236-247.
- Lebreton, A., Zeng, Q., Miyauchi, S., Kohler, A., Dai, Y-C., & Martin, F.M. (2021). Evolution of the Mode of Nutrition in Symbiotic and Saprotrophic Fungi in Forest Ecosystems, *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 52, 385-404.
- Lindahl, B. D., & Tunlid, A. (2015). Ectomycorrhizal fungi – potential organic matter decomposers, yet not saprotrophs, *New Phytologist*, 205, 1443-1447.
- Nuccio, E. E., Hodge, A., Pett-Ridge, J., Herman, D. J., Weber, P. K., & Firestone, M. K. (2013). An arbuscular mycorrhizal fungus significantly modifies the soil bacterial community and nitrogen cycling during litter decomposition, *Environmental Microbiology*, 15(6), 1870-1881.
- Orwin, K. H., Kirschbaum, M. U. F., St John, M. G., & Dickie, I. A. (2011). Organic nutrient uptake by mycorrhizal fungi enhances ecosystem carbon storage: a model-based assessment, *Ecology Letters*, 14(5), 493-502.
- Talbot, J. M., Allison, S. D., & Treseder, K. K. (2008). Decomposers in disguise: mycorrhizal fungi as regulators of soil C dynamics in ecosystems under global change, *Functional Ecology*, 22, 955-963.
- Taylor, M. K., Lankau, R. A., & Wurzbarger, N. (2016). Mycorrhizal associations of trees have different indirect effects on organic matter decomposition, *Journal of Ecology*, 104, 1576-1584.

TOLERANCIA A METALES PESADOS EN *Paenibacillus* sp., AISLADO DE SUELOS DE LA EX FUNDIDORA DE ÁVALOS, CHIHUAHUA

**Andrea Zepeda-Mestre; Javier Carrillo-Campos; Ismael Ortiz-Aguirre;
Lorenzo Buenabad-Carrasco; Román González-Escobedo***

Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua, Periférico Francisco R. Almada km 1, Chihuahua 31453, Chihuahua, México. *Correspondencia: rgescobedo@uach.mx

RESUMEN

La contaminación del suelo con metales pesados es una problemática ambiental crítica a nivel global, con impacto negativo en la salud humana y el ecosistema. En Chihuahua, la ex fundidora de Ávalos ha contribuido de forma relevante a esta contaminación. El objetivo de este estudio fue aislar, identificar y evaluar la tolerancia a metales pesados de bacterias del suelo de esta zona, enfocándose en una cepa específica denominada ZEMA1. Se recolectaron muestras de suelo rizosférico de la zona de la ex fundidora para determinar sus propiedades fisicoquímicas, así como para aislar bacterias a través del método de diluciones seriadas. La cepa ZEMA1 fue caracterizada morfológica, microscópica y molecularmente, resultando ser un bacilo Gram-positivo del género *Paenibacillus* sp. con alta tolerancia a plomo (Pb), arsénico (As), cobre (Cu) y zinc (Zn). Su capacidad para tolerar altas concentraciones de estos metales pesados la convierte en una candidata prometedor para la biorremediación de suelos contaminados. Estos hallazgos aportan información sobre la adaptación bacteriana en ambientes contaminados y proporcionan una base para desarrollar estrategias biotecnológicas de recuperación de suelos y mejora de la calidad ambiental.

PALABRAS CLAVE

Adaptación; Biorremediación; Contaminación; Microorganismos; Rizósfera.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo con metales pesados es una de las problemáticas ambientales más críticas a nivel global, debido a su impacto negativo en la salud humana y del ecosistema. Las actividades industriales, mineras, agrícolas y urbanas contribuyen a la liberación de estos contaminantes, afectando la calidad del suelo y poniendo en riesgo la biodiversidad (Franco *et al.*, 2016). En la ciudad de Chihuahua, se ubica la antigua planta fundidora de Ávalos, que ha sido reconocida por sus altas concentraciones de metales pesados en el suelo. Esta ex fundidora operó alrededor de 90 años y en la década de los 50 fue considerada como la fundidora de Pb más importante de América Latina; al comienzo su producción fue de 1,600 ton diarias y previo a su cierre fue de 250 ton (Sanín, 2007).

Las técnicas para la remediación de suelos se basan en métodos térmicos, fisicoquímicos y biológicos; estas últimas llamadas tecnologías de biorremediación, ya que aprovechan el potencial metabólico de organismos vivos (bacterias, hongos y plantas) para la descontaminación (Covarrubias *et al.*, 2015).

Las bacterias del suelo, debido a su capacidad de adaptación, son especialmente interesantes para aplicaciones de biorremediación. Entre ellas, las especies del género *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Actinomyces* sp., *Serratia* sp., *Enterobacter* sp., *Thiobacillus* sp., *Rhodobacter* sp., *Agrobacterium* sp., *Acidithiobacillus* sp., entre otros (Costa y Duta, 2001; Hassan et al., 2008; El Baz et al., 2015) han mostrado una notable capacidad para tolerar, bioacumular y biotransformar metales pesados, lo que las convierte en candidatas ideales para la restauración de suelos contaminados. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue realizar el aislamiento de bacterias tolerantes a metales pesados a partir de suelo contaminado de la ex fundidora de Ávalos, así como identificar taxonómicamente y determinar la tolerancia a diferentes concentraciones de metales pesados, tales como plomo, cobre, arsénico y zinc. Los hallazgos obtenidos no solo aportarán información valiosa sobre la capacidad de adaptación y supervivencia bacteriana en ambientes contaminados, sino que también proporcionarán una base para el desarrollo de estrategias de biorremediación, contribuyendo a la recuperación de suelos afectados por metales pesados y mejorando la calidad ambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio y recolección de las muestras de suelo

Las muestras de suelo rizosférico fueron recolectadas de un jal minero ubicado en la zona de la ex fundidora de Ávalos, Chihuahua (28° 37' 11.8" N 106° 00' 00.5" W). Las muestras de suelo fueron recolectadas siguiendo el protocolo descrito por González-Escobedo et al. (2022) a partir de la rizósfera de la escasa vegetación que se encontraba en el sitio.

Aislamiento de bacterias del suelo

Para el aislamiento de las bacterias del suelo se utilizó el método de diluciones seriadas. Se pesaron 10 g de suelo y fueron mezclados con 90 mL de agua destilada estéril, a partir del cual se realizaron diluciones seriadas de la 10^{-1} - 10^{-5} , inoculando 100 μ L de la última dilución en cajas Petri con Agar Soja y Tripticaseína (TSA) y una incubación a 30°C durante 48 h. Se seleccionaron bacterias de acuerdo con sus características macroscópicas y microscópicas, fueron resembradas hasta obtener cultivos axénicos. De forma individual, cada cepa bacteriana fue conservada en glicerol al 40% y almacenada en ultracongelación a -80°C. Además, como una prueba de tamizaje, se evaluó la tolerancia de las bacterias aisladas a distintas concentraciones de Pb, de las cuales, únicamente un aislado denominado cepa ZEMA1 fue seleccionada como candidata por la tolerancia a todas las concentraciones evaluadas.

Determinación de la tolerancia a metaloides y metales pesados

Se prepararon medios de cultivo con concentraciones de 2, 5, 7.5 y 10 mM de Pb ($\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$), As (NaAsO_2), Cu ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) y Zn (ZnCl_2). Además, medios de cultivo sin la adición de metaloides o metales pesados fueron utilizados como control. En ensayos por triplicado y con ayuda de un asa de Digralsky, se inocularon 50 μ L de la cepa ZEMA1 reactivada previamente en caldo nutritivo por 24 h. La concentración mínima inhibitoria se interpretó como la concentración más alta de sales en la cual no se observó crecimiento bacteriano.

Caracterización macroscópica, microscópica y molecular

La cepa ZEMA1 fue caracterizada de acuerdo con su morfología colonial y tinción de Gram, siguiendo la metodología descrita por Viramontes y Portillo (2010). Además, para la identificación molecular, se realizó la extracción del ADN genómico utilizando el kit ZymoBIOMICS™ DNA Miniprep (Zymo Research, Irvine, CA, EE. UU.), siguiendo las instrucciones del fabricante. La calidad y pureza fueron comprobadas por medio de electroforesis en gel de agarosa al 1% y cuantificadas en un NanoDrop 2000c. Posteriormente, se realizó la amplificación del gen 16S rRNA utilizando los iniciadores 8F y 1498R (Stevens *et al.*, 2005) en un termociclador miniPCR® mini16 (Ampliyus, Cambridge, Massachusetts, USA) en un volumen total de reacción de 25 μ L, conteniendo 50 ng de ADN genómico, 0.4 μ M de cada iniciador y 1X de Platinum Green Hot Start PCR Master Mix. Las condiciones de reacción fueron las siguientes: desnaturalización inicial a 95°C por 3 min, 30 ciclos a 95°C por 1 min, alineamiento a 55°C por 2 min, extensión a 72°C por 1 min y extensión final a 72°C por 5 min. Los productos de PCR fueron purificados y secuenciados por la técnica de Sanger en la empresa Macrogen, Inc. (Corea del Sur). Finalmente, el análisis filogenético se realizó siguiendo el protocolo descrito por Castillo-Cabrera *et al.* (2023).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Un total de 24 cepas bacterianas fueron aisladas del suelo de un jal minero en la ex fundidora de Ávalos. El tamizaje mostró que cinco cepas presentaron tolerancia frente a distintas concentraciones de Pb, sin embargo, solamente una demostró una tolerancia a todas las concentraciones evaluadas, por lo que se decidió continuar solamente con esta bacteria para realizar los ensayos posteriores. Esta capacidad que tienen algunas especies bacterianas ha sido documentada en otros estudios microbiológicos de suelos contaminados (Santana-Flores *et al.*, 2020), convirtiéndolas en candidatas potenciales para evaluar sus capacidades biotecnológicas.

De forma general, la cepa ZEMA1 presentó un alto grado de resistencia a todos los metaloides y metales pesados evaluados (Cuadro 1), con una velocidad de crecimiento en el orden $As > Zn > Pb > Cu$. Similarmente, las bacterias aisladas por Santana-Flores *et al.* (2020) de suelo del jal minero El Fraile, México, mostraron tolerancia ascendente a 2 mM Cd, 5 mM Cu, 9 mM Pb, 9 mM Zn, 10 mM Ag y 45 mM As. Además, en ambos trabajos se observó que las bacterias cambian el color de sus colonias al ser expuestas a Pb. Se ha reportado que algunos microorganismos utilizan mecanismos para resistir a altas concentraciones de metales pesados, entre los que se encuentran el eflujo, secuestro extracelular, precipitación, biosorción, bioacumulación intracelular, alteración de la morfología celular e incremento en la producción de sideróforos (Pérez-Cordero *et al.*, 2015).

Cuadro 1. Tolerancia a metaloides y metales pesados de la cepa ZEMA1.

Concentración/ metal(oide)	Control	2 mM	5 mM	7.5 mM	10 mM
Pb	+	+	+	+	+
As	+	+	+	+	+
Cu	+	+	+	+	+
Zn	+	+	+	+	+

La caracterización morfológica mostró que las colonias de la cepa ZEMA1 presentaron una forma redonda, con bordes lisos, de color crema y textura viscosa. La tinción de Gram reveló que las células presentaron una morfología bacilar Gram positiva. Las secuencias de ADN obtenidas de la cepa ZEMA1 presentaron porcentajes de identidad del 99.30% con el género *Paenibacillus* sp. El género *Paenibacillus* ha sido reportado como cosmopolita del suelo, se ha aislado en sitios altamente contaminados con hidrocarburos de petróleo, presentando capacidad de promover el crecimiento de las plantas y ayudar a absorber de mejor manera los nutrientes (Mayer *et al.*, 2019). Particularmente, la especie *P. taichungensis* es una bacteria que ha sido reportada en estudios realizados en Zijin, China, por su capacidad para tolerar altos niveles de As (Yu *et al.*, 2022).

CONCLUSIONES

La cepa ZEMA1, aislada del suelo contaminado de la ex fundidora de Ávalos, demostró una notable capacidad de tolerancia a metaloides y metales pesados, incluyendo Pb, As, Cu y Zn, presentando un crecimiento más rápido en presencia de As y Zn. Su identificación molecular confirmó su pertenencia a un género conocido por su resistencia a condiciones extremas, tal como lo es *Paenibacillus* sp. La capacidad de *Paenibacillus* sp. cepa ZEMA1 para tolerar altas concentraciones de metales pesados la convierte en una candidata prometedora para futuros estudios y aplicaciones en la biorremediación de suelos contaminados. Este estudio aporta información valiosa sobre la adaptabilidad y resistencia de bacterias frente a condiciones adversas, abriendo nuevas perspectivas para investigaciones en el campo de la microbiología ambiental y la gestión de residuos tóxicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Castillo-Cabrera, J., González-Escobedo, R., Bautista-Hernández, N., Barrios-Bautista, J. L., Ávila-Quezada, G. D., y Muñoz-Castellanos, L. N. (2023). *Diaporthe* sp. and *Lasiodiplodia* sp.: New foliar pathogens in cuajinicuil and soursop in Oaxaca, Mexico. *Revista mexicana de fitopatología*, 41(2), 298-309.
- Costa, A. C. A. & F. P. Duta. 2001. Bioaccumulation of copper, zinc, cadmium and lead by *Bacillus* sp., *Bacillus cereus*, *Bacillus sphaericus* and *Bacillus subtilis*. *Braz. J. Microbiol.* 32: 1-5.
- Covarrubias, S. A., Berumen, J. A. G., & Cabriales, J. J. P. (2015). Microorganisms role in the bioremediation of contaminated soils with heavy metals. *Acta Universitaria*, 25(NE-3), 40-45.
- Franco, L. F. L., Muñoz, P. T. L., & Garcia, F. G. M. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biocología En el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145.
- González-Escobedo, R., Muñoz-Castellanos, L. N., Muñoz-Ramírez, Z. Y., Guigón-López, C., & Avila-Quezada, G. D. (2022). Rhizosphere bacterial and fungal communities of healthy and wilted pepper (*Capsicum annuum* L.) in an organic farming system. *Ciência Rural*, 53(7), 20220072.
- Hassan, S. H. A., R. N. N. Abskharon, S. M. F. Gad El-Rab, & A. A. M. Shoreit. 2008. Isolation, characterization of heavy metal resistant strain of *Pseudomonas aeruginosa* isolated from polluted sites in Assiut city, Egypt. *J. Basic Microbiol.* 48: 168-76.
- Sanín, L. H. (2007). Perspectivas en el diseño de intervenciones para disminuir la exposición a metales pesados sobre los recién nacidos. *Salud Pública de México*, 49, 0.
- Santana-Flores, A., Sánchez-Ayala, A., Toledo-Hernández, E., Romero-Ramírez, Y., Ortega-Acosta, S. Á., & Toribio-Jiménez, J. (2020). Aislamiento e identificación de bacterias tolerantes y bioacumuladoras de metales pesados, obtenidas de los jales mineros El Fraile, México. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 67.
- Stevens, H., Stübner, M., Simon, M., & Brinkhoff, T. (2005). Phylogeny of proteobacteria and bacteroidetes from oxic habitats of a tidal flat ecosystem. *FEMS microbiology ecology*, 54(3), 351-365.
- Viramontes, S., & Portillo, M. C. (2010). Identificación de microorganismos: actividades prácticas para el laboratorio. Colección Textos Universitarios, Universidad Autónoma de Chihuahua, 56.
- Yu, Y., Su, J., Xu, J., Li, Y. P., Alwathnani, H. A., Wu, Z., Ji, C., Feng, R., Rensing, C., & Herzberg, M. (2022). As(III) exposure induces a zinc scarcity response and restricts iron uptake in high-level arsenic-resistant *Paenibacillus taichungensis* strain NC1. *Applied And Environmental Microbiology*, 88(9).

DETECCIÓN DE BACTERIAS ENDOFÍTICAS EN ZANAHORIAS COMERCIALES EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA

Pedro Osuna Avila¹; Claudia Hernández Peña¹; Juan Pedro Flores Margez¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Av. Plutarco Elías Calles #1210 Fovissste Chamizal
Ciudad Juárez, Chih., Méx. C.P. 32310
posuna@uacj.mx

RESUMEN

Las zanahorias son parte importante en la dieta de la humanidad, y estas pasan un largo periodo bajo el suelo que cuyo recorrido desde su cosecha hasta su comercialización, son susceptibles a cualquier tipo de colonización bacteriana exógena o endógena. El objetivo fue detectar la presencia de bacterias endógenas de zanahoria de producción tradicional y orgánica de marcas comerciales en Cd. Juárez, Chihuahua. El proceso de desinfección superficial de los grupos de zanahoria fue con cloro comercial al 30% por un tiempo de 15 min y 20 min para la detección, purificación e identificación de las bacterias endógenas. Se identificaron tres y cuatro cepas de bacterias endógenas de zanahoria tradicional y orgánica respectivamente. Dos de las tres cepas de zanahoria tradicional fueron similares en su forma circular, de color blanco-transparente y de textura lisa excepto la tercera cepa fue diferente con una textura rugosa. La tinción Gram indico que todas las cepas fueron Gram negativas. La agrupación de cadena y la forma de bacilos fueron las predominantes en ambos tipos de zanahoria con excepción de la cepa 3 de la tradicional que fue de forma cocobacilos. Se concluyo que, la presencia de bacterias endógenas fue detectadas en los dos grupos de zanahorias. La morfología de las colonias fue más diversa en las zanahorias orgánicas que las tradicionales.

PALABRAS CLAVE

Verduras; Asepsia; Microorganismos del suelo; Contaminación cruzada.

INTRODUCCIÓN

La zanahoria (*Daucus carota*) es uno de los cultivos más importantes en el mundo que provee una buena fuente de fibra, vitamina A y algunos minerales a la dieta humana (Abdelrazek *et al.*, 2020a). Los microorganismos endofíticos pueden ser encontrados en muchas plantas donde ellos colonizan los tejidos internos de sus hospederos y pueden relacionarse en forma simbiótica o mutualista (Ryan *et al.*, 2008). Estos microbios tienen el potencial de ayudar a las plantas de zanahoria contra un amplio rango de factores abióticos y bióticos. Sin embargo, su identidad y su función no está muy claro (Abdelrazek *et al.* 2020b). Aunque hay estudios de hongos endofíticos para controlar nematodos o enfermedades en zanahoria (Ahamad *et al.*, 2023) son escasos los estudios para utilizar bacterias como biocontrol en zanahoria. Las bacterias endofíticas pueden originarse en la rizosfera, sin embargo, algunos son transmitidos a través de la semilla (Ryan *et al.*, 2008).

En general las bacterias endofíticas en la raíz de varias especies vegetales son parte del microbioma del suelo y su influencia como promotor de crecimiento en las plantas depende de múltiples interacciones del hospedero con otros microbios en el suelo (Gaiero *et al.*, 2013). Existen enfermedades causadas no solo por la presencia de microorganismos patógenos en los vegetales, sino también puede ser por contaminación cruzada ya que las verduras se encuentran expuestas a diversos factores de contaminación durante la cosecha, transporte y comercialización. En base a lo anterior surge la pregunta si las zanahorias orgánicas y tradicionales del mercado local en Ciudad Juárez, muestran la presencia de bacterias endógenas en el floema, para su aislamiento e identificación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron zanahorias comerciales de producción tradicional y orgánicas que fueron tratadas con cloro comercial al 30% por 15 y 20 minutos para eliminar microorganismos superficiales. Las zanahorias asépticas fueron cortadas en rodajas para cultivarse en cajas Petri conteniendo el medio de cultivo de Murashige y Skoog (MS). Se incubaron en una cámara de crecimiento a 25 °C a un fotoperiodo de 18 horas luz. Todas aquellas bacterias que crecían del xilema o floema eran consideradas bacterias endógenas. En contraste, las que se observaban en la superficie era contaminación. Para evaluar el efecto de cloro en la presencia de bacterias (P) y aquellas no detectables (ND) fueron monitoreadas cada 24 h por 3 días. Una vez observado el desarrollo microbiano de las bacterias endógenas de ambos tipos de zanahoria, se transfirieron en agar nutritivo para aislamiento y purificación. La identificación se hizo a través de la tinción de Gram y por su morfología y para su evidencia se tomaron imágenes con el microscopio de contraste de interferencia diferencial (Nikon Eclipse Ni-U, modeloMQA11020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados indican que la presencia de bacterias en el medio MS (1962) en ambos tipos de zanahorias podría depender del tiempo de exposición del cloro al 30%. Las zanahorias tradicionales 1 y 2 expuestas a cloro por 15 min, no se detectó bacterias durante su cultivo. En contraste, las bacterias crecían en las zanahorias 3 y 4 expuestas a 20 min a las 48, 72 y 96 horas de cultivo. Las zanahorias orgánicas 1 y 2 expuestas por 15 min crecían las bacterias a las 48, 72 y 96 horas, mientras que en la muestra 3 no fue detectada las bacterias a las 48 horas. Albó *et al.*, (2018) afirman que los efectos máximos del hipoclorito de sodio son visibles en los primeros minutos ya que los tiempos de exposición no necesitan exceder los 5 minutos para que sean efectivos. En este estudio, se empleó por un tiempo más prolongado y una concentración más elevada. Se detectaron tres y cuatro cepas de bacterias en un medio de cultivo agar nutritivo tanto en las zanahorias tradicionales como en las orgánicas respectivamente. Se observaron las diferencias de las colonias bacterianas en cuanto la forma, borde, color, elevación, y textura (Cuadro 1), tal como lo observan en otras especies vegetales (Vargas y Kuno 2014). Respecto a la tinción Gram, las zanahorias tradicionales presentan bacterias Gram negativas, con forma de bacilos en la cepa 1 y 2 mientras que en la cepa 3 son cocobacilos. Por otra parte, las cuatro cepas de las zanahorias orgánicas muestran la agrupación de cadena (Cuadro 2).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Este tipo de tinción es útil para identificar algunas especies de bacterias (León-Granadillo *et al.*, 2020). Pérez *et al.*, (2006) Indica que las bacterias también se pueden clasificar en base a su forma en cocos (esféricos u ovalados), bacilos (cilíndricos o en forma de varilla, rectos o curvos) y espirales.

Cuadro 1. Morfología colonial de bacterias en rodajas de zanahorias tradicionales y orgánicas desinfectadas con cloro al 30% por 20 minutos durante 96 horas de incubación a temperatura de 25°C.

Bacterias	Forma	Borde	Color	Elevación	Textura
Zanahoria tradicional					
Cepa 1	Circular	Irregular	blanco	convexa	Lisa
Cepa2	Circular	Redondeado	Blanca- trasparente	convexa	Lisa
Cepa 3	Circular	Redondeado	blanca	convexa	Rugosa
Zanahoria orgánica					
Cepa 1	Circular	Redondeado	amarilla	convexa	Lisa
Cepa 2	circular	Lobulados	blanca	convexa	Lisa
Cepa 3	Circular	Redondeado	blanca	convexa	Rugosa
Cepa 4	Irregular	Redondeado	transparente	plana	Lisa

Cuadro 2. Identificación de las bacterias por el método de tinción de Gram. La morfología y el tipo de agrupación en rodajas de zanahorias tradicionales y orgánicas desinfectadas con cloro al 30% por 20 minutos por 96 horas de incubación a temperatura de 25°C.

	Gram (+ o -)	Forma	Agrupación
Zanahoria tradicional			
Cepa 1	Negativa	Bacilos	cadena
Cepa2	Negativa	Bacilos	cadena
Cepa 3	Negativa	Cocobacilos	cadena
Zanahoria orgánica			
Cepa 1	Negativa	Bacilos	cadena
Cepa 2	Negativa	Bacilos	cadena
Cepa 3	Negativa	Bacilos	cadena
Cepa 4	Negativa	bacilos	cadena

CONCLUSIONES

La presencia de bacterias endógenas fue detectada en los dos grupos de zanahorias. La agrupación de cadena y la forma de bacilos fueron las predominantes en ambos grupos de zanahoria. La morfología de las colonias fue más diversa en las zanahorias orgánicas que las tradicionales.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Misael Torres Luna, estudiante del Programa de Biología, por haber contribuido al aislamiento, purificación, tinción de las bacterias y toma de datos.

BIBLIOGRAFÍA

- Albo, J., A. Farre-Rovira, R., Garriga-Turon, M., Marine-Font, A., Rodriguez-Jerez, J.J., Castell-Garralda, V., & Vidal-Carou, C. (2018). Mesures que cal tenir en compte per al rentat de fruita i hortalisses que es consumeixen crues. L'us de l'hipoclorit de sodi. *Generalitat de Catalunya Agenica Catalana de Seguretat Alimentaria*, 1-34.
- Ahamad, L, Hussain Bhat, A., Kumar, H., Rana, A., Hasan, N., Ahmed, I., Ahmed, S., Machado, R., & Ameen, F. (2023). From soil to plant: strengthening carrot defenses against *Meloidogyne incognita* with vermicompost and arbuscular mycorrhizal fungi biofertilizer. *Frontiers in Microbiology*, 14:1206217. [https://doi:10.3389/fmicb.2023.1206217](https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1206217).
- Abdelrazek, S., Choudhari, S., Thimmapuram, J., Simon, P., Colley, M., Mengiste, T., & Hoagland, L. (2020a). Changes in the core endophytic mycobiome of carrot taproots in response to crop management and genotype. *Scientific Reports*, 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70683-x>.
- Abdelrazek, S., Simon, P., Colley, M., Mengiste, T., & Hoagland, L. (2020b). Crop management system and carrot genotype affect endophyte composition and *Alternaria dauci* suppression. *PLOS ONE*, 15(6): e0233783. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233783>.
- Gaiero, J.R., McCall, C.A., Thompson, K.A., Day, N.J., Best, A.S., & Dunfield, K.E. (2013). Inside the root microbiome: Bacterial root endophytes and plant growth promotion. *American Journal of Botany*, 100(9), 1738-1750. <https://doi.org/10.3732/ajb.1200572>.
- Leon-Granadillo, A., Lagos-Ruiz, N.A., Rojas-Cabeza, M.E., & Valero-Cedeno, N.J. (2020). Aplicación de los criterios de Amsel y Nugent en mujeres ecuatorianas con vaginosis bacteriana. *Polo del Conocimiento*, 5(6), 874-885. [https://doi:10.23857/pc.v5i6.2010](https://doi.org/10.23857/pc.v5i6.2010)
- Pirez, M., & Mota, M (2006) Morfología y estructura bacteriana. *Temas de Bacteriología y Virología médica*, 23-42.
- Ryan, R.P., Germaine, K., Franks, A., Ryan, D.J., & Dowling, D.N. (2008). Bacterial endophytes: recent developments and applications. *FEMS Microbial Lett.*, 1-9. <https://doi:10.1111/j.1574-6968.2007.00918.x>
- Vargas-Flores, T. & Kuno-Cargas, A. (2014). Morfolgia bacteriana. *Revista de Actualizacion Clinica*, 49(2), 2594-2598.

BIODIVERSIDAD DE RIZOBACTERIAS EN UN JAL MINERO EN ÁVALOS, CHIHUAHUA

Frida Mariana Caraveo-De La Rosa; Leonor Cortes-Palacios; Amanda Castro Ochoa; Javier Carrillo-Campos; Román González-Escobedo*

Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua, Periférico Francisco R. Almada km 1, Chihuahua 31453, Chihuahua, México. *Correspondencia: rgescobedo@uach.mx

RESUMEN

Los residuos mineros en Ávalos, Chihuahua, contienen altos niveles de metales pesados que han deteriorado la calidad del suelo y agua, creando un ambiente adverso para los microorganismos debido a su toxicidad. Sin embargo, algunos de estos microorganismos destacan por su potencial biorremediador gracias a sus mecanismos de adaptación. Este estudio tuvo como objetivo aislar y caracterizar la biodiversidad de bacterias rizosféricas en muestras de suelo de un jal minero de la ex fundidora de Ávalos, cultivadas en medios adicionados con Pb y sin Pb, para identificar aquellas capaces de tolerar metales pesados. Conforme a lo esperado, los resultados mostraron un mayor crecimiento de bacterias en aquellos medios sin Pb, sin embargo, se aislaron 28 rizobacterias capaces de tolerar 2 mM de Pb, las cuales fueron identificadas con base en sus características macroscópicas y microscópicas. Además, se determinó la concentración de metales pesados en las muestras de suelo recolectadas. Próximos estudios enfocados en realizar la identificación genética de estas bacterias permitirán generar propuestas enfocadas en su aplicación para ser utilizadas en procesos de tolerancia a metales pesados. Por otra parte, la determinación de metaloides y metales pesados en el suelo indicó que los valores se encuentran por encima de los valores referenciales para suelos que requieren remediación según la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, por lo que se vuelve importante proponer alternativas basadas en el uso de microorganismos autóctonos del sitio capaces de tolerar metales pesados y que puedan ser usados en la remediación de suelo.

PALABRAS CLAVE

Contaminación; Metales pesados; Plomo; Rizobacterias.

INTRODUCCIÓN

La contaminación por metales pesados, derivada de la actividad minera y la expansión industrial, es un problema global que afecta suelos y cuerpos de agua (Gao *et al.*, 2021). Los residuos mineros, que contienen altos niveles de estos metales, representan una amenaza para la salud humana y alteran la composición microbiana del entorno (Jiang *et al.*, 2021). En Ávalos, Chihuahua, los jales mineros se encuentran a cielo abierto; estudios previos han demostrado que esto facilita la dispersión de metales hacia otras áreas debido a la acción de la lluvia y la erosión, ocasionando un problema de contaminación (Sun *et al.*, 2022).

El uso de microorganismos en la biorremediación ofrece una solución sostenible para manejar la contaminación (Jiang *et al.*, 2021), debido a que las bacterias de los

sitios contaminados proporcionan información valiosa sobre su resistencia y adaptación a condiciones extremas, contribuyendo al desarrollo de estrategias de biorremediación más efectivas (Cui *et al.*, 2018). Con base en lo anterior, en este proyecto se analizó la concentración de metales pesados y se determinó la biodiversidad de rizobacterias en suelos contaminados con metales pesados de un jal minero en Ávalos, Chihuahua.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente proyecto se llevó a cabo en el suelo de la antigua ex fundidora de Ávalos, ubicada en el municipio de Chihuahua, México (28°37'12.94" N / 106°00'29.46" O). Se recolectaron muestras de suelo rizosférico siguiendo el protocolo descrito por González-Escobedo *et al.* (2023). Las bacterias del suelo fueron cultivadas utilizando el método de diluciones seriadas descrito por Tsegaye *et al.* (2019) con ligeras modificaciones, sembrando la dilución 10^{-1} en 20 cajas Petri con agar TSA con 2 mM de Pb y 20 cajas Petri sin Pb para ser utilizadas como control de tolerancia a metales pesados. Las cajas Petri fueron incubadas a $28 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 4 días, determinando las Unidades Formadoras de Colonias (UFC) que crecieron en cada condición evaluada.

Se aislaron las colonias crecidas en el medio con Pb para después caracterizarlas macroscópicamente, observando el tamaño, forma, color, y otras características. Adicionalmente, se llevó a cabo una tinción de Gram, utilizando un procedimiento estándar que incluye cristal violeta, lugol, decoloración con alcohol-acetona, y safranina (Viramontes y Portillo, 2010). Las bacterias aisladas se conservaron mediante congelación con glicerol al 40% a -80°C utilizando crioviales estériles, siguiendo el método modificado de Sambrook y Russell (2001).

Para el análisis de concentración de metales pesados del suelo, las muestras fueron sometidas a digestión por microondas, utilizando 0.2 g de suelo, 14 mL de agua regia inversa (75% HCl / 25% HNO₃), y 0.5 mL de peróxido de hidrógeno. El análisis de concentraciones se llevó a cabo mediante un espectrómetro de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente ICP-OES (Optima 8300) (Escobedo Bautista, 2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La comparación de la cantidad total de UFC en medios con y sin Pb (Cuadro 1), muestra una disminución del número total de UFC en el medio adicionado con Pb. Esto sugiere que la presencia de Pb en el medio afecta negativamente el crecimiento microbiano. Estudios previos indican que suelos no contaminados o con bajas concentraciones de metales pesados presentan una mayor diversidad microbiana en comparación con suelos contaminados (Sun *et al.*, 2023). Los metales pesados reducen la diversidad y el número de comunidades microbianas, fomentando el crecimiento de poblaciones resistentes (Xie *et al.*, 2016). De hecho, se ha demostrado que el Pb disminuye la diversidad funcional de las comunidades microbianas y altera la morfología celular (Shao *et al.*, 2019), lo que ha llevado a desarrollar capacidades para bioacumular y biotransformar metales pesados, los cuales son útiles en la biorremediación (Xie *et al.*, 2016).

Cuadro 1. Comparación de UFC en medios con y sin Pb.

Condición	Colonias totales
Agar con Pb	28
Agar sin Pb	275

Luego del ensayo de tolerancia a Pb, las 28 colonias que crecieron en medio con Pb se aislaron hasta obtener cultivos puros, para posteriormente caracterizarlas con base en sus características macroscópicas y microscópicas. Los análisis morfológicos permitieron agrupar los 28 aislados en siete diferentes morfotipos, derivado de esto resaltan principalmente las morfologías de bacilos y cocos. Además, la mayoría de las bacterias observadas se muestran Gram positivas.

Las características macroscópicas y morfológicas observadas podrían estar relacionadas con las funciones adaptativas y la capacidad de las bacterias para manejar ambientes contaminados. Algunas bacterias Gram positivas con morfología bacilar, como *Bacillus cereus*, *B. thuringiensis*, *B. megaterium* y *Terrabacter tumescens*, han sido reportadas en la literatura por su potencial biorremediador de metales pesados (Tiquia-Arashiro, 2018). Sin embargo, es necesario realizar un análisis molecular para lograr la identificación taxonómica y posteriormente realizar pruebas de resistencia a metales pesados.

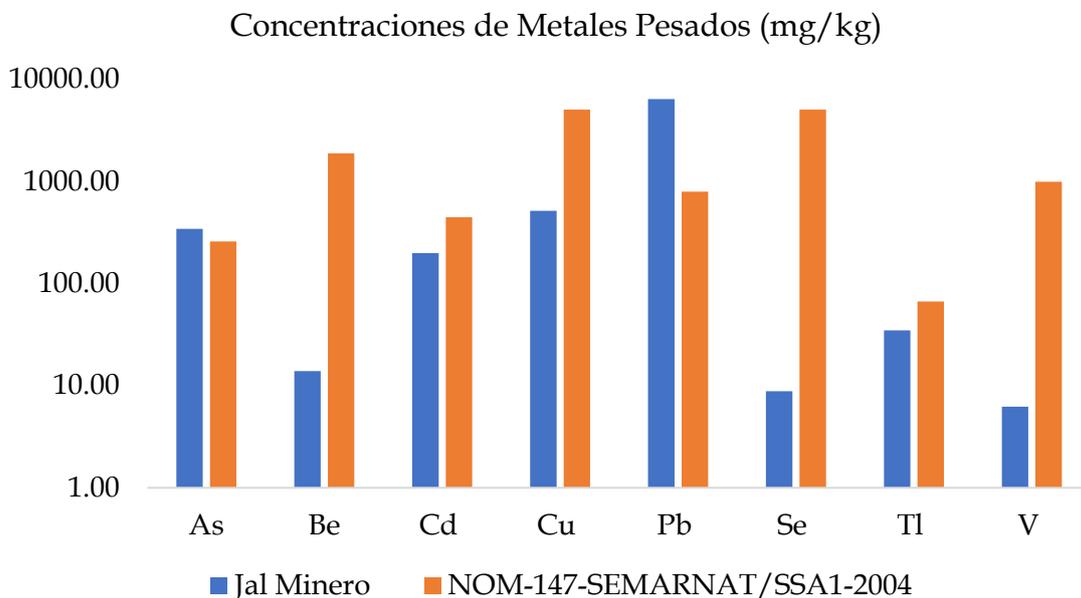


Figura 1. Comparación de las concentraciones de metales pesados en suelo de jales mineros de Ávalos con los valores de referencia para zonas industriales según la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (mg/kg). Los datos se presentan en una escala logarítmica de base 10 para facilitar su visualización.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Los resultados del análisis de metales pesados en el suelo revelaron que el Pb presenta la mayor concentración, seguido de Cu y As (Figura 1). Según la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, un suelo puede ser considerado un riesgo para la salud humana si las concentraciones de metales pesados superan los valores de referencia establecidos. Particularmente, la concentración de Pb (6,468.58 mg/kg) excede en ocho veces el límite permitido de 800 mg/kg para suelos contaminados, mientras que el arsénico (85.6 mg/kg) también supera los valores de referencia establecidos por la norma (SEMARNAT, 2004).

CONCLUSIONES

El suelo del jal minero de la ex fundidora de Ávalos presenta rizobacterias capaces de sobrevivir en un ambiente contaminado con metales pesados. Los ensayos de tolerancia a Pb permitieron identificar 28 aislados tolerantes, de los cuales se agruparon en siete morfotipos. Estas bacterias serán identificadas molecularmente para determinar el género y la especie a la que pertenecen, lo cual servirá para poder elaborar propuestas para el uso biotecnológico de las bacterias en procesos de tolerancia y bioacumulación de metales pesados. Por otra parte, los resultados mostraron que las concentraciones de Pb y As en los suelos exceden los límites establecidos por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Con base en lo anterior, las características observadas en las bacterias ofrecen una línea base para futuros estudios sobre su potencial en aplicaciones de biorremediación.

BIBLIOGRAFÍA

- Cui, H., Liu, L. L., Dai, J. R., Yu, X. N., Guo, X., Yi, S. J., Zhoua, D. Y., Guoa, W. H., & Du, N. (2018). Bacterial community shaped by heavy metals and contributing to health risks in cornfields. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 166, 259-269.
- Escobedo Bautista, R. (2021) Remoción de arsénico en agua por medio de humedales construidos con sustrato de zeolita clinoptilolita y *Eleocharis macrostachya*. Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Gao, X., Jiang, L., Mao, Y., Yao, B., & Jiang, P. (2021). Progress, challenges, and perspectives of bioleaching for recovering heavy metals from mine tailings. *Adsorption Science & Technology*, 2021.
- González-Escobedo, R., Muñoz-Castellanos, L. N., Muñoz-Ramírez, Z. Y., Guigón-López, C., & Avila-Quezada, G. D. (2023). Rhizosphere bacterial and fungal communities of healthy and wilted pepper (*Capsicum annuum* L.) in an organic farming system. *Ciência Rural*, 53 (7).
- Jiang, X., Liu, W., Xu, H., Cui, X., Li, J., Chen, J., & Zheng, B. (2021). Characterizations of heavy metal contamination, microbial community, and resistance genes in a tailing of the largest copper mine in China. *Environmental Pollution*, 280, 116947.
- Sambrook, J., & Russell, W. D. (2001). *Molecular cloning: a laboratory manual*. Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2004). NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004: Agua residual urbana y otros servicios. Límites máximos permisibles de contaminantes. *Diario Oficial de la Federación*.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Shao, W., Li, M., Teng, Z., Qiu, B., Huo, Y., & Zhang, K. (2019). Effects of Pb (II) and Cr (VI) stress on phosphate-solubilizing bacteria (*Bacillus* sp. Strain MRP-3): oxidative stress and bioaccumulation potential. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(12), 2172.
- Sun, R., Gao, Y., & Yang, Y. (2022). Leaching of heavy metals from lead-zinc mine tailings and the subsequent migration and transformation characteristics in paddy soil. *Chemosphere*, 291, 132792.
- Sun, X., Sun, M., Chao, Y., Shang, X., Wang, H., Pan, H., ... & Zhuge, Y. (2023). Effects of lead pollution on soil microbial community diversity and biomass and on invertase activity. *Soil Ecology Letters*, 5, 118-127.
- Tiquia-Arashiro, S. M. (2018). Lead absorption mechanisms in bacteria as strategies for lead bioremediation. *Applied microbiology and biotechnology*, 102, 5437-5444.
- Tsegaye, Z., Gizaw, B., Tefera, G., Feleke, A., Chaniyalew, S., Alemu, T., & Assefa, F. (2019). Isolation and biochemical characterization of Plant Growth Promoting (PGP) bacteria colonizing the rhizosphere of Tef crop during the seedling stage. *Journal of Plant Science and Phytopathology*, 3(1), 013-027.
- Viramontes, S., & Portillo, M. C. (2010). *Identificación de Microorganismos: actividades prácticas para el laboratorio*. Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Xie, Y., Fan, J., Zhu, W., Amombo, E., Lou, Y., Chen, L., & Fu, J. (2016). Effect of heavy metals pollution on soil microbial diversity and bermudagrass genetic variation. *Frontiers in Plant Science*, 7, 755.

CONTROLES BIOFÍSICOS DE LA RESPIRACIÓN DEL SUELO EN UN CULTIVO DE INVIERNO DEL NOROESTE DE MÉXICO

Martha L. Vargas-Terminel¹; Claudia J. Olivas-Castillo¹; Jaime Garatuza-Payán¹; Masuly G. Vega-Puga¹; Miguel A. Rivera-Díaz¹; Tulio Arredondo-Moreno²; Julio C. Rodríguez³; Enrico A. Yépez¹

¹Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente, Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de Febrero 818 Sur, Centro, C.P. 85000, Ciudad Obregón, Sonora.

²División de Ciencias Ambientales, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnología A.C., Camino a la Presa de San José 2055, Lomas 4ta. Sección, C.P. 78216, San Luis Potosí, México.

³Departamento de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas y Rosales S/N, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México.

Autor para correspondencia: martha.vargas41851@potros.itson.edu.mx

RESUMEN

La respiración del suelo (R_s) es un importante componente del ciclo del carbono (C) por su contribución de emisiones de CO_2 hacia la atmósfera. Sin embargo, la importancia relativa de los controles biofísicos que ejercen un efecto sobre los procesos y mecanismos que definen su dinámica en agroecosistemas han sido pobremente estudiados. En el presente estudio se utilizaron modelos de ecuaciones estructurales (SEM) para identificar los principales controles de la variabilidad de R_s durante un ciclo agrícola de un cultivo de trigo de invierno en el noroeste de México. El SEM explicó una importante proporción de la varianza de R_s y se observó que durante el periodo de estudio la temperatura e indicadores eco-fisiológicos fueron los más influyentes en la variabilidad de este flujo. Los resultados muestran la necesidad de seguir implementando el monitoreo continuo de R_s y sus controles biofísicos para tener una mejor comprensión acerca del ciclo del C en agroecosistemas bajo un contexto de cambio climático.

PALABRAS CLAVE

Agroecosistemas; Analizadores de gases en infrarrojo; Biogeociencias; Flujo de CO_2 ; Valle del Yaqui.

INTRODUCCIÓN

Bajo un contexto de cambio climático, los agroecosistemas han tomado un rol importante debido a los efectos que se producirán en su rendimiento y productividad (Asseng *et al.*, 2015), así como, los procesos y mecanismos relacionados al ciclo global del C en la vegetación y el suelo. La productividad de los agroecosistemas está definida por el intercambio de energía, el cual está compuesto por la asimilación de CO_2 mediante el proceso de fotosíntesis y la emisión de éste hacia la atmósfera a través de la respiración del ecosistema (R_{eco}). R_{eco} comprende la suma de la respiración autótrofa y heterótrofa como resultado de la descomposición de la materia orgánica por microorganismos y la respiración de la macrofauna (Chapin *et al.*, 2011) siendo la respiración del suelo (R_s) su principal componente.

Particularmente, en los agroecosistemas de regiones áridas y semiáridas, los estudios de variabilidad de los flujos ecosistémicos de C, R_s y su función asociada a controles biofísicos, han sido poco abordadas a pesar de que se cuenta con regiones agrícolas importantes (Schindlbacher *et al.*, 2012) como lo es el Valle del Yaqui. Desde el punto de vista de cambio climático, R_s es un proceso relevante debido a la emisión de importantes cantidades de CO₂ hacia la atmósfera a consecuencia del metabolismo y respiración de las plantas (i.e. raíces, rizosfera) y microorganismos que controlan procesos biogeoquímicos en el suelo (Xu y Shang, 2016). Es por ello, que con el fin de definir la contribución y respuesta de los suelos en agrosistemas del noroeste de México en el ciclo global del C, en el presente trabajo se identificaron las interacciones de diferentes controles ambientales y biológicos, así como, su importancia relativa en la variabilidad de R_s en un cultivo de trigo de invierno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El estudio fue realizado en el Centro Experimental de Transferencia de Tecnología 910 del Instituto Tecnológico de Sonora (27° 21' 57.08" N, 109° 54' 48.51" O) en el Valle del Yaqui, una de las zonas económicas y productivas más importantes a nivel nacional. El clima de la zona es clasificado como BW(h')w con una precipitación y temperatura media anual de 320 mm año⁻¹ y 27.3°C, respectivamente (Ahrens *et al.*, 2008). Los suelos son predominantemente vertisoles y aridisoles con un alto contenido de arcillas y baja materia orgánica (Millar *et al.*, 2018).

Respiración del suelo y micrometeorología local

El periodo de muestreo de respiración del suelo (R_s) fue hecho cada 21 días durante el ciclo de cultivo del trigo de diciembre de 2016 a abril de 2017. El diseño experimental en el sitio consistió en establecer seis parcelas de monitoreo de 3 m de diámetro, en donde en cada parcela fueron instalados a 4 cm de profundidad dos collares de suelo de PVC de 10 cm de diámetro (Olivas-Castillo *et al.*, 2017).

En cada collar de suelo, los cambios en la concentración de CO₂ del suelo fueron medidos durante 180 s mediante una cámara estática acoplada a un analizador de gases en infrarrojo (LI-COR 8100, LI-COR Biosciences, Lincoln, Nebraska, E.U.A.). Mientras que, de manera simultánea se tomaron lecturas del contenido volumétrico de agua en el suelo con un sensor de reflectometría de dominio de frecuencia (Theta Probe ML2x, Delta Services Cambridge, Reino Unido) y la temperatura de suelo con un termómetro de termopar (Barnant Co., Barrington, IL, E.U.A.). Finalmente, el flujo de R_s fue calculado en SoilFluxPro® (versión 4.0.1, LI-COR Biosciences, Lincoln, Nebraska, E.U.A.).

En un área adyacente a las parcelas experimentales de R_s fue instalada una torre micrometeorológica que monitoreaba de manera continua el intercambio de CO₂ y vapor de agua entre el ecosistema y la atmósfera, así como, la meteorología local (Vargas-Terminel *et al.*, 2018). Adicionalmente, en cada parcela, la temperatura del dosel fue medida con sensor infrarrojo (IRTS Apogee Instruments Inc., Logan, UT, E.U.A.) a una altura de 1.2 m sobre el cultivo (Vega-Puga *et al.*, 2017).

Análisis de datos

Se crearon modelos de ecuaciones estructurales (SEM) para identificar los principales controles biofísicos y su importancia relativa sobre la variabilidad de la respiración del suelo (R_s) en un cultivo de trigo de invierno. El modelo general (Figura 1a) fue construido a partir de hipótesis causales basadas en la literatura y análisis exploratorios (Shiple, 2016). Las variables utilizadas para este estudio fueron: radiación solar global (K^*), temperatura del aire (T_{air}), temperatura del dosel (T_{dosel}), déficit de presión de vapor (VPD), contenido volumétrico de agua en el suelo (SWC) y temperatura del suelo (TS). Para seleccionar el modelo más adecuado se evaluaron las medidas de bondad de ajuste de índice del ajuste normado (NFI), el índice de bondad de ajuste (GFI) y el error cuadrático medio de aproximación (RMSEA). Todos los análisis del SEM fueron realizados en IBM® SPSS® Amos™ (versión 20.0, IBM Corporation, Armonk, NY, E.U.A.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este trabajo, se utilizaron SEM para identificar los principales controles biofísicos de la variabilidad de R_s y su importancia relativa en un cultivo de trigo de invierno. Este análisis mostró un buen ajuste explicando una importante proporción de la varianza de R_s ($R^2=0.43$) y demostró que la importancia relativa de los controles biofísicos influye de manera distinta sobre la variabilidad de este flujo (Figura 1b). Según lo previsto, se encontraron relaciones entre las variables meteorológicas. Por ejemplo, K tuvo una relación directa positiva significativa con T_{air} y SWC, mientras que, T_{air} tuvo una fuerte relación directa y positiva con VPD y T_{dosel} , y VPD incidió con un efecto negativo y directo en la variabilidad de SWC (0.42).

En el caso de R_s para el cultivo de trigo, K y SWC no tuvieron una relación significativa en la variabilidad de R_s . Por otro lado, la temperatura en su matriz atmósfera-vegetación-suelo controlaron de manera consistente, en donde, T_{air} (0.59) que ejerció un efecto positivo y directo, en contraste con T_{dosel} y TS tuvieron una relación negativa significativa (Figura 1). Esto sugiere que en cultivos resistentes al frío como el trigo, R_s responden a los cambios de temperatura (Wang *et al.*, 2016), al existir un aumento en el metabolismo microbiano que controlan los procesos bioquímicos como descomposición de la materia orgánica y la mineralización, resultando en una mayor emisión de CO_2 hacia la atmósfera (Chen *et al.*, 2021).

Notablemente, los resultados del SEM mostraron que el déficit de presión de vapor (VPD) tuvo un efecto negativo y directo en R_s . VPD es un indicador ecofisiológico de pérdida de agua asociado el intercambio de carbono y vapor de agua de la planta con la atmósfera (Xing *et al.*, 2023) ya que VPD tiene una importante influencia en la regulación de la conductancia estomática y las tasas de fotosíntesis (Novick *et al.*, 2016) y por lo tanto puede ejercer un efecto sobre el componente autotrófo de este flujo.

Se ha reportado que la contribución del componente autotrófo en agrosistemas constituye el $85\pm 10\%$ de la R_s (Hanson *et al.*, 2000) en contraste al 45% en ecosistemas estacionalmente secos (Roby *et al.*, 2019) y el $33\pm 1\%$ en bosques subtropicales (Huang *et al.*, 2018).

Debido a la alta vulnerabilidad que pronostica para las principales regiones agrícolas producto del cambio climático (Asseng *et al.*, 2015) es necesario que las redes de sistemas de monitoreo eco-hidrológico a largo plazo sigan siendo establecidas con

el fin de comprender como el ciclo de C y sus componentes en los agroecosistemas del noroeste de México responderán hacia los efectos de los controles biofísicos y como se verán reflejados en el rendimiento y las emisiones de gases de efecto invernadero de los cultivos.

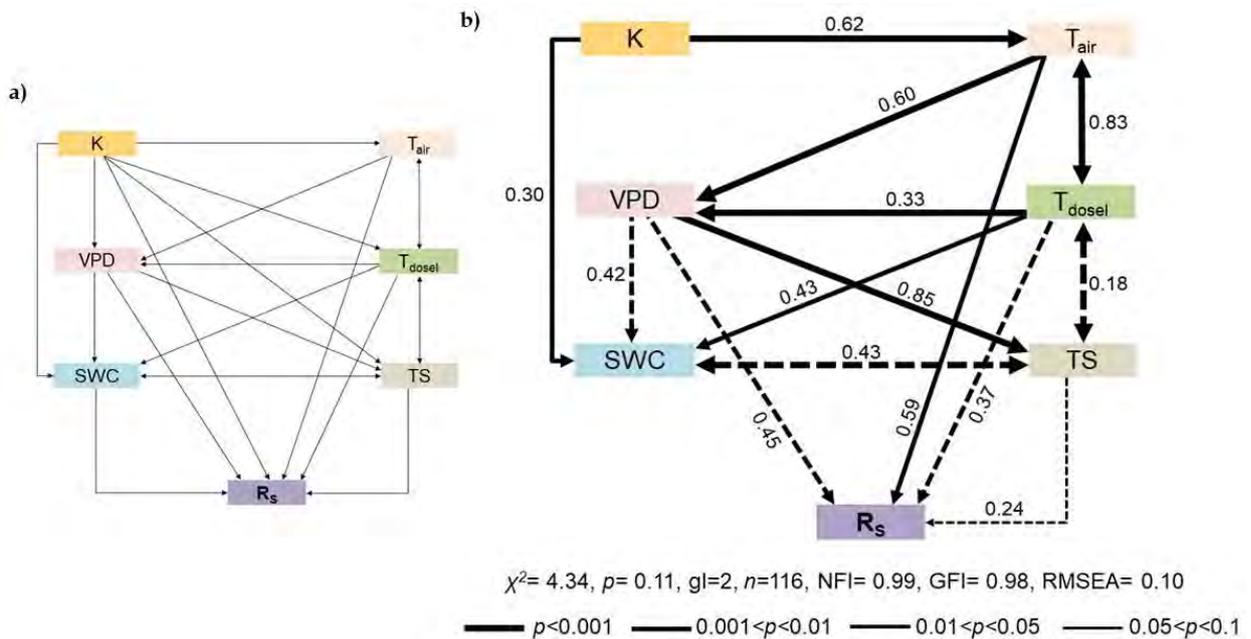


Figura 1. Modelo de ecuación estructural en un cultivo de invierno del noroeste de México. (a) El modelo general ilustra las relaciones hipotéticas causa-efecto directas e indirectas de los control es biofísicos sobre la respiración del suelo (R_s). (b) Las relaciones causales muestran los efectos positivos (líneas sólidas) y negativos (líneas no continuas) con sus pesos de regresión estandarizados. Adicionalmente, el modelo muestra la chi-cuadrada (χ^2), la significancia de la probabilidad del valor-p, grados de libertad (gl), número de muestra (n), índice de ajuste normado (NFI), índice de bondad de ajuste (GFI) y error cuadrático medio de aproximación (RMSEA). El grosor de las flechas es proporcional al valor-p.

CONCLUSIONES

El SEM mostró relaciones causa-efecto complejas y significativas sobre R_s durante el ciclo de cultivo del trigo de invierno en el Valle del Yaqui. La importancia relativa de los controles biofísicos influye de manera distinta sobre la variabilidad de la respiración del suelo. Este estudio resalta la relevancia de incorporar controles biofísicos adicionales para una mejor comprensión sobre los procesos y mecanismos que definen la productividad y rendimiento en los agroecosistemas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al fondo sectorial SEP-CONACYT CB2013-01: 220788 y el Programa de Fomento y Apoyo a Proyectos de Investigación (PROFAPI, Instituto Tecnológico de Sonora) por el financiamiento. Dedicamos este trabajo a la memoria del Dr. Tulio Arredondo Moreno.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahrens, T. D., Beman, J. M., Harrison, J. a., Jewett, P. K., & Matson, P. (2008). A synthesis of nitrogen transformations and transfers from land to the sea in the Yaqui Valley agricultural region of northwest Mexico. *Water Resources Research*, 45(7), 1-13. <https://doi.org/10.1029/2007WR006661>
- Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rötter, R. P., Lobell, D. B., Cammarano, D., ... & Zhu, Y. (2015). Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature climate change*, 5(2), 143-147. <https://doi.org/10.1038/nclimate2470>
- Chapin, F. S., Matson, P. A., & Vitousek, P. M. (2011). *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9504-9>
- Chen, S., Wang, J., Zhang, T., Hu, Z., & Zhou, G. (2021). Warming and straw application increased soil respiration during the different growing seasons by changing crop biomass and leaf area index in a winter wheat-soybean rotation cropland. *Geoderma*, 391, 114985. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.114985>
- Hanson, P. J., Edwards, N. T., Garten, C. T., & Andrews, J. A. (2000). Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations. *Biogeochemistry*, 48, 115-146. <https://doi.org/10.1023/A:1006244819642>
- Huang, S., Ye, G., Lin, J., Chen, K., Xu, X., Ruan, H., ... & Chen, H. Y. (2018). Autotrophic and heterotrophic soil respiration responds asymmetrically to drought in a subtropical forest in the Southeast China. *Soil Biology and Biochemistry*, 123, 242-249. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.04.029>
- Millar, N., Urrea, A., Kahmark, K., Shcherbak, I., Robertson, G. P., & Ortiz-Monasterio, I. (2018). Nitrous oxide (N₂O) flux responds exponentially to nitrogen fertilizer in irrigated wheat in the Yaqui Valley, Mexico. *Agriculture, ecosystems & environment*, 261, 125-132. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.04.003>
- Novick, K. A., Ficklin, D. L., Stoy, P. C., Williams, C. A., Bohrer, G., Oishi, A. C., ... & Phillips, R. P. (2016). The increasing importance of atmospheric demand for ecosystem water and carbon fluxes. *Nature climate change*, 6(11), 1023-1027. <https://doi.org/10.1038/nclimate3114>
- Olivas-Castillo Claudia J., Garatuza-Payan J., Yépez Enrico A., Vega-Puga Masuly, Rivera-Díaz M. y de los Santos-Villalobos Sergio. (2017). Efecto del incremento en temperatura en la dinámica de CO₂ en suelo del Valle del Yaqui En Paz, F., R. Torres y A. Velázquez (Editores). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2017* (pp. 57-62). Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada y la Universidad Autónoma de Baja California. Texcoco, Estado de México, México.
- Roby, M. C., Scott, R. L., Barron-Gafford, G. A., Hamerlynck, E. P., & Moore, D. J. (2019). Environmental and vegetative controls on soil CO₂ efflux in three semiarid ecosystems. *Soil Systems*, 3(1), 6. <https://doi.org/10.3390/soilsystems3010006>
- Schindlbacher, A., Wunderlich, S., Borken, W., Kitzler, B., Zechmeister-Boltenstern, S., & Jandl, R. (2012). Soil respiration under climate change: prolonged summer drought offsets soil warming effects. *Global Change Biology*, 18(7), 2270-2279. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02696.x>

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Shipley, B. (2016). *Cause and correlation in biology: A user's guide to path analysis, structural equations and causal inference with R*. Cambridge University Press.
- Vargas-Terminel Martha L., Garatuza-Payán Jaime, Yépez Enrico A., Vega-Puga Masuly, Rivera-Díaz M., Arredondo-Moreno Tulio, Argente-Martínez, Leandris y Rodríguez Julio C. (2018). Productividad neta del agroecosistema en un cultivo de trigo de invierno en el Valle del Yaqui En Paz, F., A. Velázquez y M. Rojo (Editores). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2018* (pp. 41-46). Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Instituto Tecnológico de Sonora. Texcoco, Estado de México, México.
- Vega-Puga M. G., Rivera-Díaz M. A., Argente-Martínez L., Olivas-Castillo C., Delgado-Balbuena J., Arredondo-Moreno T., Garatuza-Payan J., y Yépez E. A. (2017). Desempeño de una manipulación de temperatura en parcelas experimentales de trigo en el Valle del Yaqui En Paz, F., R. Torres y A. Velázquez (Editores). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2017* (pp. 53-56). Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada y la Universidad Autónoma de Baja California. Texcoco, Estado de México, México.
- Wang, R., Wang, Z., Sun, Q., Zhao, M., Du, L., Wu, D., ... & Guo, S. (2016). Effects of crop types and nitrogen fertilization on temperature sensitivity of soil respiration in the semi-arid Loess Plateau. *Soil and Tillage Research*, 163, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.05.005>
- Xing, W., Yang, L., Wang, W., Yu, Z., Shao, Q., Xu, S., & Fu, J. (2023). Environmental controls on carbon and water fluxes of a wheat-maize rotation cropland over the Huaibei Plain of China. *Agricultural Water Management*, 283, 108310. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108310>
- Xu, M., & Shang, H. (2016). Contribution of soil respiration to the global carbon equation. *Journal of plant physiology*, 203, 16-28. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.08.007>

NÍQUEL Y LA RIZOBACTERIA (*Arthrobacter pokkalii* JLB4), EN EL CRECIMIENTO DE PLANTAS DE TOMATE

Sara Monzerrat Ramírez-Olvera*; Marco Polo Carballo-Sánchez

Posgrado de Edafología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Autor para correspondencia: ramirez.sara@colpos.mx

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el suministro de Ni, en el crecimiento de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) cv. Rio Grande, previamente inoculadas con la rizobacteria *Arthrobacter pokkalii* JLB4. Plántulas de tomate con 30 días de edad, fueron trasplantadas en bolsas de polietileno negro de 30 x 30 cm, rellenas con tezontle como sustrato. Trascorridos 5 días, las plántulas fueron inoculadas con la cepa *Arthrobacter pokkalii* JLB4, y a los 15 días, se suministró Ni ((0, 50, 100, 150, 200 y 250 μM $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$) a la raíz, en tres ocasiones en intervalos de 7 días, y se determinó altura de planta, diámetro de tallo e índice de clorofila. La inoculación de *A. pokkalii* y posterior aplicación de Ni a la raíz, incremento los valores de altura de la planta, diámetro de tallo y manteniendo sin cambios el índice de clorofila en plantas de tomate cultivar Rio Grande.

PALABRAS CLAVE

Crecimiento vegetativo; Elemento esencial; Raíz, Solanáceas; *Solanum lycopersicum*.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es una hortaliza que pertenece a la familia de las solanáceas y es fundamental para la alimentación humana, tanto en consumo fresco o en productos procesados. Su producción en el 2022 a lo largo de México fue de 3.185 millones de toneladas en todas las variedades de tomate rojo de riego y temporal, siendo Sinaloa, San Luis Potosí y Michoacán los estados con mayor producción (SIAP, 2024). Se ha utilizado como planta modelo en estudios de genética, respuesta a enfermedades y madurez de frutos (Roccoliello *et al.*, 2022) debido a su ciclo de vida corto, así como a la susceptibilidad a plagas y enfermedades.

Debido a su importancia en el mercado, es importante promover la nutrición del tomate al incrementar la incorporación de micronutrientes como es el caso del níquel, que es un elemento ubicuo que se puede encontrar en el agua, suelo, aire y la biósfera. Este metal es esencial para las plantas, ya que es necesario para la actividad de la enzima ureasa (esencial para el metabolismo del nitrógeno). Se ha reportado que incrementa la cantidad y capacidad nutricional del fruto, el incremento de biomasa y es capaz de influenciar el contenido de azúcares solubles y vitamina C (Correia *et al.*, 2018).

La suplementación de este metal resulta benéfica, aunque en exceso es perjudicial para la planta y para los consumidores (Correia *et al.*, 2018), por lo que una estrategia adecuada para el control de la incorporación de este nutriente es la inoculación de Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (RPCV), las cuales interactúan con las plantas, mejoran las condiciones de crecimiento y regulan la incorporación del níquel incrementa la biodisponibilidad en la planta mediante la producción de sideróforos, al sintetizar ácidos orgánicos que disminuyan el pH (Virk *et al.*, 2023), promoviendo el crecimiento radical y aumentando la superficie de absorción mediante la producción de reguladores del crecimiento (Kamran *et al.*, 2016), así como aliviando el estrés por toxicidad de níquel (Badawy *et al.*, 2022). El objetivo de este trabajo fue la suplementación de plantas de tomate con níquel múltiples dosis y la inoculación con la rizobacteria *Arthrobacter pokkalii* JLB4.

MATERIALES Y MÉTODOS

Plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum*) cv. Rio grande de 30 días de edad, se colocaron en bolsas de polietileno negro de 30 x 30 cm rellenas con tezontle como sustrato. A los 5 días después del trasplante, las plántulas se inocularon con la cepa *Arthrobacter pokkalii* JLB4, y a los 15 días después de la inoculación, se inició la aplicación de Ni a la raíz, mediante la adición de 0 (testigo), 50, 100, 150, 200 y 2500 μM $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ en tres ocasiones en intervalos de 7 d, donde se realizó el registro de las variables respuesta, incluyendo altura de planta, diámetro de tallo e índice de verdor cuyos valores fueron registrados con regla, vernier digital y equipo SPAD-502, respectivamente.

Una unidad experimental consistió en una maceta con una planta de tomate, las cuales se distribuyeron aleatoriamente en un diseño completamente al azar. A los datos obtenidos en cada variable se les realizaron las pruebas de los supuestos, en lo referente a normalidad y homogeneidad de varianzas. Posteriormente se realizó el análisis de varianza y la prueba de comparación de medias Tukey, para lo cual se utilizó paquete estadístico SAS 9.1 (SAS institute, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El índice de verdor de las hojas (Cuadro 1), no se alteró con la inoculación *A. pokkalii* y el posterior tratamiento con Ni, a los 7, 14 y 21 ddiNi. Por otro lado, la altura de la planta (Figura 1), incremento significativamente a los 7 ddiNi, con la aplicación de 100, 150, 200 y 250 μM Ni respecto al testigo. Resultados similares fueron observados a los 14 y 21 dditNi con el uso de 250 μM Ni.

El diámetro de tallo esta relacionado con la biomasa de la planta, y por tanto la fotosíntesis y el crecimiento. En este estudio, el tratamiento 200 μM Ni a los 7 y 14 dditNi, así como 200 y 250 μM Ni a los 21 dditNi aumento esta variable (Figura 2).

Cuadro 1. Índice de verdor (SPAD) en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*), inoculadas con *Arthrobacter pokkalii* JLB4 y sumistradas con Ni.

Ni (μM)	días después del inicio de la aplicación de Ni		
	7	14	21
0 (testigo)	39.0 \pm 0.7 a	37.7 \pm 0.8 a	36.1 \pm 0.5 a
50	37.0 \pm 0.6 a	36.4 \pm 0.6 a	36.1 \pm 0.7 a
100	39.3 \pm 1.1 a	39.1 \pm 1.1 a	37.4 \pm 0.9 a
150	38.2 \pm 0.6 a	36.3 \pm 0.6 a	36.9 \pm 1.0 a
200	36.8 \pm 0.4 a	35.3 \pm 0.3 a	35.6 \pm 0.6 a
250	37.9 \pm 0.6 a	37.7 \pm 1.4 a	36.0 \pm 0.4 a

Medias \pm EE (n=4) con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).

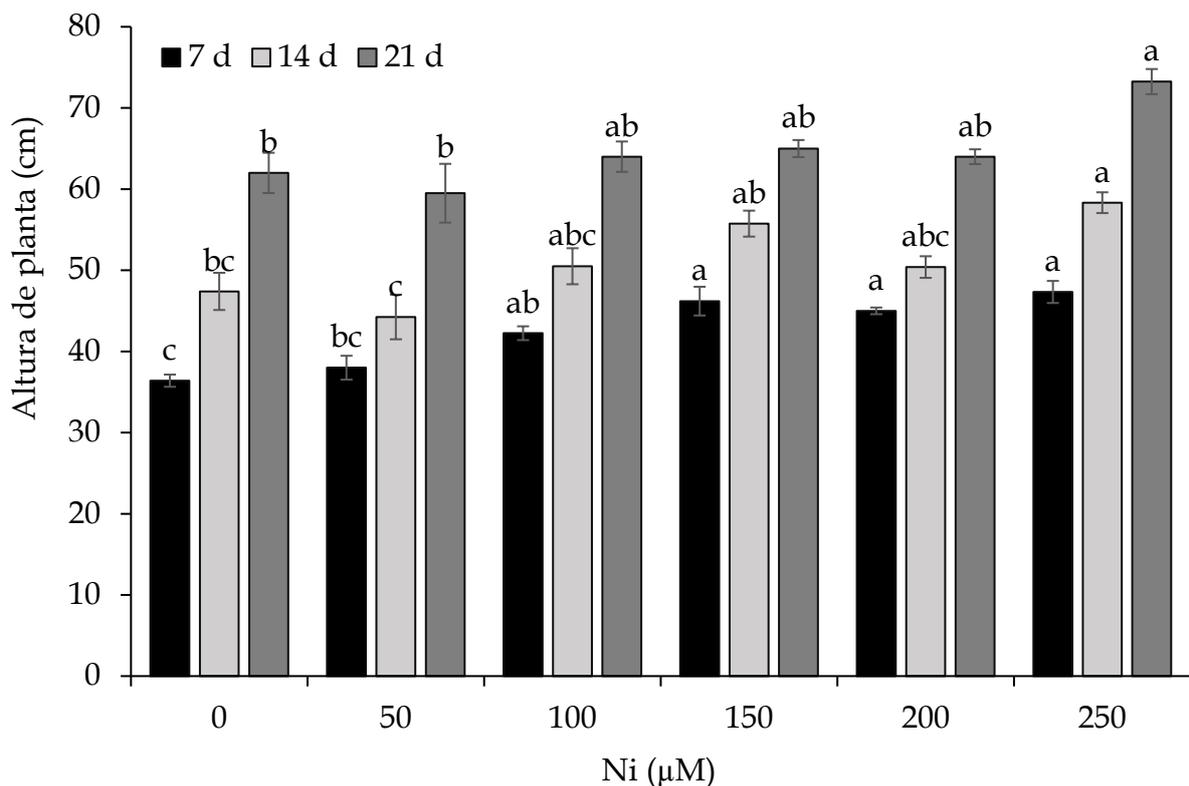


Figura 1. Altura de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) cv. Rio Grande, inoculadas con *Arthrobacter pokkalii* JLB4 y sumistradas con Ni, a los 7, 14 y 21 días del inicio del tratamiento con Ni. Medias \pm EE (n=4) con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).

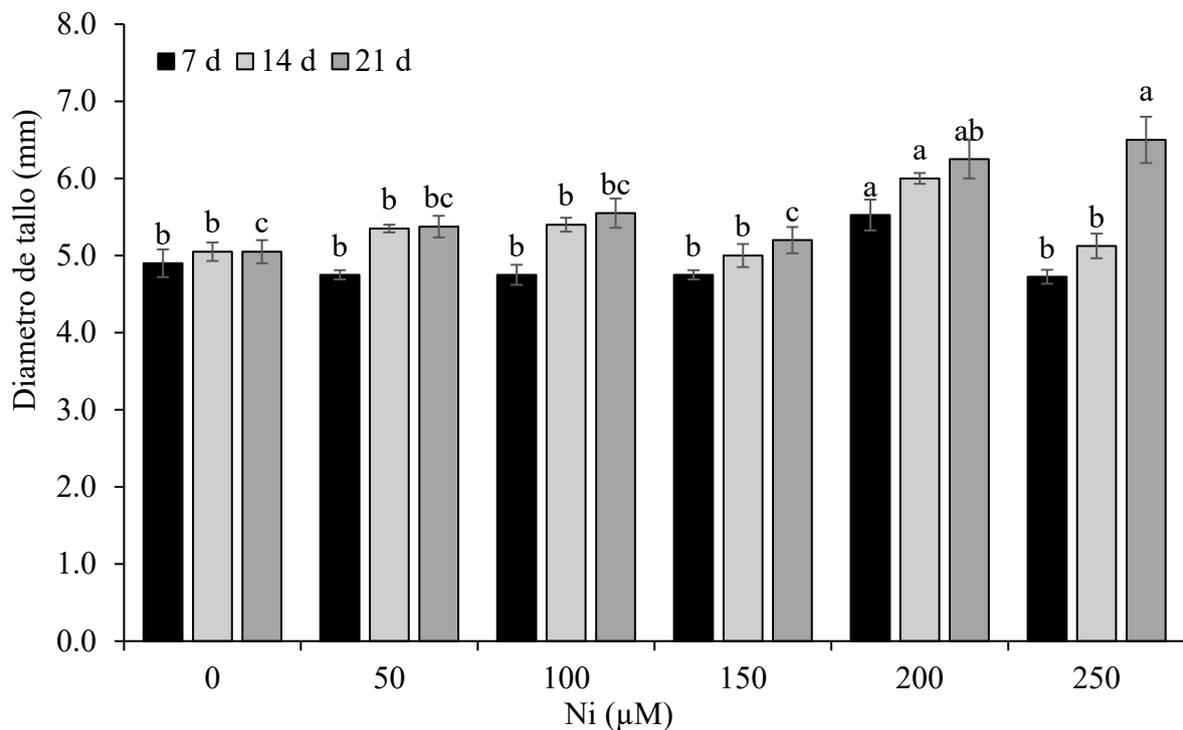


Figura 2. Diámetro de tallo de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) cv. Rio Grande, inoculadas con *Arthrobacter pokkali* JLB4 y sumistradas con Ni, a los 7, 14 y 21 días del inicio del tratamiento con Ni. Medias \pm EE (n=4) con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

La inoculación con *Arthrobacter pokkali* y el subsecuente suministro de Ni, mejora de forma significativa la altura de planta, diámetro de tallo y mantiene sin cambios el índice de verdor en plantas de tomate cultivar Rio Grande.

BIBLIOGRAFÍA

- Badawy, I. H., Hmed, A. A., Sofy, M. R., Al-Mokadem, A. Z. (2022). Alleviation of cadmium and nickel toxicity and phyto-stimulation of tomato plant l. by endophytic micrococcus luteus and enterobacter cloacae. *Plants*, 11(15), 2018.
- Correia, L., Marrocos, P., Montalván Olivares, D. M., Velasco, F. G., Luzardo, F. H. M., Mota de Jesus, R. (2018). Bioaccumulation of nickel in tomato plants: risks to human health and agro-environmental impacts. *Environmental monitoring and assessment*, 190, 1-12.
- Kamran, M. A., Eqani, S. A. M. A. S., Bibi, S., Xu, R. K., Monis, M. F. H., Katsoyiannis, A., Chaudhary, H. J. (2016). Bioaccumulation of nickel by *E. sativa* and role of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) under nickel stress. *Ecotoxicology and environmental safety*, 126, 256-263.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Roccotiello, E., Nicosia, E., Pierdonà, L., Marescotti, P., Ciardiello, M. A., Giangrieco, I., Mariotti, M. (2022). Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) accumulation and allergenicity in response to nickel stress. *Scientific Reports*, 12(1), 5432.
- SAS institute. 2004. SAS/STAT Versión 9.1. SAS institute Inc. Cary, NC, USA.
- SIAP. 2024. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> Consultado el 23 de mayo de 2024.
- Virk, Z. A., Yasin, M. Z., Gill, S., Ilyas, M. F., Dradrach, A., Alamri, S., Iqbal, M. (2023). Inducing Rhizosphere Acidification in White Willow with *Bacillus* sp. ZV6 Enhances Ni Phytoextraction from Soil and Soil Quality. *Minerals*, 13(9), 1178.

ACTIVIDAD MICROBIANA EN SUELOS TRATADOS CON FERTILIZANTE QUÍMICO

Paola A. Herrera Aceves¹; Juan Pedro Flores Margez^{1†}; Gabriela Mendoza Carreón¹; Pedro Osuna Avila¹

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, UACJ, Av. Plutarco Elías Calles no. 1210, Foviste Chamizal, 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua, México

† Autor para correspondencia: juflores@uacj.mx tel. 656-395-9420

RESUMEN

Los agricultores adicionan fertilizantes químicos y orgánicos a los suelos para mejorar la productividad y calidad de los alimentos. El suelo es un recurso vivo con muchos procesos físicos, químicos y biológicos complejos que ocurren simultáneamente, sin embargo existe poca información sobre el efecto de la adición de los fertilizantes sobre la actividad microbiana y como estos procesos están en función del tipo de suelo. El objetivo del estudio fue evaluar la respiración microbiana en dos tipos de suelo del norte del estado de Chihuahua, un suelo agrícola de Casas Grandes y otro suelo árido del Valle de Juárez. Se estableció un experimento completamente al azar con cuatro repeticiones y cuatro tratamientos: los dos suelos con y sin aplicación de fertilizante químico. Las muestras se incubaron durante cuatro semanas, se evaluó la emisión de CO₂ en cada tratamiento. Se observó que el suelo agrícola de Casas Grandes con textura franco-arcillosa superó significativamente a los demás tratamientos en la emisión de CO₂, pero el tratamiento con fertilizante en el suelo árido del Valle de Juárez tuvo un mejor respuesta a la aplicación de fertilizante durante las primeras tres semanas, pero menor cantidad de emisión de CO₂ que el otro suelo. Se concluyó que la respiración microbiana de los suelos varía significativamente cuando son tratados con fertilizante químico, de tal forma que los suelos arenosos de zonas áridas tienen una mejor respuesta de actividad microbiana en corto plazo, pero menor emisión de CO₂ cuando son tratados con un fertilizante químico.

PALABRAS CLAVE

Bióxido de carbono; Incubación; Respiración; Fertilizante nitrogenado.

INTRODUCCIÓN

El suelo es considerado un espacio heterogéneo definido por sus propiedades físicas, químicas y biológicas, que bajo condiciones naturales tiende a desarrollar un equilibrio dinámico con diversidad de organismos transformadores y descomponedores de sustratos (Reyes *et al.*, 2007). La microbiota del suelo está conformada por microorganismos tales como bacterias, hongos, protozoos y animales, que contribuyen al funcionamiento de los ecosistemas, ya que de ellos depende el mantenimiento de la estructura del suelo, la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad y reciclaje de nutrientes (Vitaluña, 2029; Soria, 2016; Somers *et al.*, 2004).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

La respiración metabólica de algunos organismos que están relacionados con el deterioro orgánico en el proceso por el cual el carbono se libera hacia la atmósfera en forma de CO₂ (Prockter *et al.*, 1998). La respiración heterotrófica participa en la descomposición, como también con otros procesos como la humificación y fragmentación de materia orgánica (Carmona *et al.*, 2006). La biomasa microbiana es el principal agente para la descomposición de materia orgánica del suelo, así la respiración del suelo se define como la producción de CO₂ por unidad de área y de tiempo, y se debe a la respiración de organismos edáficos, raíces y micorrizas, y en menor extensión, a la oxidación bioquímica de los compuestos de carbono (Lloyd y Taylor, 1994). La respiración da intercambio de CO₂ a la superficie atmosférica y es el segundo más importante, así la respiración del suelo es el CO₂ total que se produce por procesos metabólicos de los microorganismos, en especial los que descomponen la materia orgánica del suelo y la respiración también de las raíces y micorrizas (Ryan, 2005). Una de las adiciones comúnmente empleadas es la fertilización química, que produce marcados beneficios en las plantas debido al aumento en la disponibilidad de nutrientes que produce estos fertilizantes (Maoxing *et al.*, 2010). En la literatura se ha encontrado que los fertilizantes modifican las comunidades de bacterias y hongos (Ge *et al.*, 2008), pero también se ha encontrado que los fertilizantes no tienen modificación alguna en dichas comunidades microbianas (Clegg, 2006). Algunos estudios indicaron que los microorganismos del suelo son sensibles a presentar cambios en la composición y en la funcionalidad de las comunidades microbianas con la aplicación de fertilizantes químicos, tratamientos de manejo de suelos y prácticas de cultivos (Ge *et al.*, 2008). Algunos estudios han demostrado que las diferentes estrategias de fertilización inorgánica pueden incrementar la biomasa microbiana, aumentar o disminuir su actividad, afectando la tasa de descomposición y modificando la estructura de las comunidades microbianas (Wyngaard *et al.*, 2012). Diferentes autores mostraron que la actividad enzimática del suelo fue un sensible indicador de los efectos del manejo agrícola después de un experimento a largo plazo con fertilizantes (Pascual *et al.*, 2000). El objetivo del estudio consistió en evaluar el efecto de la adición de fertilizante en la respiración microbiana en dos tipos de suelo del norte del estado de Chihuahua.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el laboratorio de Ciencias Ambientales de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), localizada en la parte norte del estado de Chihuahua a 31° 44' 49" latitud norte, y 106° 26' 33" longitud oeste. El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro repeticiones, los tratamientos: suelo agrícola con fertilizante; suelo natural (no agrícola) con fertilizante; suelo agrícola sin fertilizante, y suelo natural (no agrícola) sin fertilizante, así como dos tipos de suelos. El muestreo de suelos se realizó en el mes de noviembre del 2020, conforme la norma NOM-021-REC-2000. Las muestras de suelo fueron tomadas de una zona nogalera del municipio de Nuevo Casas Grandes y de un predio de lomerío arenoso sin actividad agrícola en el Valle de Juárez. A estos suelos se les analizó la textura, densidad aparente, salinidad, alcalinidad, nitrógeno, fósforo y materia orgánica (NOM-021-REC/NAT-2000). La humedad de las muestras de suelo se ajustó al 50% con agua destilada conforme la capacidad de retención de agua.

El procedimiento consistió en la colocación de muestras de 50 g de suelo en contenedores de plástico, junto con dos frascos: uno con agua destilada y otro con NaOH 1 N. Las muestras se incubaron en oscuridad a 25 °C durante ocho días en oscuridad. El análisis químico se realizó al utilizar un vaso de precipitado con NaOH 1N, se adicionó 10 ml de BaCl₂ 1M, el líquido se tornó de color blanco lechoso, después se agregó una gota de indicador fenolftaleína, así el viraje fue a color rosa. Después se hizo una titulación con HCL 0.5 M, la cantidad del HCL dependió de la cantidad para lograr un viraje a blanco lechoso. La distribución normal de los datos de respiración fue analizada mediante una prueba de Kolmogorov-smirnov. También se realizó un análisis de varianza para un diseño experimental completamente al azar mediante series de tiempo, donde los factores de variación fueron: sitio, tratamiento y tiempo. La prueba Tukey fue realizada para detectar diferencias entre promedios, se usó el programa estadístico SPSS version 25.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización inicial de los suelos resultó en textura arenosa (94% arena, 4% limo y 2 % arcilla), 1.47 g/cm³ densidad aparente, pH de 8.88, conductividad eléctrica de 0.39 dS/m, 4.19 mg/kg de fósforo, 3.28 mk/kg de nitrógeno y 0.67% de materia orgánica para el suelo del Valle de Juárez. Mientras que para el suelo del sitio de Casas Grandes fue textura franco-arcillosa (41% arena, 34% limo y 25 % arcilla), 1.21 g/cm³ densidad aparente, pH de 8.21, conductividad eléctrica de 0.67 dS/m, 6.22 mg/kg de fósforo, 16.41 mk/kg de nitrógeno y 2.14% de materia orgánica. El promedio general de respiración de los suelos fue 0.237 g CO₂ /kg suelo. Se detectó efecto altamente significativo para los datos de respiración entre los dos tipos de suelos ($p < 0.001$). El factor tiempo mostró efecto significativo para respiración ($p < 0.01$), pero la interacción tratamiento x tiempo no fue significativa ($p = 0.61$). En promedio, la respiración del suelo acumulada en el estudio, fue significativamente mayor en el sitio Nuevo Casas Grandes que la registrada en el suelo arenoso del Valle de Juárez. La diferencia observada entre sitios fue de 0.15 g CO₂ /kg suelo (± 0.125), es decir la emisión de CO₂ como producto de la respiración microbiana fue 48.5% mayor en el suelo de Nuevo Casas Grandes. Aunque la interacción sitio por tratamiento no fue significativa ($p = 0.051$), el análisis de promedios y tendencia mostrada en la Figura 1, muestra que el suelo de Nuevo Casas Grandes en ambos tratamientos (control y fertilizante) a los siete días mostró los valores de respiración máximos registrados en este estudio con 0.43 g CO₂ /kg suelo, mientras que el suelo de una zona árida de Valle de Juárez presentó en promedio 0.06 g CO₂ /kg suelo. Las tendencias observadas son de disminución para el suelo de Nuevo Casas Grandes (CA y CF), mientras que el suelo del Valle (VA y VF) aumentó la respiración hasta los 21 días, pero luego disminuyó ligeramente en la última semana. Al final del período de incubación se observa que permanece mas alto los valores para el suelo de Casas Grandes y ligeramente mayor en el tratamiento con fertilizante (CF).

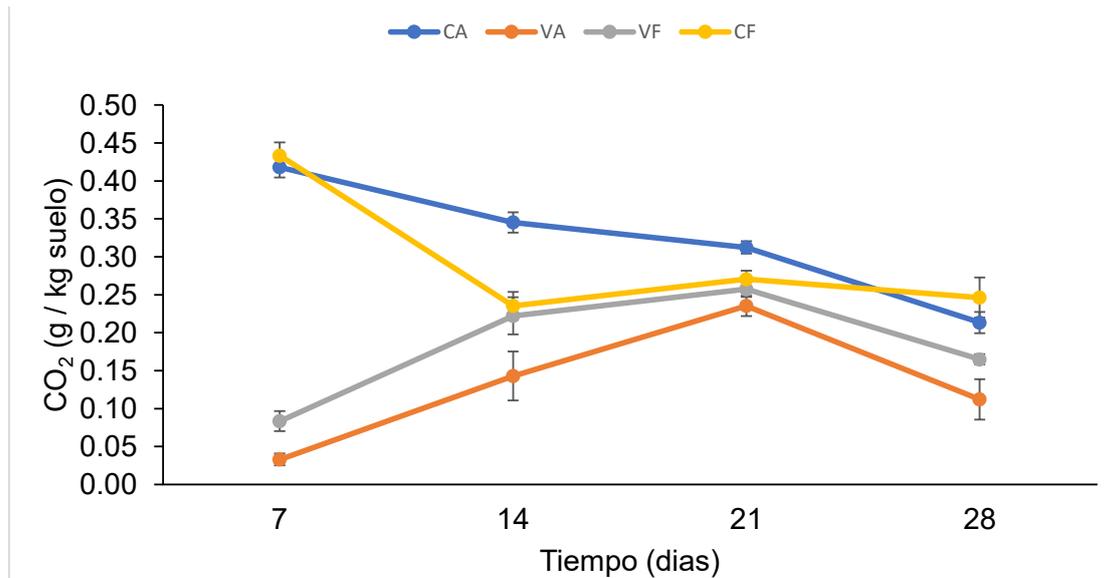


Figura 1. Promedios de la respiración microbiana (g CO₂ / kg suelo) en cuatro mediciones para incubación de suelo aerobico de dos sitios con y sin fertilizante.

El control del suelo franco-arcilloso mostró un aumento de 0.1034 g CO₂ /kg suelo con respecto al suelo con fertilizante, la diferencia fue de 8% en respiración, mientras que en el suelo arenoso del Valle la diferencia fue de 0.2046 g CO₂ /kg suelo, correspondiente a un 28% de incremento por el fertilizante, esto al activar la respiración de los microorganismos. Esto sugiere que suelos arenosos con bajo contenido de materia orgánica responden mejor a la fertilización química, ya que activan la masa microbiana del suelo, mientras que en suelos franco-arcillosos como el de Casas Grandes la respuesta aunque mayor en general, al aplicar fertilizante no fue de inmediato la respuesta, sino hasta después de las cuatro semanas. Este resultado coincide con Ge et al (2008) al indicar que la aplicación de fertilizante cambian la actividad microbiana, así como Wyngaard et al (2012) quienes señalan que la fertilización aumenta o disminuye la actividad de hongos y bacterias, ya que afectan las tasas de descomposición, lo cual tiene efecto en lo dinámico de las comunidades microbianas. También, Pascual et al (2000) enfatizan en que al aplicar los fertilizantes ocurre una mayor actividad enzimática y es un indicador en los suelos, lo cual se refleja en diferentes emisiones de CO₂, mientras que otros autores como Clegg (2006) mencionan que la fertilización no tienen modificación en las comunidades microbianas. Lo valioso de este estudio es que permitió generar información en relación a la actividad microbiana de suelos del norte del estado de Chihuahua, por lo que los datos son de amplia utilidad en estudios futuros de más largo plazo sobre la biología de los suelos.

CONCLUSIONES

Los valores de respiración microbiana del suelo expresada como emisión de CO₂ indican que en el suelo de textura media proveniente de una Nogalera de Nuevo Casas Grandes presentó 61.4% más actividad microbiana que el suelo arenoso del Valle de Juárez, también fue mayor para los suelos control donde la diferencia fue 40.6% entre sitios. El presente estudio aporta información inédita y permite sugerir que los suelos

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

arenosos responden mejor en corto plazo a la fertilización química, ya que activan la respiración microbiana del suelo, mientras que en de textura franco-arcillosa como el de Casas Grandes la respuesta es menor en respiración microbiana al aplicar fertilizantes en las primeras tres semanas, pero aumenta a partir de la cuarta semana, siendo mayor que el suelo arenoso del Valle de Juárez.

AGRADECIMIENTOS

Al personal del laboratorio de ciencias ambientales de ICB-UACJ. Al Cuerpo académico consolidado UACJ-CA-60, Sistemas de Producción Agrícola, por el apoyo de equipo analítico, reactivos químicos y materiales para realizar este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta-Martínez, V., Mikha, M. M., & Vigil, M. F. (2007). Microbial communities and enzyme activities in soils under alternative crop rotations compared to wheat-fallow for the Central Great Plains. *Applied Soil Ecology*, 37(1-2), 41-52. <https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2007.03.009>.
- Barea, J. M., Pozo, M. J., Azcón, R., & Azcón-Aguilar, C. (2005). Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 56(417), 1761-1778. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri197>.
- Carmona, M. R., Aguilera, M., Pérez, C. A., & Serey, I. (2006). Actividad respiratoria en el horizonte orgánico de suelos de ecosistemas forestales del centro y sur de Chile. *Gayana Bot*, 63(1), 1-12.
- Chu, H., Lin, X., Fujii, T., Morimoto, S., Yagi, K., Hu, J., & Zhang, J. (2007). Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management. *Soil Biology and Biochemistry*, 39, 2971-2976.
- Clegg, C. D. (2006). Impact of cattle grazing and inorganic fertilizer additions to managed grassland the microbial community composition on soils. *Applied Soil Ecology*. 31(1):73-82.
- Ge, Y., Zhang, J., Zhang, L., Yang, M., & He, J. (2008). Long term fertilization regimes affect bacterial community structure and diversity of an agricultural soil in the northern china. *Journal of Soils and Sediments*. 8(1):43-50.
- Hernández Flores, L., Munive Hernández, J. A., Sandoval Castro, E., Martínez Carrera, D., & Villegas Hernández Carmen. (2013). Efecto de las practicas agricolas sobre las poblaciones bacterianas del suelo en sistemas de cultivo en chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4, 353-365.
- Lloyd, J., & Taylor, J. A. (1994). On the Temperature Dependence of Soil Respiration. *Functional Ecology*, 8(3), 315-323.
- Maoming Dong, F., Liu, Y., Ma, X., An, L., W. Young J. Peter, & Feng, H. (2010). Effects of long term fertilization on AMF community structure and glomalin related soil protein in the loess plateau of china. *Plant and Soil*. 342(1):233-247
- Ortiz Solorio, C. A. (2010). *Edafología* (8th ed.). Universidad Autónoma Chapingo. México, D.F.
- NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 31 dic. 2002.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

- Pascual, J. A., Garcia, C., Hernandez, T., Moreno, J. L., & Ross, M. (2000). *Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation processes Related papers*. www.elsevier.com/locate/soilbio.
- Prockter, L. M., Head, J. W., Pappalardo, R. T., Senske, D. A., Neukum, G., Wagner, R., Wolf, U., Rgen Oberst, J.,
- Giese, B., Moore, J. M., Chapman, C. R., Helfenstein, P., Greeley, R., Breneman, H. H., & Belton, M. J. S. (1998). Dark Terrain on Ganymede: Geological Mapping and Interpretation of Galileo Regio at High Resolution. In *ICARUS* (Vol. 135).
- Reyes, Isbelia, & Valery, Alexis. (2007). Efecto de la fertilidad del suelo sobre la microbiota y la promoción del crecimiento Del maíz (zea mays l.) Con azotobacter spp. *Bioagro*, 19(3), 117-126. Recuperado en 05 de marzo de 2024, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612007000300001&lng=es&tlng=es.
- Ryan, M. G., & Law, B. E. (2005). Interpreting, Measuring, and Modeling Soil Respiration. *73*(1), 3-27. <https://doi.org/10.1007/s>.
- Somers, E., Vanderleyden, J., y Srinivasan, M (2004). Rhizosphere Bacterial Signalling: A Love Parade Bneath Our Feet. Taylor y Francis, 205-240.
- Soria, Marcelo A. ¿Por qué son importantes los microorganismos del suelo para la agricultura? *Química Viva*, vol. 15, núm. 2, agosto, 2016, pp. 3-10 Universidad de Buenos Aires Buenos Aires, Argentina.
- Vilatuña Catagña, F. (2019). Determinación de la microbiota del suelo en dependencia de la altitud y especies vegetales cultivadas. Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo. Carrera de Ingeniería Agronómica. Quito: UCE. 96 p.
- Wyngaard, N., Echeverria, H. E., Sainz Rozas, H. R., & Divito, G. A. (2012). Fertilization and tillage effects on soil properties and maize yield in a southern pampas argiudoll. *Soil and Tillage Research*, 119, 22-30.

ANÁLISIS DE LAS PRECIPITACIONES Y TEMPERATURAS EN LA LOCALIDAD DE CUAPIAXTLA, TLAXCALA

Edgar Barrales Brito¹; Claudia Isabel Hidalgo Moreno¹; José Sergio Barrales Domínguez²; Jorge Etchevers Barra¹

¹Posgrado de Edafología, área de Fertilidad de suelos. Colegio de Postgraduados. Carretera México- Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco 56264, Estado de México.

²Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México - Texcoco Chapingo, Texcoco, Estado de México CP 56230

Autor de correspondencia: barrales.edgar@colpos.mx

RESUMEN

Los aspectos climáticos influyen en la productividad agrícola, puesto que aproximadamente el 75% de la agricultura en México es de temporal (SADER y SIAP, 2021). Las precipitaciones y las temperaturas se han visto alteradas por efecto del cambio climático y fenómenos globales como son el niño. Con la necesidad de analizar las precipitaciones en la zona de Cuapiaxtla, Tlaxcala, se hizo un análisis de los datos climatológicos de las estaciones meteorológicas del estado para evaluar cómo han cambiado las condiciones de precipitación en dos periodos de tiempo (1962-1999 y 2000-2021) e identificar los cambios que han ocurrido. Se encontró que en el estado de Tlaxcala están disminuyendo las precipitaciones menores a 700 mm anuales que corresponde a las zonas agrícolas de temporal de estado se ven en riesgo por el déficit hídrico, en las zonas urbanas y zonas forestales, las precipitaciones se están incrementando. En el análisis de la estación de crecimiento de la estación de Cuapiaxtla, Tlaxcala, se encontró que se incrementó de 153 en el periodo de 1962-1999 a 169 días en el periodo de 2000-2021, incluyendo la presencia de 2 periodos húmedos de 64 días en los años más recientes. Las condiciones climáticas son cada vez más erráticas y difíciles de pronosticar, por lo que se requiere de nuevos cultivos que se puedan adaptar a la variabilidad de las condiciones climáticas actuales.

PALABRAS CLAVE

Cambio climático; Estación de crecimiento; Qgis.

INTRODUCCIÓN

México es un país que tiene una alta vulnerabilidad al cambio climático, siendo el sector agrícola es que tendrá más afectaciones por la presencia de sequía, granizadas, heladas y otros fenómenos que inciden en la producción agrícola (Monterroso *et. al.* 2012).

La estación de crecimiento se debe de tomar en cuenta para la estimación del tiempo en que se debe de establecer un cultivo, puesto que determina las condiciones de humedad del suelo y del ambiente que son las mejores para los cultivos.

Para el cálculo de la estación de crecimiento se necesitan los valores de la precipitación, evaporación y evapotranspiración, ya que a partir de estos valores se puede construir una gráfica en la que se visualice el inicio y el final del periodo de crecimiento (Pájaro y Ortiz, 1992).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Los componentes que forman la estación de crecimiento son dos principalmente y son el periodo húmedo (PH), en el cual es cuando las condiciones de humedad del medio pueden satisfacer las necesidades de la planta, y el periodo de lluvias (PLL). El primero es cuando la precipitación es mayor a la evapotranspiración (ETP), el inicio y el final del PH es cuando la precipitación es igual a la ETP. El PLL se inicia y termina cuando la precipitación es mayor al valor de 0,5 de ETP. Como estos dos factores que son de suma importancia para la agronomía como ya se expuso anteriormente, son altamente vulnerables a las alteraciones del clima por el cambio climático, ya que, si se presentan algunos cambios en estas variables climatológicas, estas estaciones sufren cambios que repercuten en la agricultura (citas).

El municipio de Cuapiaxtla, Tlaxcala, se localiza en la zona oriente del estado, en las coordenadas 19°17' de latitud norte y a -97°46' de longitud oeste y tiene una altitud de 2448 m. la principal actividad económica es la agrícola, en la que, cerca del 70% de la superficie es de agricultura de temporal aunque en la zona hay pozos para el riego, existe una fuerte problemática por la falta de infraestructura, por lo que los productores en la zona dependen de las precipitaciones para la producción agrícola.

Las precipitaciones en los últimos años han sido escasas a causa del cambio climático, sumado a esto en la zona de Cuapiaxtla, Tlaxcala es una zona de alto riesgo para la agricultura por las sequías, y las granizadas y heladas. El grado de vulnerabilidad se catalogó como una zona media de acuerdo a Monterroso *et.al.* 2012, por la presencia de sequías, granizadas, además de que los suelos tienen baja fertilidad y están propensos a la erosión. En la zona se produce principalmente maíz, calabaza, frijol y amaranto, este último ha tenido un incremento en la superficie de producción en la zona por sus cualidades de resistir la sequías. En el presente trabajo se hace un análisis de los datos climatológicos de las estaciones meteorológicas de la comisión nacional del agua (CONAGUA) presentes en el estado de Tlaxcala y en la localidad de Cuapiaxtla para determinar los cambios que han ocurrido en los últimos años.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se obtuvo información de las estaciones meteorológicas del estado de Tlaxcala, de la CONAGUA y se descargó la información meteorológica disponible en un periodo de 1962-2021, las cuales se seleccionaron aquellas estaciones que estén en funcionamiento y que tuvieran la información más completa posible.

A la información disponible se analizó en dos periodos de tiempos, de 1962-1999 y 2000-2023, con esta información se hizo un cálculo de isoyetas para calcular las áreas de los rangos de las precipitaciones de los periodos analizados, el cual se hizo con el programa QGIS versión 3.24 Tisler (López *et al.*, 2022). y observar las variaciones de las precipitaciones en el estado. Con los datos de la estación meteorológica de Cuapiaxtla, Tlaxcala, se determinó el tipo de clima de acuerdo con García, 1981.

Se determinó la estación de crecimiento para la estación de Cuapiaxtla, Tlaxcala, en los dos periodos de tiempo para observar los cambios en la duración del periodo de lluvias y periodo húmedo. Se calculó la evapotranspiración con la fórmula de $ETP = 0.8 * EV$. El cual se graficó con la precipitación mensual de los periodos de tiempo analizados (Pájaro y Ortiz, 1992), y determinar las fechas aproximadas y la duración de las estaciones de crecimiento para los dos periodos analizados.

RESULTADOS

En el análisis de las precipitaciones a nivel estatal. En el Cuadro 1 se encuentran las áreas de los rangos de las precipitaciones con base en los datos de las diferentes estaciones del estado. Se observa que en los rangos van de los 200 a 1400 mm para el periodo de 1962-1999 y de 300 a 1200 mm en el periodo de 2000-2021. En las zonas de 200 a 700 mm anuales se observa una disminución del área en el periodo de tiempo analizado, y en las zonas donde se tienen precipitaciones de 800 a 1400 mm, el área se incrementó. Cabe señalar que en las zonas de baja precipitación es la zona agrícola del estado, lo que impacta fuertemente con la producción agrícola. Las zonas con mayor precipitación son aquellas aledañas a las zonas urbanas y con mayor altitud.

Cuadro 1. Áreas en km² calculadas con las isoyetas calculadas en dos periodos de tiempo, en el estado de Tlaxcala.

Rango de precipitación	1962-1999	2000-2021
200	1.2	0.0
300	11.0	8.6
400	16.5	13.2
500	73.5	20.4
600	457.0	108.9
700	2160.9	908.8
800	896.4	2257.5
900	243.2	528.3
1000	60.1	111.8
1100	26.6	28.0
1200	11.0	11.2
1300	6.3	0.0
1400	3.0	0.0
total	3966.7	3996.6

En el Cuadro 2 están los datos de la estación meteorológica de Cuapixtla, Tlaxcala del periodo de 1962-2021 se analizaron en promedio datos de 48 años, los cuales fueron los que tenían información más completa. El clima de la zona se clasifica como un C(w1)Cb(i')g, el cual se describe como un clima templado subhúmedo con régimen de lluvias en verano, con verano fresco largo, con poca oscilación de temperatura y una marcha anual tipo ganges.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Cuadro 2. Datos de variables climáticas de la estación de Cuapiaxtla, Tlaxcala.

Cuapiaxtla, Tlaxcala		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Variable														
Temperatura máxima	mínima	17.0	18.4	20.9	21.7	20.7	19.3	17.9	19.1	18.2	17.5	16.9	16.3	18.7
	máxima	29.7	25.8	27.5	28.8	30.0	27.9	25.0	24.7	25.5	23.8	23.4	23.9	26.3
	media	20.5	21.9	24.2	25.4	24.7	22.9	22.0	22.2	21.6	21.4	21.1	20.4	22.4
	DS	1.9	1.7	1.5	1.6	1.8	2.0	1.6	1.5	1.6	1.4	1.5	1.7	1.7
	n	48.0	48.0	48.0	47.0	48.0	49.0	50.0	50.0	50.0	51.0	51.0	49.0	49.1
Temperatura mínima	mínima	-1.5	0.2	0.4	3.7	4.6	5.1	4.3	3.8	1.4	-2.3	0.3	-2.5	1.5
	máxima	14.3	6.0	7.3	8.6	9.9	10.5	9.4	9.7	10.6	9.5	8.1	5.3	9.1
	media	1.7	2.6	4.2	6.2	7.4	8.0	7.3	7.2	7.5	5.8	3.3	1.8	5.3
	DS	2.3	1.4	1.6	1.2	1.3	1.2	1.2	1.3	1.5	2.0	1.8	1.8	1.5
	n	48.0	48.0	48.0	47.0	48.0	49.0	50.0	50.0	50.0	51.0	51.0	49.0	49.1
Temperatura media	mínima	8.8	9.5	11.0	12.7	13.4	13.0	12.2	11.6	11.0	9.7	8.6	8.1	10.8
	máxima	22.0	15.0	16.8	18.0	18.3	17.5	17.2	17.1	16.9	15.9	15.6	14.2	17.0
	media	11.1	12.2	14.2	15.8	16.1	15.4	14.6	14.7	14.5	13.6	12.2	11.1	13.8
	DS	1.9	1.3	1.3	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1	1.2	1.4	1.4	1.6	1.3
	n	48.0	48.0	48.0	47.0	48.0	49.0	50.0	50.0	50.0	51.0	51.0	49.0	49.1
Precipitación	mínima	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	19.0	28.2	10.4	6.0	0.0	0.0	74.6
	máxima	67.2	46.0	88.6	129.0	176.7	272.9	196.6	211.2	233.5	182.7	74.2	34.5	1713.1
	media	11.5	8.3	15.8	45.2	77.0	114.8	92.5	95.8	99.5	44.2	13.5	6.0	624.2
	DS	15.8	12.3	19.4	28.9	42.0	56.2	39.5	43.5	52.9	34.9	18.5	8.8	31.1
	n	48.0	48.0	48.0	47.0	48.0	48.0	49.0	48.0	48.0	49.0	49.0	49.0	48.3
Evaporación	mínima	75.8	76.2	102.9	94.4	97.4	93.0	94.7	96.1	87.1	93.7	78.7	68.2	1058.0
	máxima	144.3	182.4	220.6	249.9	219.6	194.6	171.5	188.7	159.7	151.9	134.4	130.3	2147.8
	media	115.0	118.9	155.9	160.8	157.5	141.0	135.5	132.5	120.5	121.2	107.2	107.0	1573.0
	DS	15.5	21.1	33.9	36.1	29.1	25.3	22.3	19.7	16.8	14.3	12.1	12.8	258.9
	n	46.0	46.0	43.0	45.0	45.0	45.0	46.0	46.0	46.0	47.0	47.0	47.0	47.0

La temperatura media anual en la zona de Cuapiaxtla Tlaxcala es de 13.8°C, con temperaturas máximas de hasta 22°C y mínimas de 5°C, sin embargo, en condiciones extremas se pueden alcanzar temperaturas de 30°C en el mes de mayo y temperaturas por debajo de los 0°C en los meses invernales (octubre-enero), de acuerdo a cifras de la estación Cuapiaxtla de la comisión nacional del agua. La precipitación anual es de 642 mm, siendo el mes de junio el mes más lluvioso con 114.8 mm y diciembre el más seco con 6 mm. La evapotranspiración anual alcanza los 1573 mm.

En el análisis de la estación de crecimiento de la zona de Cuapiaxtla, Tlaxcala, se puede observar que en el periodo de 1962-1999, la estación de crecimiento duró aproximadamente 153 días y no se presenta un periodo húmedo. En el periodo de 2000-2021, con los datos meteorológicos se pudo observar que en los últimos años si se presenta el periodo húmedo, en la cual la precipitación es mayor a la evapotranspiración. La estación de crecimiento duró 169 días con 2 periodos húmedos, el primero del 2 de junio al 6 de julio y el segundo del 24 de agosto al 25 de septiembre aproximadamente con un total de 64 días.

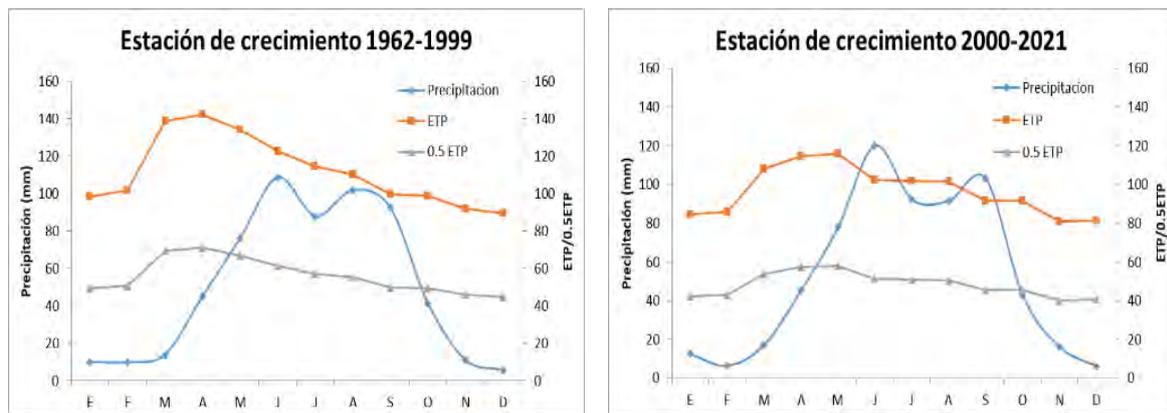


Figura 1.- Estación de crecimiento de dos periodos en la zona de Cuapiaxtla, Tlaxcala.

CONCLUSIONES

Se concluye que las precipitaciones están disminuyendo en las zonas agrícolas del estado de Tlaxcala, y las precipitaciones en sitios con mayor altitud y zonas urbanas se están incrementando.

La estación de crecimiento en la zona de Cuapiaxtla, Tlaxcala, a pesar de que se define un periodo húmedo, las precipitaciones se están concentrando en periodos muy cortos de tiempo, lo que puede ocasionar un problema para la producción agrícola y la erosión de suelos por escurrimientos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alejandro Monterroso Rivas, Cecilia Conde Álvarez, Carlos Gay García, Jesús Gómez Díaz y José López García. 2012. Indicadores de vulnerabilidad y cambio climático en la agricultura de México. VIII Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología. coord. por Concepción Rodríguez Puebla, Antonio Ceballos Barbancho, Nube González Reviriego, Enrique Morán Tejeda, María Ascensión Hernández Encinas, 2012, ISBN 978-84-695-4331-3, págs. 881-890.
- Enriqueta García. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 3 edición. 252p.
- David Pájaro Huertas y Carlos Ortiz. 1992. Estimación del periodo de crecimiento por disponibilidad de agua y libre de heladas para la república mexicana. Revista de geografía agrícola 119-125p.
- López Pérez Adolfo, Bolaños González Martín A y Salvador Castillo José M. 2022. Análisis espacial del territorio con Qgis. Editorial del Colegio de Postgraduados. 302 pág. ISBN: 978-607-715-453-2.
- SADER y SIAP. 2021. *Panorama Agroalimentario 2021*. Secretaría de Desarrollo Rural (SADER) y Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).



Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente

Revista de Divulgación de la
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.



- Recepción de contribuciones de forma continua
- No hay cargo por publicación
- Acceso libre a todas las contribuciones
- Revista arbitrada, con comité editorial
- ISSN 2992-8125

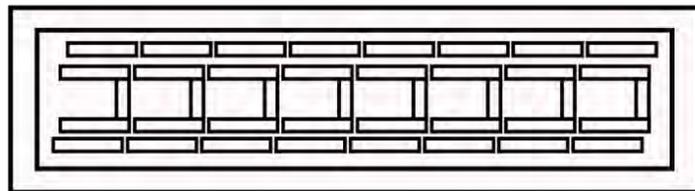
TERRA

Latinoamericana

Revista de Difusión Científica de la
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.



- Recepción de contribuciones de forma continua
- Revista con factor de impacto en el JCR
- Socios de la SMCS, A.C. tienen descuento en el cargo por publicación
- Acceso libre a todas las contribuciones
- Revista arbitrada, con comité editorial
- 41 años de edición
- ISSN 2395-8030



**Suelos Sanos y Resilientes para el
Desarrollo Sostenible**

ISBN
978-607-26878-0-6