

Hacia un conocimiento global y multidisciplinario del recurso suelo

División IV: El papel de los suelos en la sostenibilidad del medio ambiente y la sociedad

Coordinadores: Dra. Ángeles Gallegos, M. en C. Juan David Mahecha y Dra. Silvia Ramos





Ciudad Universitaria UNAM, octubre del 2023

Hacia un conocimiento global y multidisciplinario del recurso suelo: el papel de los suelos en la sostenibilidad del medio ambiente y la sociedad

Sociedad mexicana de la ciencia del suelo

Presidente Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval

Vicepresidente Dr. Fabián Fernández Luqueño

Secretario técnico Dr. Miguel Ángel Valera Pérez

Secretario general Dr. Alfredo Madariaga Navarrete

Secretario de eventos nacionales e internacionales Dr. José Víctor Tamaríz Flores

Tesorero Mtro. David Hernández Sánchez

Secretaría de educación y enseñanza Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega

Secretaría de relaciones públicas Dr. Gilberto Vela Correa

Secretaría de acción juvenil Mtra. Martha Daniela Bobadilla Ballesteros

Comité editorial del libro de resúmenes

Editores

Dr. Fernando Ayala Niño Dr. Francisco Bautista

Coordinadores de los fascículos del libro

División I: suelos en espacio y tiempo. Dr. Joel Zavala Cruz y Dr. Antonio López Castañeda

División II: propiedades del suelo y procesos.
Dr. Francisco Bautista y Dra. Anahí Aguilera

División III: el uso y manejo del suelo. Dr. David J. Palma López y Dr. Rufo Sánchez Hernández

División IV: el papel de los suelos en la sostenibilidad del medio ambiente y la sociedad.

Dra. Ángeles Gallegos, M en C. Juan David Mahecha y Dra. Silvia Ramos

Cita sugerida:

Gallegos, A., Mahecha, J.D., Ramos, S. (Compiladores). 2023. El papel de los suelos en la sostenibilidad del medio ambiente y la sociedad. Vol 4. En: Hacia un conocimiento global y multidisciplinario del recurso suelo. Bautista F. y Ayala F. (Eds). Sociedad mexicana de la ciencia del suelo. Texcoco, Estado de México. 252 pp.

Por este medio declaramos que los capítulos de libro fueron arbitrados a doble, triple y cuádruple ciego con la finalidad de contar con un libro de calidad. En total se contó con 30 arbitrajes de 16 capítulos.

ISBN OBRA COMPLETA: 978-607-95106-5-7 ISBN DEL VOLUMEN 4: 978-607-95106-9-5

DR @ 2023. Sociedad Mexicana de la ciencia del suelo.

Derechos reservados conforme a la ley. Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida por cualquier medio, sin el consentimiento por escrito de la Sociedad mexicana de la ciencia del suelo o de los titulares correspondientes.

Las opiniones, datos y citas presentados en esta obra son responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja, necesariamente, los puntos de vista de la institución que edita esta publicación.

Prohibida su reproducción parcial o total, por cualquier medio, mecánico, electrónico, de fotocopias, térmico u otros, sin permiso de los editores.

Hecho en México

Prólogo

El suelo, irrefutablemente, es un elemento vital para asegurar la permanencia y sobrevivencia de los seres humanos. Desde el punto de vista estructural, el suelo es un componente fundamental del paisaje; y desde el punto de vista funcional es el elemento que articula las relaciones entre los elementos vivos u orgánicos con los mínimos de elementos minerales de los ecosistemas. El suelo tiene funciones irremplazables y bien identificadas. La primera, es el principal elemento de soporte y anclaje para la sobrevivencia de la biodiversidad, en especial de las plantas. También contiene la función inherente de servir como un filtro y amortiguamiento para poder transformar toda una serie de diversos elementos orgánicos en elementos minerales. El suelo y su biota conforman un verdadero banco genético de interacciones vivas y minerales constantes. Otra de las funciones fundamentales del suelo es el papel regulador de los ciclos hidrológicos y captura y almacenamiento de carbón.

En general, los suelos tienen una relación con cuatro componentes del paisaje. El material parental o la roca de la cual derivan; el acomodo que se da en el contexto de las formas del relieve; y las interacciones con la biótica en la que se circunscribe; y el vínculo socio-cultural. Por esto el suelo se alude como la interfaz que sin su papel el ambiente no se entiende ni opera sustentablemente. El estudio del suelo incluye el soporte mecánico de elementos de su estructura, las características de los agregados que lo constituyen, rasgos de penetrabilidad, profundidad, nutrientes, material mineral que lo compone, así como la combinación de la textura, ya sea de limos, arcillas o de arenas. El pedón es la unidad mínima para estudiar y describir un suelo donde se observan, miden y estudia la cantidad de materia orgánica, humus que contiene y tipo de pH ya sea ácido, neutro o básico que caracteriza a cada horizonte. Todo esto en conjunto define las funciones y capacidades de almacenamiento de agua y aire y fertilidad. Por todo esto, la edafología como la ciencia avocada al estudio del suelo, es a menudo insuficiente para entender todas las interacciones.

Los procesos formadores de suelo tales como la calcificación, la mineralización, la salinización, entre otros, dan como resultado un mosaico muy complejo de tipos de suelo. Por lo tanto, la geografía de los suelos es un tema de crucial importancia y base para la definición de políticas ambientales.

El suelo no es ajeno a los disturbios que pueden darse, ya sean de origen natural o antropogénicos. La deforestación es uno de los temas más inmediatos en los que uno puede pensar que tiene un impacto directo sobre el suelo. Ésta, es generalmente acompañada de aspectos agropecuarios que afectan tanto la función como la estructura pues se introduce un componente de pisoteo y uso exacerbado. El cambio de uso de suelo de rural a urbano es mucho más impactante dado que conlleva al sellamiento lo que inhibe las funciones. Asociado al cambio de suelo, los contaminantes tienen un segundo impacto en ocasiones irreversible. En este contexto, el estudio del suelo debe estar al centro de los estudios de estructura, función y salud ambiental.

Una de las líneas más interesantes desde mi punto de vista es el estudio del suelo desde la perspectiva sociocultural, o lo que se alude como edafología antropológica. El suelo tiene significados místicos, ideológicos, religiosos y por supuesto hasta productivos, por lo que su relación suelo-hombre es longeva como la existencia del Homo sapiens.

En el contexto de México, se sabe que existe más de 25 tipos de suelos que son muy distintos entre las diversas regiones, tanto por su diversidad geológica, climática y biogeográfica. México, no obstante, alberga solo un 10% de su superficie con suelos de vocación agrícola y el resto es preferentemente de vocación forestal. Adicionalmente, casi el 45% de los suelos nacionales presenta algún tipo de disturbio. Por lo anterior, la sustentabilidad no puede abordarse de manera congruente sin un buen levantamiento de suelos.

El estudio de los suelos, como se presenta en este libro, resulta relevante. El poder presentar los resultados de este trabajo que aquí se ilustra para dar a conocer la importancia que tiene el suelo, que en mi naturaleza de biólogo no puede ser distinta, o menos importante que lo que es el valor de la biodiversidad como elementos fundamentales para asegurar la sobrevivencia en el largo plazo de la vida en el planeta, incluyendo la de los humanos.

Sin suelo no hay maíz y sin maíz no hay país....

Dr. Alejandro Velázquez

Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental

Universidad Nacional Autónoma de México

Prefacio

La actual necesidad de las sociedades humanas para alcanzar el desarrollo sustentable presenta al recurso suelo como un elemento fundamental para el logro de este objetivo, debido a sus funciones ambientales y servicios ecosistémicos indispensables para la humanidad. Sin embrago, se ha hecho un usufructo considerable de este recurso con la ampliación de las fronteras agrícolas, los procesos minero-energéticos y el aporte de contaminantes, que no tienen en consideración su vocación, fragilidad, capacidad y propiedades; lo que ha generado procesos de deterioro y cuestionan si este recurso natural tendrá la posibilidad de sostener a la creciente población humana. Es por esto que se requiriere la generación de investigación e innovación que contribuyan a una gestión sostenible de los suelos del mundo.

El estudio de las ciencias del suelo atraviesa por un momento crucial, que requiere de un conocimiento global y multidisciplinario, evidente en los aportes que hacen los 52 trabajos científicos de este volumen, en los cuales los edafólogos mexicanos responden a las problemáticas generadas por la creciente demanda de bienes y servicios, la inadecuada planificación territorial, el desconocimiento y subvaloración de las funciones del suelo, la desarticulación institucional y la deficiencia en los marcos normativos.

El conjunto de temas que abordan los autores de este libro se centra en: a) el análisis de la contaminación por metales pesados y el riesgo que representan para la salud humana; b) la apropiación social del conocimiento del recurso suelo; c) la aplicación de nuevas tecnologías para la agricultura de precisión; d) las funciones que desempeñan los microorganismos del suelo, especialmente para los agroecosistemas; y d) la importancia de la gobernanza para la gestión y uso sustentable del recurso suelo. Temas que de manera individual o conjunta aportan conocimiento a las actuales necesidades de la sociedad.

Cabe destacar del conjunto de temáticas presentadas en la División IV, las nuevas investigaciones enmarcadas en la multidimensionalidad de la seguridad edáfica; la aplicación de las nuevas tecnologías para la difusión de información edafológica que sirvan para lograr la conectividad con los tomadores de decisiones; las investigaciones útiles para la codificación de nuevas normas y políticas públicas que se orienten hacia el manejo sustentable de los suelo; y las investigaciones sobre las prácticas de conservación y restauración que consideren su capacidad, condición y valor económico.

Un uso sustentable del recurso suelo asegurará la salud y bienestar de las futuras generaciones.

Dra. Ángeles Gallegos Tavera Universidad Nacional Autónoma de México

> M en C. Juan David Maecha Universidad de los Llanos, Colombia

Dra. Silvia Ramos Hernández Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

Contenido

EVALUACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL LEPTOSOL CONTAMINADO CON HIDROCARBURO DURANTE LA ELECTRO-FITOREMEDIACIÓN PARA LA DECRADACIÓN DEL CONTAMINANTE
DEGRADACIÓN DEL CONTAMINANTE
CHIHUAHUA, MÉXICO18 ALMACENES DE CARBONO Y ESTABILIDAD DE LA MATERIA ORGÁNICA DE TECNOSOLES DE AZOTEAS VERDES23
ALTÉPETL BIENESTAR, ¿DESACELERADOR DE LA EXPANSIÓN URBANA?28
CARACTERIZACIÓN DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD DISPONIBLE DEL CAUCHO COMO SUSTRATO PARA LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS34
COMPILACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE EROSIÓN EN MÉXICO PUBLICADOS EN ARTÍCULOS CIENTÍFICOS EN IDIOMA ESPAÑOL39
COMPORTAMIENTO FISICOQUÍMICO DE SUELO CON COMPOSTA EN PRESENCIA DE IONES CONTAMINANTES DE As(V) Y Cd (II)44
COMPOSTA DE LODO RESIDUAL Y MATERIAL VEGETAL: DESPERDICIO A BENEFICIO DEL SUELO49
CONFIGURACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO DE <i>Prosopis laevigata</i> (mezquite) EN UN MOSAICO DE matorral xerófilo del Valle del Mezquital, Hidalgo54
DIAGNÓSTICO DOMICILIARIO DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN EL SUELO Y POLVO URBANO EN VALLADOLID, YUCATÁN, MÉXICO 59
DIVULGANDO ANDO, SOBRE EL SUELO A LOS PEQUEÑOS ENSEÑANDO65
EFECTO BIOESTIMULANTE DE METABOLITOS BACTERIANOS EN SEMILLAS DE Hibiscus sabdariffa Y Prosopis juliflora70
EFECTO DE DIFERENTES COMPOSTAS SOBRE EL NÚMERO DE BROTES Y ALTURA DE LA PLANTA DE DIFERENTES CULTIVOS75
EFECTO DEL PERRITO LLANERO MEXICANO (Cynomys mexicanus) EN LA CALIDAD DEL SUELO: UN CASO DE ESTUDIO EN COAHUILA81
EL FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES PARA EL DESARROLLO RURAL SUSTENTABLE86
EL USO DE BIOFERTILIZANTE EN LOS SISTEMAS AGROECOLÓGICOS DEL SUELO DE CONSERVACIÓN90

ELABORACIÓN DE SUELOS ARTIFICIALES A PARTIR DE RESIDUOS URBANOS: UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA REVEGETAR CIUDADES94
LA DIVULGACIÓN COMO PUENTE ENTRE LA COMUNICACIÓN DEL RIESGO Y LA PROTECCIÓN DEL SUELO99
ELABORACIÓN DE TECNOSUELOS A PARTIR DE RESIDUOS MINEROS PARA LA RECUPERACIÓN DEL PAISAJE103
EVALUACIÓN DE LA INTERACCIÓN ENTRE MICORRIZACIÓN Y NODULACIÓN EN EL CRECIMIENTO VEGETAL DE FRIJOL109
EXTRACTOS DE AXIHUITL CULTIVADO EN SUELOS DE BOSQUE DE PINO INHIBEN EL CRECIMIENTO DE Helicobacter pylori
FACTORES TOPO-EDÁFICOS Y LA COMUNIDAD ARBÓREA MOLDEAN LOS ATRIBUTOS COMUNITARIOS DE LAS LIANAS EN UN BOSQUE HÚMEDO NEOTROPICAL
FERTILIZACIÓN FOLIAR Y CONTROL BIOLÓGICO CON DRONES125
HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES: PROMOTORES DEL CRECIMIENTO EN ESPECIES VEGETALES DE INTERÉS AGRÍCOLA BAJO CONDICIONES ALTAMENTE SALINAS
INFLUENCIA DEL MANEJO AGROFORESTAL SOBRE LA COMUNIDAD DE LA FAUNA DEL SUELO EN CULTIVOS DE PITAHAYA
LA CONSERVACIÓN DEL AGROECOSISTEMA CHINAMPERO COMO UN SISTEMA SOCIOAMBIENTAL COMPLEJO140
LAS COLECCIONES DE SUELOS Y SU IMPORTANCIA EN LA DIFUSIÓN DE LA CIENCIA DEL SUELO EN MÉXICO145
LAS PROPIEDADES DEL SUELO EN ZONAS CON RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DENTRO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA149
LOS NANOTUBOS DE CARBONO DE PARED MÚLTIPLE INCREMENTAN LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA EN SUELO DE CULTIVO CON TOMATE SALADETTE
MANEJO INTEGRAL DE HUMEDALES EN EL SUELO DE CONSERVACIÓN DE LA CIUDAD DE MÉXICO: TLÁHUAC159
MANEJO INTEGRAL DE TIERRAS, INTERVENCIÓN UNIVERSITARIA Y PARTICIPACIÓN SOCIAL, EN EL ALTO MEZQUITAL, HIDALGO162
INTRODUCCIÓN162
MODELO DE EVALUACIÓN DE CALIDAD AMBIENTAL DE RIBERAS EN EL PARQUE NACIONAL IZTA-POPO167
MODELOS MENTALES DE LAS APROXIMACIONES BIOECONÓMICAS AL ESTUDIO DEL SUELO. CASO SAN NICOLÁS TOTOLAPAN172

MONITOREO COMUNITARIO DE LA BIODIVERSIDAD EN LAS ARCAC179
MONITOREO DEL SUELO DE CIUDAD UNIVERSITARIA EN SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N.L
NORMATIVIDAD VIGENTE APLICABLE A LA CONSERVACIÓN DE LAS DUNAS EN BAJA CALIFORNIA SUR, NOROESTE DE MÉXICO189
PERCEPCIÓN REMOTA APLICADA A LA DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE ÁREAS DE EXTRACCIÓN MINERA EN LA SIERRA GORDA DE QUERÉTARO195
SUELOS EN EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO Y SU RELACIÓN CON LA ECOLOGÍA DE PALMAS EN EL PAISAJE201
PROYECTO DE OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO Y AGUA EN PARRES, TLALPAN, CIUDAD DE MÉXICO206
RED UNIVERSITARIA DE LABORATORIOS DE SUELOS DEL PROGRAMA UNIVERSITARIO DE ESTUDIOS INTERDISCIPLINARIOS DEL SUELO (RULabS-PUEIS)
REDUCCIÓN DEL ESTRÉS SALINO POR ACCIÓN DE BACTERIAS HALOTOLERANTES PROMOTORAS DE CRECIMIENTO VEGETAL EN Solanum lycopersicum
RENDIMIENTO Y COSTOS DE PRODUCCIÓN DE AVENA FORRAJERA EN EL ALTO MEZQUITAL, HIDALGO222
SUELOS AGRÍCOLAS DEL RÍO SONORA: UN CASO DE CONTAMINACIÓN CON METALES Y MICROPLÁSTICOS227
SUELOS EN ESPACIOS VERDES URBANOS, VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES233
TRASLOCACIÓN DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS (EPT'S) A ESPECIES VEGETALES EN UNA ZONA MINERA237
VARIABILIDAD ESTACIONAL DE FLUJOS DE DIÓXIDO DE CARBONO, VAPOR DE AGUA Y ENERGÍA EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA242
VALORACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA REPRODUCCIÓN DE PLANTAS EN VIVERO, LA COLABORACIÓN UNAM - CORENARD247

EVALUACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL LEPTOSOL CONTAMINADO CON HIDROCARBURO DURANTE LA ELECTRO-FITOREMEDIACIÓN PARA LA DEGRADACIÓN DEL CONTAMINANTE

<u>Rubén Fernando Valencia Rodríguez</u>^{1*}; Erika Bustos Bustos¹; Zsuzsanna Plank³; Paola Betzai Rodríguez Mendoza²; José Alberto García Melo²; Eduardo Hernández Sánchez²; Jesús Cárdenas Mijangos¹

¹Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, México. Parque Tecnológico Querétaro, s/n, Sanfandila, C.P. 76703, Pedro Escobedo, Querétaro, México; ²Universidad Tecnológica de Tula Tepeji, México. Av. Universidad Tecnológica No. 1000, C.P. 42830, El Carmen, Tula de Allende, Hidalgo, México; ³Department of Environmental Security, John Wesley Theological College, Budapest, Hungary. 11 Danko utca, #1086 Budapest, Hungría. *rvalencia@cideteq.mx

RESUMEN

En México el negocio de robo de combustible provoca el vertimiento de los hidrocarburos (HC) en el suelo mediante la alteración de los tubos por donde se transporta, esto afecta negativamente la calidad de los suelos a su alrededor, por lo que es necesario poder detectar los espacios geográficos afectados. Para la detección de plumas por contaminantes orgánicos estudios geo-eléctricos como el de resistividad eléctrica, proponen ser una técnica que a pesar de que es indirecta, es práctica y económica, en comparación con estudios químicos de laboratorio, que, aunque son directos, lleva tiempo y dinero su determinación. Es así como, el presente trabajo evalúa la eficiencia de la técnica de resistividad eléctrica (RE) empleando un resistivímetro, en un seguimiento de remediación de suelo contaminado por HC al comparar los resultados obtenidos con los observados en la técnica química de extracción Soxhlet, utilizando la electro-fitoremediación como técnica ambiental para el tratamiento de suelo Leptosol en Tetepango, Hidalgo. Por lo que, a través de este proyecto de investigación, las pruebas de RE y extracción Soxhlet demostraron una correlación positiva y un alto coeficiente de determinación entre el aumento de la resistividad eléctrica y los g de HC presentes en el suelo, esto antes y después del tratamiento de electro-fitoremediación.

PALABRAS CLAVE: Correlación; Extracción Soxhlet; Método geo-eléctrico; Remediación.

INTRODUCCIÓN

En México, el negocio de robo de combustible provoca el vertimiento de los HC en el suelo mediante la alteración de las tuberías petroleras, contaminando la zona a su alrededor. El resultado de este tipo de acontecimientos provoca alteraciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas de suelo, afectando la biosfera a su alrededor (Méndez *et al.*, 2012). Ante estos sucesos, es de suma importancia determinar los espacios geográficos afectados y proponer una técnica de remediación ambiental adecuada que pueda ser aplicada a la brevedad. Los métodos geo-eléctricos se emplean como una extensión de la geofísica ambiental, ayudando eficientemente en la delimitación de zonas contaminadas, tanto en área como en profundidad, siendo el valor de RE el principal indicador de la presencia de contaminantes orgánicos en el suelo, como los HC (Shevnin

et al., 2005). La RE al poder realizarse en campo y obteniendo datos al instante (sin necesidad de procesarse una muestra en un laboratorio), se considera una técnica práctica, no destructiva y de bajo costo en comparación con otras técnicas como la prueba química de extracción Soxhlet. La principal ventaja de la RE es la rapidez para mapear una zona contaminada, y conocer al momento la presencia de HC en función de la medida obtenida. Uno de los trabajos realizados de caracterización con métodos geo-eléctricos en México, fue el efectuado por Shevnin et al., en el año 2005 en un sitio contaminado por HC en un pozo petrolero del municipio de Comalcalco, Tabasco. Se obtuvieron secciones y mapas de RE, correspondientes a plumas de contaminación por HC maduros, los cuales se observaron en los gráficos como anomalías de baja RE.

Para el proceso de remoción del contaminante, actualmente existen diversas tecnologías ambientales de restauración para suelos con presencia de HC, dentro de ellas destacan dos emergentes; la electro-remediación (ER) y la fito-remediación (FR). La ER involucra la utilización de campos eléctricos de baja intensidad para remover contaminantes (Méndez et al., 2012). La fitoremediación, por su parte, hace uso de plantas específicas, para fijar, absorber, limpiar o reducir la toxicidad de contaminantes (Acosta et al., 2019). La combinación de ambas tecnologías ha generado una alternativa híbrida denominada electro-fitoremediación (EFR), donde al aplicar un campo eléctrico, los contaminantes pueden ser transportados por electro-migración, electroósmosis o electroforesis entre los poros del suelo, hacia la interfase de superficies conductoras de electricidad, como los ánodos o cátodos. De esta manera, las partículas de suelo son liberadas de los contaminantes, los cuales quedan entre los poros formados por las partículas de suelo, y pueden ser adsorbidos, absorbidos o intercambiados por iones presentes en semillas que germinen, y/o plantas que se desarrollen y estén disponibles en el mismo lugar. Por lo anterior, el interés del presente proyecto es el comparar la eficacia de la determinación de HC en un suelo de tipo Leptosol limpio, suelo contaminado con HC, y suelo después de la EFR ubicado en Tetepango, Hidalgo, determinando la RE en el lugar, y comparando los resultados de la determinación de HC con extracción Soxhlet, añadiendo análisis estadísticos que evalúen la relación entre ambas variables.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El estudio se realizó en el municipio de Tetepango, Hidalgo, en la comunidad de Juandho, con posición geográfica de 20°40'55" N y 99°04'59" O. En la zona se encuentra un tipo de suelo *Leptosol* y la principal actividad económica es la agricultura, siendo sus principales cultivos el maíz (50%), la alfalfa (30%) y el 20% restante corresponde a avena, cebada, nabo, frijol, calabacita.

Estudio geo-eléctrico

Para la obtención de datos de RE se utilizó el equipo "Digital Ground Resistance Tester modelo 4500 de AEMC INSTRUMENTS" el cual fue conectado a una fuente de poder. Su aplicación se realizó a lo largo de las hileras (A, B, C y D) conectando los caimanes a sus

salidas correspondientes del resistivimetro por un extremo y a los electrodos de titanio de 30 cm por el otro lado. Una vez conectado el sistema se aplicaron 0.2 V/cm.

Estudio de extracción Soxhlet

Para el procedimiento y materiales de laboratorio empleados en la realización de la extracción Soxhlet, se siguieron los pasos establecidos en la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-005-SCFI-2000.

Estudio de electro-remediación

El experimento se desarrolló montando el diseño en una celda electroquímica de fibra de vidrio con medidas de 1,78 m de ancho x 2,38 m de largo y 60 cm de altura. La celda contenía siete electrodos de 60 cm de largo por 24 cm de diámetro, un electrodo (cátodo) al centro de titanio puro, rodeado por dos anillos separadores de fibra de vidrio y seis electrodos en forma circular (ánodos) de IrO₂-Ta₂O₅ | Ti. El primer anillo se llenó de suelo, mientras que el espacio entre este y el segundo anillo solo se vertió el electrolito. Los electrodos fueron conectados a una fuente de poder la cual aplicó una densidad de corriente de 2 mAh por cuatro horas y como electrolito se adicionaron 600 L de NaOH a 0.1 M. Durante este tiempo fue importante agregar periódicamente el electrolito por toda la celda para favorecer el proceso de electro-migración, esto, utilizando material de seguridad (botas, bata, lentes y guantes).

Estudio de fito-remediación

Posteriormente, a la ER se sembró *Zea mays* DK-2069 comúnmente conocido como maíz, dando inicio a la etapa de fito-remediación, en el suelo control, celda y en suelo contaminado, con el fin de evaluar la atenuación que las plantas generan en la concentración del hidrocarburo presente a través del tiempo. Se eligió *Zea mays* por ser uno de los cereales con mayor relevancia agrícola en la zona del municipio de Tetepango, Hidalgo; además ha demostrado ser eficiente para procesos de fito-remediación. La plantación se diseñó con un distanciamiento de 65 cm entre 3 hileras y 14 cm entre 20 plantas, en el golpe se sembraron dos semillas para asegurar el crecimiento de al menos una de ellas.

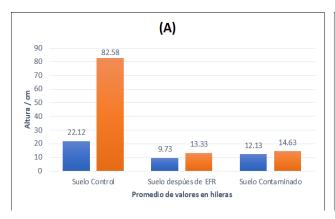
Estudio estadístico

Para poder saber si los datos requerirían pruebas paramétricas o no paramétricas se realizó previamente la prueba de normalidad mediante la campana de Gauss y la prueba estadística de Shapiro-Wilk, los cuales dieron como resultado que los datos de ambos grupos (resistividad eléctrica y extracción Soxhlet) no mantenían una distribución normal. Dada la no normalidad se decidió utilizar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para el análisis de los datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez iniciada la EFR se inició la observación y toma de datos respecto al crecimiento de las plantas, su altura y diámetro del tallo. Por tal motivo, se registró información a los 21 y 49 días de siembra. Los resultados se muestran en la figura 1, se observa que las

plantas sembradas en el suelo control reportaron un crecimiento de hasta siete veces más en altura y cinco veces más en diámetro respecto a la que fueron sembradas en suelo contaminado y suelo electro-fitoremediado, las cuales crecieron con medidas muy parecidas. Por lo tanto, es necesario evaluar la presencia de HC con una técnica rápida y en el lugar como la RE, y validar los resultados con la determinación de HC totales con extracción Soxhlet.



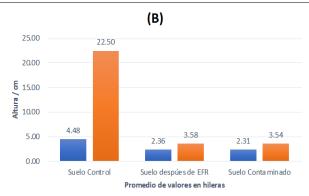


Figura 1. Mediciones promedio de altura (A) y diámetro (B) del tallo de las plantas de *Zea mays* a 21 (barra azul) y 49 días después de la siembra (barra roja) en suelo control, suelo después de la EFR y suelo contaminado.

En la Figura 2(A), se observan los valores registrados de la extracción Soxhlet en suelo tipo Leptosol, la presencia del HC aumentó los valores iniciales del suelo control más de 2.5 veces de su valor original. Una vez aplicada la ER se pudo remover hasta un 27% del HC aplicando corriente directa durante cuatro horas. A 55 días de la aplicación de la EFR la presencia de HC en el suelo contaminado disminuyó hasta un 40% en la Hilera B. Los valores de RE vistos en la Figura 2(B) registraron un aumento máximo de 1.4 veces en la hilera D respecto a los valores originales. Posterior a la ER y EFR la RE tuvo una disminución de entre el 38.7% y 49.5%. El análisis estadístico de cada grupo de datos (RE y extracción Soxhlet) se presenta en la Figura 3, donde se observa la media de los valores obtenidos según el tipo de suelo, su desviación estándar y la diferencia entre los valores de p.

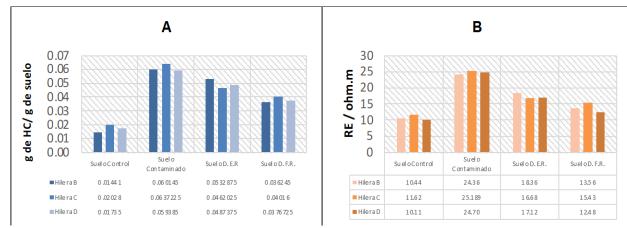
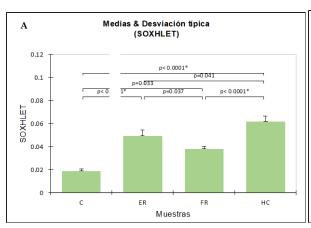


Figura 2. Gráfica de resultados de extracción Soxhlet (A) y resistividad (B) en cada una de las hileras.



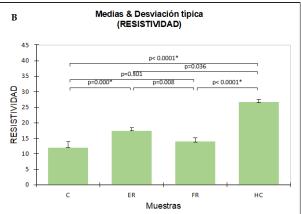


Figura 3. Medias y desviación típica del grupo de datos de extracción Soxhlet (A) y resistividad eléctrica (B) según el tipo de muestra, suelo control (C), suelo después de la ER (ER), suelo después de la EFR (FR) y suelo contaminado (HC).

En la figura 4(A), se presenta una gráfica de doble eje donde se comparan los resultados obtenidos en extracción Soxhlet y RE en las tres hileras de la celda; se observa una tendencia similar de las dos variables en los cuatro tipos de muestras estudiadas. La línea naranja indica el límite máximo permisible de HC en suelo. En la figura 4(B) se expone gráficamente la relación entre la variable dependiente (RE) y la independiente (extracción Soxhlet). La línea de tendencia muestra dos diferentes comportamientos, para el suelo control (CTRL) y el tratado con ER se presenta una tendencia lineal, mientras que en el suelo contaminado (CONT) y el EFR se observa una tendencia exponencial.

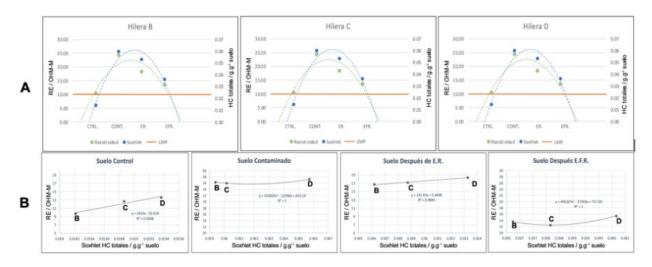


Figura 4. (A) Correlación de resultados de resistividad eléctrica vs. extracción Soxhlet en suelo control (CTR), suelo contaminado (CONT) suelo después de la electro-remediación (Suelo ER), y suelo después de fito-remediación (EFR). (B) Relación entre la variable de RE y extracción Soxhlet en cada una de las muestras e hileras de suelo.

Para corroborar la relación entre los datos de RE y extracción Soxhlet se evaluó el coeficiente de correlación de Pearson y el coeficiente de determinación del valor promedio de cada tipo de muestra de suelo. Los resultados obtenidos presentaron una muy buena correlación entre los datos, superior a 0.90, a excepción del suelo después de EFR. (Cuadro 1).

Cuadro 1. Coeficiente de correlación de Pearson y de determinación entre los datos de RE y extracción Soxhlet.

Muestra	Coeficiente de	Coeficiente de		
widestra	correlación de Pearson	D eterminación		
Suelo CTRL	0.977	0.955		
Suelo CONT	0.934	0.873		
Suelo después de ER	0.995	0.989		
Suelo después de EFR	0.739	0.547		

CONCLUSIONES

La tendencia lineal de los valores de RE en suelo CTR y ER y la tendencia exponencial en suelo CONT y EFR en comparación con los resultados de extracción Soxhlet demuestra una correlación positiva y un alto coeficiente de determinación entre el aumento de la RE y el g de HC/g de suelo, esto debido a la capacidad del HC para aislar las partículas del suelo haciéndolo más resistivo. Aunque la prueba de extracción Soxhlet da un valor aproximado de la cantidad de HC existente, la resistividad eléctrica es un indicador más práctico y rápido para detectar la presencia de HC en el suelo en un estudio de campo.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, G., Solís, S., Hernández-Silva, G., Cárdenas, J., Plank, Z., Bustos, E. (2019). Analysis of the biological recovery of soils contaminated with hydrocarbons using an electrokinetic treatment. J. Hazard. Mater. 371, 625–633. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.03.015

Méndez, E. (2012). Effect in the Physical and Chemical Properties of Gleysol Soil after an Electro-kinetic Treatment in Presence of Surfactant Triton X - 114 to Remove Hydrocarbon. Int. J. Electrochem. Sci., Vol. 6, 1250 – 1268.

Shevnin, V., Delgado-Rodríguez, O., Fernández-Linares, L., Zegarra Martínez, H., Mousatov, A., & Ryjov, A. (2005). Geoelectrical characterization of an oil-contaminated site in Tabasco, Mexico. Geofísica internacional, 44(3), 251-263.

AISLAMIENTO DE ACTINOBACTERIAS DEL SUELO EN TRES ZONAS DE CHIHUAHUA, MÉXICO

<u>Ángela Michelle González-López</u>¹; Zahaed Evangelista-Martínez²; Eristeo García-Márquez³; Pablo Carrillo-Reyes⁴; Gabriel Rincón-Enríquez¹; Evangelina Esmeralda Quiñones-Aguilar^{1*}

¹Laboratorio de Fitopatología, Biotecnología Vegetal, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), Camino Arenero 1227, El Bajío del Arenal, Zapopan, Jalisco, México. C.P. 45019. *equinones@ciatej.mx; ²Unidad Sureste, -CIATEJ, Carretera Sierra Papacal-Chuburná Puerto Km. 5.5, Mérida, Yucatán, México; ³Unidad Noreste, CIATEJ. Autopista Mty-Aeropuerto, Vía de la Innovación 404, Parque PIIT, 66628 Cd Apodaca, N.L; ⁴Universidad de Guadalajara (UdeG), CUCBA, Departamento de Botánica y Zoología, Cam. Ramón Padilla Sánchez 2100, Las Agujas, 44600 Zapopan, Jal.

RESUMEN

Los microorganismos benéficos del suelo, como las actinobacterias, permiten mejorar las propiedades del suelo y promover el crecimiento vegetal. Este trabajo se enfocó en el conteo y aislamiento de actinobacterias del suelo de diferentes zonas en Chihuahua, México, aplicando dos métodos de aislamiento (pretratamiento con quitina y térmico). Se obtuvieron 207 asilados de los sitios Valles, Cueva rarámuri y Zona del silencio. Los medios de aislamiento más efectivos fueron ISP3 y PDA. La zona con mayor población de actinobacterias fue Valles. Así mismo, se observó una mayor población de actinobacterias al utilizar el método con quitina. Se requieren análisis posteriores para evaluar el potencial biotecnológico de las actinobacterias aisladas.

PALABRAS CLAVE: Actinomicetos; Agricultura regenerativa; Diversidad; Ecología microbiana; microbioma.

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda global de alimentos requiere soluciones sustentables en la agricultura (Boubekri et al., 2022). El uso de microorganismos benéficos es una oportunidad para el manejo sustentable de cultivos. Los microorganismos mejoran el suelo a través de la solubilización de minerales, fijación de nitrógeno y degradación de materia orgánica (Boubekri et al., 2022). Los microbiomas benéficos en el suelo promueven el crecimiento de las plantas, mejoran la absorción de nutrientes y controlan plagas y patógenos (Ray et al., 2020). Las actinobacterias son microorganismos adaptados a diversos ambientes. Sin embargo, su principal fuente de aislamiento es el suelo (Hazarika y Thakur, 2020), representan entre el 10 y 50% del microbioma del suelo (Kaari et al., 2023). Estas bacterias son mayormente saprófitas, degradan sustancias orgánicas en el suelo, como polisacáridos, celulosa, almidón, quitina y ácidos orgánicos (Hazarika y Thakur, 2020). Las actinobacterias han sido estudiadas por su capacidad de producir metabolitos antibacteriales, antifúngicos, anticancerígenos, antioxidantes, larvicidas e insecticidas (Kaari et al., 2023), y compuestos como sideróforos, fitohormonas (ácido indol acético y ácido giberélico) y enzimas (quitinasas, celulasas, lipasas, y glucanasas). Las actinobacterias impulsan el crecimiento y controlan patógenos en plantas mediante mecanismos directos e indirectos. Los mecanismos directos son la solubilización de micronutrientes y la producción de sideróforos y hormonas (Kaari et al., 2023), y los

indirectos son la producción de metabolitos inhibidores, o de compuestos que previenen las enfermedades en las plantas como sideróforos, amonio, cianuro de hidrógeno y enzimas glucanasas e hidrolíticas (Kaari *et al.*, 2023). Debido a esto, el aislamiento de actinobacterias es una de las estrategias más utilizadas para el descubrimiento de metabolitos bioactivos (Polpass Arul Jose *et al.*, 2021). El objetivo del presente trabajo fue aislar actinobacterias del suelo provenientes de diferentes zonas del estado de Chihuahua, México, con el futuro propósito de evaluar su potencial como agentes de biocontrol contra hongos y bacterias fitopatógenas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las actinobacterias se obtuvieron de tres muestras de suelo del estado de Chihuahua, México. Los sitios de aislamiento fueron tres: una cueva de la comunidad rarámuri (CR; 27°44′09.9"N; 107°37′46.2"W), el sitio "Zona del Silencio" (ZS; 26°41′18.4"N 103°44′49.3"W) y el sitio "Valle de hongos y de las ranas" (V; 27°30'32.6"N 107°51'07.4"W). Se utilizaron dos métodos de aislamiento, el primero fue la aplicación quitina en el suelo. Se siguió la metodología reportada por Iwasaki et al. (2020). El suelo se mezcló con quitina de grado práctico (Sigma-Aldrich®) a una concentración de 60 g kg⁻¹ de suelo, se mantuvo una temperatura de 25°C y una humedad del 60% durante 5 días. Esta metodología solo se aplicó a los suelos de ZS y V debido a que la cantidad de suelo de CR fue insuficiente. La segunda metodología, descrita en Trinidad et al. (2021), consistió en irradiar la muestra con calor mediante microondas. En ambos métodos, se realizaron diluciones seriadas decimales desde la dilución 10⁻¹ hasta la 10⁻⁵. En el pretratamiento con quitina se esparcieron 0.1 mL de las diluciones en medio de cultivo agar avena (ISP3) descrito por Shirling v Gottlieb, (1996) adicionado con antibióticos ácido nalidíxico (12.5 mg L⁻¹) v cicloheximida (50 mg L-1) (Intra et al., 2011). En el tratamiento térmico por microondas se esparcieron 0.1 mL de las diluciones en cuatro medios de cultivo [ISP3, agar papa y dextrosa pH 8.5 (PDA), actinomycete isolation agar de Sigma-Aldrich® (AIA) y un medio enriquecido con quitina descrito por Wohl y McArthur (2006)]. Las placas se incubaron a 28°C entre 7 y 14 días. Las colonias emergentes de tipo actinobacteria se contaron, se obtuvieron cultivos puros y se preservaron en glicerol al 25% (v/v) a -80 °C. Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) bifactorial, seguido una prueba de comparaciones múltiples de media (Tukey, *P*≤0.05). También se realizó una comparación de medias T-sudent ($P \le 0.05$); ambos análisis se realizaron con el programa estadístico Statgraphics.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron un total de 207 actinobacterias diferentes, de los cuales 63 fueron de CR, 69 de V y 74 de ZS. Se aislaron 180 actinobacterias con el método térmico por microondas y 26 con el método quitina. Se encontró una gran diversidad de morfologías (Figura 1).

En el pretratamiento térmico se observó una mayor cantidad de colonias de actinobacterias en los medios PDA e ISP3 (4.06x10⁵ y 3.87x10⁵ UFC ·g⁻¹ de suelo, respectivamente; Figura 2a), a comparación de los medios QA y AIA (1.27x10⁵ y 1.51x10⁵ UFC ·g⁻¹, respectivamente). Por lo que los medios más efectivos para aislar actinobacterias

fueron PDA e ISP3. Esto coincide con otros autores; Hayakawa y Nonomura, (1987) encontraron porcentajes bajos (23 - 6%) de colonias aisladas de suelos forestales utilizando el medio AIA. Por otro lado, Sheikh y colaboradores (2019) reportaron que los medios ISP3 e ISP6 fueron los mejores para aislar actinobacterias de agua marina. La efectividad del medio varía según la fuente de aislamiento; por ejemplo, Majithiya y Gohel (2022) encontraron poblaciones similares de actinobacterias marinas entre variantes del medio ISP y AIA. A diferencia de lo mencionado aquí, el medio AIA ha sido reportado como el más efectivo en comparación con otros medios (Palacios-Arriaga *et al.*, 2018).

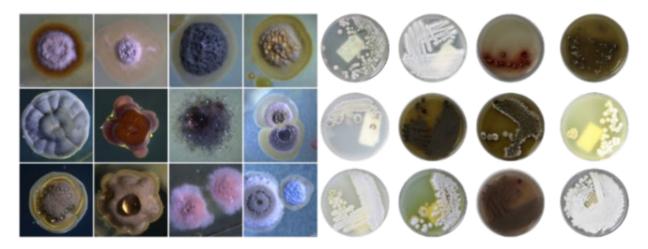


Figura 1. Diversidad morfológica de colonias de actinobacterias aisladas de suelos de diferentes regiones del estado de Chihuahua, México.

El medio de aislamiento es crucial en el crecimiento de las actinobacterias (Majithiya y Gohel, 2022), su composición puede ajustarse para reflejar sus condiciones naturales (Kaewkla v Franco, 2013). Las diferencias en la población bacteriana se deben a los diversos requerimientos nutricionales de los microorganismos por lo que, al analizar una muestra en distintos medios, se observan diferencias significativas (Pérez-Corral et al., 2015). En este estudio se encontró que, en el tratamiento térmico, el medio con más colonias difirió entre los sitios evaluados. En CR y ZS, el medio ISP3 mostró más colonias, mientras que en ZS fue el medio PDA. Respecto a la concentración de actinobacterias de cada sitio, en el aislamiento por tratamiento térmico, en V y ZS se registraron concentraciones de 4.22x10⁵ y 3.22x10⁵ UFC g-1, respectivamente y en la zona CR la concentración reportada fue de 5.86 x 10⁴ UFC g⁻¹ (Figura 2b). Por otro lado, en el tratamiento con quitina, se observó un mayor número de actinobacterias en V en comparación con ZS (3.43x106 UFC ·g-1 y 8.93x105 UFC ·g-1, respectivamente, Figura 2c). Varios estudios muestran que la población de actinobacterias varía según el ecosistema evaluado. Por ejemplo, Sheikh et al. (2019) hallaron diferencias en la población de actinobacterias en sedimentos marinos, a pesar de usar el mismo método de aislamiento. Por lo tanto, es previsible encontrar diferentes poblaciones de actinobacterias según los distintos ecosistemas evaluados. La concentración de actinobacterias fue mayor en el sitio V con el tratamiento de quitina en comparación con el tratamiento térmico por microondas (Figura 2c). Sin embargo, en ZS la concentración de actinobacterias fue similar

entre los dos pretratamientos (Figura 2c). Posiblemente, la mayor concentración de actinobacterias en el sitio V utilizando el método de quitina se deba a una mayor población de especies degradadoras de materia orgánica en esta muestra. Iwasaki *et al.* (2020) aislaron 162 bacterias de suelos tratados con quitina, de las cuales el 45% mostró actividad quinolítica, además de encontrar una mayor diversidad de géneros; no obstante, el género más abundante al inicio del periodo de incubación fue *Streptomyces*. La alta abundancia de *Streptomyces* en los suelos tratados sugiere que son las principales especies degradadoras de quitina en el suelo. Por lo que, En este estudio, las colonias aisladas con pretratamiento de quitina podrían tener actividad quinolítica. Estas enzimas son útiles en agricultura como control para hongos fitopatógenos (Evangelista-Martínez *et al.*, 2017).

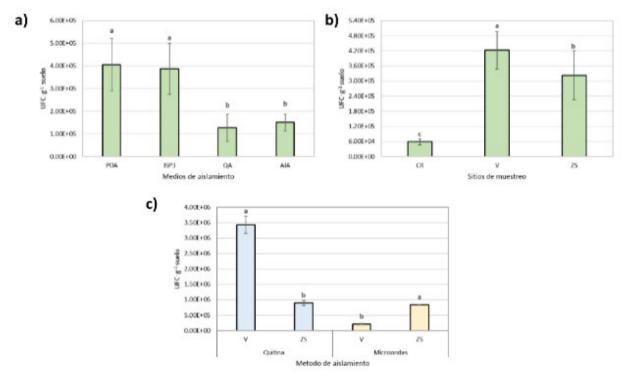


Figura 2. Concentración de actinobacterias (UFC·g⁻¹ suelo) observadas en: a) medios de cultivo, b) sitios de aislamiento (tratamiento térmico) y, c) método de aislamiento (ISP3). Las barras indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (ANOVA, T-student, *P*<0.05).

CONCLUSIONES

El pretratamiento con quitina muestra una mayor población de actinobacterias que el tratamiento térmico por microondas, especialmente en el medio ISP3. El suelo de Valles tiene la mayor población de actinobacterias. Los medios PDA e ISP3 son los más efectivos para el aislamiento, pero su eficacia varía según el sitio de colecta. De 207 actinobacterias aisladas, el 30% fue de CR, 33% de V y 35% de ZS. Se necesitan análisis posteriores para evaluar la capacidad antagónica (contra hongos y bacterias).

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue parcialmente financiado por proyectos del Laboratorio de Fitopatología del CIATEJ.

Ángela Michelle González-López agradece a CONAHCYT por la beca de estudios de doctorado.

BIBLIOGRAFÍA

Boubekri, K., Soumare, A., Mardad, I., Lyamlouli, K., Ouhdouch, Y., Hafidi, M., Kouisni, L. (2022). Multifunctional role of Actinobacteria in agricultural production sustainability: A review. Microbiological Research, 261.

Evangelista Martínez, Z., Quiñones Aguilar, E. E., Rincón Enríquez, G. (2017). Potencial biotecnológico de las actinobacterias aisladas de suelos de México como fuente natural de moléculas bioactivas: compuestos antimicrobianos y enzimas hidrolíticas. Temas de Ciencia y Tecnología, 21(63), 39–51.

Hayakawa, M., y Nonomura, H. (1987). Humic acid-vitamin agar, a new medium for the selective isolation of soil actinomycetes. Journal of Fermentation Technology, 65(5), 501–509.

Intra, B., Mungsuntisuk, I., Nihira, T., Igarashi, Y., Panbangred, W. (2011). Identification of actinomycetes from plant rhizospheric soils with inhibitory activity against *Colletotrichum* spp., the causative agent of anthracnose disease. BMC Research Notes.

Iwasaki, Y., Ichino, T., Saito, A. (2020). Transition of the bacterial community and culturable chitinolytic bacteria in chitin-treated upland soil: from *Streptomyces* to methionine-auxotrophic *Lysobacter* and other genera. Microbes and Environments.

Kaari, M., Manikkam, R., Annamalai, K. K., Joseph, J. (2023). Actinobacteria as a source of biofertilizer/biocontrol agents for bio-organic agriculture. Journal of Applied Microbiology, 134(2).

Kaewkla, O., Franco, C. M. M. (2013). Rational approaches to improving the isolation of endophytic actinobacteria from australian native trees. Microbial Ecology.

Majithiya, V. R., Gohel, S. D. (2022). Isolation and characterization of marine actinobacteria associated with the seaweeds, *Codium dwarkense* and *Sargassum cinereum*, collected from the Veraval coastline, Gujarat, India. Journal of the Marine Biological Association of India, 64(1), 33–37.

Palacios-Arriaga, A. H., Rincón-Enríquez, G., Evangelista-Martínez, Z., Gómez-Leyva, J. F., Quiñones-Aguilar, E. E. (2018). Actinomicetos aislados de rizosfera de nardo (*Polianthes tuberosa*) del estado de Morelos, México. Agroproductividad, 11(11).

Pérez-Corral, D.A., Yasmín García-González, N., Gallegos-Morales, G., Fernanda Ruiz-Cisneros, M., Berlanga-Reyes, D. I., Ríos-Velasco, C. (2015). Aislamiento de actinomicetos asociados a rizosfera de árboles de manzano antagónicos a *Fusarium equiseti**. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 6(7), 1629–1638.

Polpass Arul Jose, Maharshi, A., Jha, B. (2021). Actinobacteria in natural products research: progress and prospects. Microbiological Research, 246.

Ray, P., Lakshmanan, V., Labbé, J. L. Craven, K. D. (2020). Microbe to microbiome: a paradigm shift in the application of microorganisms for sustainable agriculture. Frontiers in Microbiology, 11.

Sheikh, M., Rathore, S., Gohel, S. Singh, S. P. (2019). Cultivation and characteristics of the Marine Actinobacteria from the Sea water of Alang, Bhavnagar. Indian Journal of Geo Marine Sciences, 48(12), 1896–1901.

Shirling, E. B., Gottlieb, D. (1996). Methods for characterization of *Streptomyces* species. International Journal of Systematic Bacteriology, 16(3), 313–340.

Trinidad-Cruz, J. R. (2021). Caracterización de actinobacterias de la rizósfera del aguacate (*Persea americana* MILL.) como potenciales agentes de biocontrol de fitopatógenos. Tesis doctoral. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del estado de Jalisco.

Wohl, D. L., McArthur, J. V. (2006). Actinomycete-flora associated with submersed freshwater macrophytes. FEMS Microbiology Ecology, 26(2), 135–140.

ALMACENES DE CARBONO Y ESTABILIDAD DE LA MATERIA ORGÁNICA DE TECNOSOLES DE AZOTEAS VERDES

<u>Thalita Fernanda Abbruzzini</u>¹; Arva-Lea Kowalke2; Lucy Mora Palomino1; Luisa Elena Tinoco González¹; Blanca Prado¹

¹Instituto de Geología, Departamento de Ciencias Ambientales y del Suelo, Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 04510, Ciudad de México, México; ²Technische Universität Berlin (Universidad Técnica Berlín), Berlín, Alemania.

RESUMEN

La baja fertilidad de los suelos urbanos constituye un desafío importante para la producción de alimentos y servicios ecosistémicos dentro de las ciudades. El objetivo del presente estudio fue evaluar el potencial de Tecnosoles construidos a base de desechos de la construcción civil que funcionen como base para la producción de alimentos y uso eficiente de carbono. Se llevó a cabo un experimento en una azotea verde de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con tres Tecnosoles a base de desechos orgánicos e inorgánicos: T1: 27% residuos de concreto, 35% composta, 15% biocarbón, 8% arcilla expandida, 15% madera triturada; T2: 27% residuos de excavación, 35% composta, 15% biocarbón, 8% arcilla expandida, 15% madera triturada; y Control: 60% arcilla expandida, 40% lombricomposta. Los Tecnosoles fueron cultivados con maíz y frijol, de los cuales se evaluaron sus rendimientos. Asimismo, se evaluaron los contenidos totales de carbono y nitrógeno, fósforo disponible, cationes intercambiables, y emisiones de dióxido de carbono. Los Tecnosoles producidos poseen producción de maíz y frijol que se indistinguen del tratamiento control. El T1 posee contenidos más altos de carbono y nutrientes y emite una menor cantidad de dióxido de carbono por unidad de carbono, siendo una potencial alternativa de substrato para áreas verdes urbanas con menor impacto sobre el ciclo del carbono.

PALABRAS CLAVE: Agricultura urbana; Biocarbón; Compost; Residuos de concreto; Residuos de excavación.

INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas a menudo resultan en una disminución en las reservas de carbono (C) del suelo (Larney y Angers 2012), siendo perjudicial para la regulación del clima. Además, la expansión urbana ha reducido los terrenos adecuados y disponibles para la agricultura, lo que limita nuestra capacidad de producción de alimentos para sostener las demandas de la población urbana actual y futura. La agricultura urbana se ha propuesto como una opción viable para lograr la sostenibilidad urbana (Dieleman 2017). Sin embargo, los suelos urbanos están muy alterados, lo que constituye un desafío importante para la producción de alimentos dentro de las ciudades. Por esta razón, se ha evaluado el potencial de utilización de tecnosoles construidos en la agricultura urbana. El reciclaje de desechos o subproductos urbanos como materiales primarios en Tecnosoles construidos puede también mitigar las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera que, de otro modo, estarían asociadas a los otros usos convencionales de dichos materiales, p.ej., incineración de residuos (Rees *et al.*, 2019). Además, la introducción en

Tecnosoles con materiales orgánicos que tienen alto tiempo de vida media en el suelo podría aumentar su secuestro de C potencial comparado con los suelos naturales (Palumbo *et al.*, 2004). El objetivo del presente estudio fue evaluar el potencial de Tecnosoles construidos a base de desechos de la construcción civil que funcionen como base para la producción de alimentos y uso eficiente de carbono.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio y experimento

El estudio se llevó a cabo en una azotea verde de la Coordinación de Investigación Científica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Los resultados presentados corresponden al ciclo de crecimiento que se inició en junio de 2019 y se concluyó en diciembre del 2019. Se instalaron cinco replicas (n = 5) de cada uno de los tres tratamientos, a saber:

Tecnosol 1 (T1): 27% Residuos de concreto, 35% Composta, 15% Biocarbón, 8% Arcilla expandida, 15% Madera triturada

Tecnosol 2 (T2): 27% Residuos de excavación, 35% Composta, 15% Biocarbón, 8% Arcilla expandida, 15% Madera triturada

Control: Arcilla expandida (60 %), Lombricomposta (40 %)

En un total de 15 parcelas con 1.75 m x 0.8 m cada, y una profundidad de Tecnosol de aproximadamente 0.12 m, con un diseño completamente al azar. En cada parcela se sembraron tres plantas de maíz y seis plantas de frijol. El maíz provino de una población enana del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), seleccionada debido a su bajo porte. Se utilizó una variedad común de frijol de mata.

Componentes de los Tecnosoles

Los desechos de concreto son una mezcla de clinker (producto de calcinaciones a 1450 °C de piedra caliza y arcilla), yeso y aditivos incrustados con barras de acero o hierro. Los desechos de excavación se refieren al material natural extraído durante la preparación del terreno antes de la construcción de un edificio. El compost se produjo a partir de los residuos de poda de las áreas verdes de la Ciudad Universitaria (CU). La madera triturada está conformada por residuos leñosos de áreas verdes de CU. La misma madera triturada se tamizó a 13 mm y secó al sol hasta llevar a una humedad de aproximadamente 7.5 % para el proceso de pirólisis, el cual se realizó en un horno Kon-Tiki.

Evaluaciones en campo y laboratorio

Se realizó la caracterización química de los Tecnosoles en sus condiciones iniciales (contenidos totales de carbono y nitrógeno, fósforo disponible y cationes intercambiables). Los contenidos totales de carbono y nitrógeno se determinaron utilizando el método de combustión (Nelson y Sommers 1996) con un analizador elemental (CNHS/O Perkin Elmer 2400 series II). Los contenidos de fósforo disponible se determinaron por el método Olsen, y los cationes intercambiables fueron extraídos por iones NH₄+ a pH 7.0, y sus concentraciones determinadas por espectroscopía de absorción

atómica (Perkin Elmer Pin AAcle 900). Además, se midieron los flujos cumulativos de CO₂ desde la superficie del suelo utilizando el analizador portátil GASMET DX4040. Finalmente, al término del ciclo de crecimiento de las plantas se midió la biomasa aérea y rendimiento de granos de maíz y frijol.

Análisis de los datos

Para examinar los atributos de los Tecnosoles, se utilizó la prueba de Tukey a un nivel de significancia α < 0.05 para comparaciones de las medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones químicas iniciales de los Tecnosoles evaluados están reportados en el Cuadro 1. De manera general, todos los tratamientos presentaron altos contenidos de carbono y nutrientes. Sin embargo, se observó el mayor contenido de carbono total en el Tecnosol 1 y un mayor contenido de nitrógeno total en el tratamiento control en comparación a los demás tratamientos (p <0.05). La relación C/N de los tratamientos es <25 (datos no mostrados), lo que significa que no hay condiciones para inmovilización del nitrógeno en la biomasa microbiana y, por lo tanto, este nutriente se encuentra en formas disponibles a las plantas. El tratamiento control presentó los mayores contenidos de P disponible. Por otro lado, los Tecnosoles 1 y 2 presentaron mayores contenidos de Ca²+ y K+ intercambiable.

Cuadro 1. Composición química inicial de los dos Tecnosoles producidos y del tratamiento control. Los valores representan el promedio (error estándar, n = 3). Promedios seguidos por la misma letra mayúscula no difieren estadísticamente al nivel de significancia $\alpha < 0.05$ utilizando la Prueba de Tukey.

Tecnosol	C total	N total	P disponible	Ca	Mg	K	Na
	%		mg kg-1	cmol kg-1			
T1	13.7	0.7 (0.01)	246	48.7	10.2 (0.32)	8.3	2.0
	(0.14) A	B	(0.36) B	(0.46) A	B	(0.01) A	(0.01) B
T2	9.4	0.5 (0.01)	174	49.7	9.0	8.2 (0.01)	2.0
	(0.14) B	C	(0.36) C	(0.46) A	(0.32) B	B	(0.01) A
Control	8.6	1.0 (0.01)	497	39.6	13.4	7.4	0.7
	(0.14) C	A	(0.36) A	(0.46) B	(0.32) A	(0.01) C	(0.01) C

Se observó que el Tecnosol 1 presentó una mayor producción de biomasa aérea de maíz y frijol en comparación al Tecnosol 2 y no difirió significativamente del tratamiento control (Cuadros 2 y 3). Sin embargo, no hubo diferencias entre los Tecnosoles y el control respecto al rendimiento de granos de ambos cultivos (p > 0.05) (Cuadros 2 y 3), lo que evidencia el potencial productivo de los Tecnosoles y favorece la sustitución del sustrato comercial. Además, no hubo diferencia significativa entre los Tecnosoles 1 y 2 y tratamiento control respecto a los componentes de producción determinados en plantas

del maíz enano cosechado, indicando el potencial de la variedad en desarrollarse en Tecnosoles de composición diversa.

Cuadro 2. Peso de parte aérea y semillas de frijol (base seca) cultivados en los dos Tecnosoles producidos y del tratamiento control. Promedios seguidos por la misma letra mayúscula no difieren estadísticamente al nivel de significancia α < 0.05 utilizando la Prueba de Tukey.

Tecnosol	Peso de parte aerea	Peso de semillas		
	g			
T1	45.4 (6.31) AB	89.4 (14.0) A		
T2	36.6 (6.31) B	97.2 (14.0) A		
Control	64.2 (6.31) A	111.1 (15.6) A		

Cuadro 3. Peso de raíces, parte aérea y semillas de maíz (base seca) cultivados en los dos Tecnosoles producidos y del tratamiento control. Promedios seguidos por la misma letra mayúscula no difieren estadísticamente al nivel de significancia α < 0.05 utilizando la Prueba de Tukey.

Tecnosol	Altura de	Diámetro	Granos x	Peso de	Peso de	Peso de		
	mazorca	de mazorca	hilera	raíces	parte aerea	semillas		
	cm				g			
T1	13.0	4.2	22.0	14.2	325	87.3		
	(0.94) A	(0.23) A	(2.91) A	(1.69) A	(42.2) A	(12.3) A		
T2	12.3	4.3	12.9	9.2	152	66.2		
	(0.94) A	(0.23) A	(2.25) A	(1.69) A	(42.2) B	(12.3) A		
Control	14.0	4.4	16.4	15.2	264	71.2		
	(0.94) A	(0.23) A	(2.25) A	(1.69) A	(42.2) AB	(12.3) A		

Los flujos cumulativos de CO₂ no difirieron significativamente entre Tecnosoles (p > 0.05) (Figura 1). Sin embargo, considerando que hay diferencias significativas en los contenidos de C total entre los tratamientos, podemos concluir que hay una menor liberación de CO₂ por unidad de C en el Tecnosol 1 en comparación a los demás tratamientos, lo que se sugiere una mayor eficiencia en el uso del carbono.

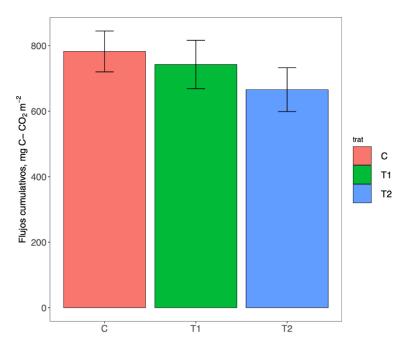


Figura 1. Flujos cumulativos de CO₂ en los dos Tecnosoles producidos y del tratamiento control.

CONCLUSIONES

Los Tecnosoles producidos y evaluados bajo condiciones de campo poseen producción de maíz y frijol que se indistinguen del tratamiento control. El Tecnosol conformado de 27% Residuos de concreto, 35% Composta, 15% Biocarbón, 8% Arcilla expandida, y 15% Madera triturada posee contenidos más altos de carbono y nutrientes, y emite una menor cantidad de dióxido de carbono por unidad de carbono, siendo una potencial alternativa de substrato para áreas verdes urbanas con menor impacto sobre el ciclo del carbono.

BIBIOGRAFÍA

Dieleman, H. (2017). Urban agriculture in Mexico City; balancing between ecological, economic, social and symbolic value. *Journal of Cleaner Production* 163, S156-S163. doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.082

Larney, F.J., Angers, D.A. (2012). The role of organic amendments in soil reclamation: A review. *Canadian Journal of Soil Science* 92, 19–38. doi:10.4141/cjss2010-064

Palumbo, A.V., Fisher, L.S., Wullschleger, S.D., McCarthy, J.F., Amonette, J. E., Daniels, W.L. (2004). Prospects for enhancing carbon sequestration and reclamation of degraded lands with fossil-fuel combustion by-products. *Advances in Environmental Research* 8, 425–438. doi: 10.1016/S1093-0191(02)00124-7

Rees, F., Dagois, R., Derrien, D., Fiorelli, J. L., Watteau, F., Morel, J.L., Schwartz, C., Simonnot, M. O., Séré, G. (2019). Storage of carbon in constructed Technosols: *in situ* monitoring over a decade. *Geoderma* 337, 641–648. doi: 10.1016/j.geoderma.2018.10.009

ALTÉPETL BIENESTAR, ¿DESACELERADOR DE LA EXPANSIÓN URBANA?

<u>Jorge Alberto Escandón Calderón</u>¹; Columba Jazmín López Gutierrez²; Marcela Rosas Chavoya³

¹Subdirección de capacitación para la sustentabilidad. Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural. Av. Año de Juárez 9700 Quirino Mendoza, Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco, Ciudad México. C.P. 16610; ²Dirección General. Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural. Av. Año de Juárez 9700 Quirino Mendoza, Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco, Ciudad México. C.P. 16610; ³Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural. Av. Año de Juárez 9700 Quirino Mendoza, Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco, Ciudad México. C.P. 16610.

RESUMEN

Se estima que más de la mitad de la población del siglo XXI habita en zonas urbanas, esto ha reflejado una dinámica de expansión urbana a nivel mundial, poniendo en riesgo a las zonas rurales y de conservación periurbanas. El 59% de la superficie de Ciudad de México es considerado Suelo de Conservación (SC). El objetivo del presente trabajo fue analizar los usos de suelo en el SC durante dos periodos diferentes del gobierno de la ciudad: El de M.A. Mancera (2012-2018) y el de C. Sheinbaum (2018-2023). Utilizando imágenes Landsat se realizó una clasificación supervisada para tres momentos (2012, 2018, 2023). Posteriormente se analizó la dinámica de uso de suelo dentro del polígono del SC. La tendencia general en el periodo 2018-2023 es una franca disminución de la expansión urbana en comparación con el periodo 2012-2018, salvo en la Alcaldía de Tláhuac. Los resultados sugieren que la política ambiental parece contribuir en la desaceleración de la expansión urbana.

PALABRAS CLAVE: *Imágenes satelitales; Landsat; Política pública; Suelo de conservación; Teledetección.*

INTRODUCCIÓN

Se estima que en el presente siglo (XXI) el 55% de la población global habita en zonas urbanas, las proyecciones indican que esta cifra llegará a 68% en 2050 (*United Nations* 2019). En el contexto de que la expansión urbana hacia la franja urbano-rural se ha convertido en una tendencia inevitable, la migración de la franja urbano-rural está estrechamente relacionada con la dirección del desarrollo urbano, exhibiendo una alta dinámica en las grandes urbes a nivel mundial (Sui y Lu, 2021).

En esta dinámica, la Ciudad de México (CDMX) no es la excepción y es considerada la quinta ciudad más poblada del mundo con 21,671,908 habitantes (*United Nations*, 2019), incluyendo toda su zona metropolitana. En cuanto a su zonificación, CDMX está dividida en Zona Urbana y Suelo de Conservación (SC). De las 149,430 ha de superficie total de la CDMX, el 59% (88,442 ha) es considerado SC.

Vite Pérez (2010) ha mencionado que existen tasas positivas de crecimiento poblacional que se pueden observar en zonas cercanas al SC, siendo las principales en Milpa Alta, Tlalpan, Tláhuac y Xochimilco. La Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (CORENADR) de la CDMX (2018-2024) ha establecido diversos programas

gubernamentales que tienen como objetivo la preservación del SC de la Ciudad de México. Uno de estos programas es Altépetl bienestar el cual en sus componentes busca conservar los sistemas de producción agrícola, además de buscar la conservación de las zonas forestales de la Ciudad de México.

Si bien, describir y comprender la dinámica de cambio del paisaje constituye un gran reto, las técnicas de teledetección han permitido el análisis de procesos de cambio sobre usos de suelo y recursos naturales (Hansen y Loveland, 2012). Específicamente, la información de los satélites de la serie Landsat administrados por la USGS (*United States Geological Survey*) / NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) de Estados Unidos, constituyen el proyecto de observación satelital con fines de monitoreo de recursos naturales y procesos de cambio terrestre con más tiempo operando (desde 1978) (NASA, 2017). Las imágenes de Landsat ofrecen consistencia en los datos capturados y una resolución espacial que hace posible identificar territorial y temporalmente la ocurrencia de disturbios (por causas naturales o antropogénicas) (Kennedy *et al.*, 2014). El presente trabajo tuvo como objetivo analizar los usos de suelo en dos periodos diferentes del gobierno de la ciudad: El de M.A. Mancera (2012-2018) y el de C. Sheinbaum (2018-2023), mediante una clasificación supervisada generada con imágenes Landsat 8. La hipótesis es que la tasa de expansión urbana varía de periodo en periodo y depende de la importancia que se le adjudique a la política ambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Ciudad de México se localiza entre los 19°03′ y 19°36′ de latitud norte y los 98°57′ y 99° 22′ longitud oeste. Tiene una superficie de 149,500 ha lo que representa apenas el 0.1% de la superficie de México. La CDMX está dividida en zona urbana y suelo de conservación (SC) (Figura 1). El SC tiene una superficie de 88,442 ha (59%). En el SC se han registrado más de 3,000 especies de flora y fauna (Velázquez y Romero, 1999).

Adquisición de información y preprocesamiento

Se gestionó información satelital Landsat 8 por medio de la plataforma web de US *Geological Service* (https://earthexplorer.usgs.gov/). Se seleccionó una imagen para cada uno de los tres momentos estudiados (2012, 2018 y 2023). Las características específicas de las imágenes se indican en el Cuadro 1.

Así mismo, se obtuvo información de altitud y pendiente a partir de un modelo digital de elevación con resolución espacial de 30m, desde la plataforma del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (https://www.inegi.org.mx/). Finalmente, se obtuvo información sobre el número de localidades y cantidad de vialidades por alcaldía desde el Portal de datos abiertos del Gobierno de la Ciudad de México (https://datos.cdmx.gob.mx/).

Cuadro 1. Imágenes utilizadas

Satélite / Sensor	Fecha de captura	Número de Órbita	Nivel
Landsat 7	01 ene 2012	26/47	L1
Landsat 8	10 ene 2018	26/47	L1
Landsat 8	08 ene 2023	26/47	L1

Preprocesamiento de imágenes

Se aplicó una corrección TOA (Top of image atmospheric) para obtener los valores de reflectancia a partir de la información con números digitales, este proceso permite obtener información con menor interferencia por el ángulo del sol o factores atmosféricos, al momento de la captura de la imagen (Singh *et al.* 2016). Este proceso fue realizado con el complemento Semi-Automatic Clasification Plugin dentro de QGIS 3.16 (Congedo, 2021).

Índices de vegetación

Con el objetivo de incorporar información al modelo y mejorar el proceso de clasificación de los principales usos de suelo que se desarrollan dentro del SC, se estimaron algunos índices espectrales.

Clasificación de Uso de Suelo y Vegetación

Se alinearon las capas ráster lo que permitió que se ajustaran a la misma resolución y marco espacial. Posteriormente se generó una capa multibanda con las 11 bandas, la cual fue el punto de partida para el proceso de clasificación de uso de suelo y vegetación. Adicionalmente, se seleccionaron áreas de entrenamiento a partir del mapa de uso de suelo y vegetación del Atlas de la Ciudad de México (GDF, 2012), así como de una imagen satelital de alta resolución Maxsar con resolución de 30 cm capturada en marzo del 2022.

Se realizó una clasificación supervisada con un algoritmo Random Forest en el programa RStudio. Las categorías de cobertura fueron: urbano, agricultura, pastizal, bosque primario, otras comunidades forestales, agricultura de riego y cuerpo de agua. El proceso de selección de áreas de entrenamiento y clasificación se realizó para los tres momentos (2012-2018-2023).

Evaluación de precisión

La evaluación de la precisión es un paso determinante en la modelación de uso de suelo y vegetación, ya que permite identificar la calidad de resultados y la certeza que tendrá el usuario final para la toma de datos a partir de los resultados generados. Se construyó una matriz de confusión para estimar la estadística de Kappa, así mismo se estimó la precisión de usuario y precisión de productor. Se utilizó el 20% de los píxeles de entrenamiento para el proceso de validación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estadística de Kappa

La precisión general para la clasificación fue de 89% para el 2012, de 96% para el 2018 y de 97% para el 2023. El valor de Kappa fue de 0.8578 para el 2012, de 0.8465 para el 2018 y 0.9522 para el 2023 (Cuadro 2).

Las mayores tasas de crecimiento urbano del SC durante el periodo 2012-2018 se localizaron en: Tlalpan con 137.12 ha por año, Xochimilco con 73.86 ha por año, Cuajimalpa con 23.54 ha por año. Le siguen Milpa Alta con 15.31 ha/año, Tláhuac con 8.52 ha/año, Iztapalapa con 6.53 ha/año, Álvaro Obregón con 2.48, Magdalena Contreras con 1.97 ha/año y Gustavo A. Madero. Para el periodo 2012-2023 las mayores tasas de crecimiento urbano se localizan en: Xochimilco con 39.55 ha/año, Tlalpan con 28.01 ha/año, Tláhuac con 17.59 ha/año. Le siguen Cuajimalpa con 16.38 ha/año, Iztapalapa con 4.79 ha/año Milpa Alta con 3.1 ha/año, Magdalena Contreras con 2.36 ha/año Gustavo A. Madero con 0.72 ha/año y Álvaro Obregón.

La tendencia general en el periodo 2018-2023 es una franca disminución de la expansión urbana en comparación con el periodo 2012-2018, salvo la Alcaldía Tláhuac. Para las alcaldías Magdalena Contreras y Gustavo A. Madero se puede considerar que hay estabilidad en la tasa anual entre los dos periodos. En Tlalpan la disminución es de 132 ha/año a 28.01 ha/año; en Xochimilco la disminución es de 73.86 ha/año a 39.55 ha/año; en Milpa Alta la disminución es de 16.31 ha/año a 3.7 ha/año; en Cuajimalpa la disminución es de 23.51 ha/año a 16.38 ha/año; en Iztapalapa de 6.53 ha/año a 4.79 ha/año; en Álvaro Obregón la disminución es de 2.49 ha/año a 0.04 ha/año. En Tláhuac hubo un aumento en la tasa de expansión urbana de 8.52 ha/año a 17.59 ha/año; en Magdalena Contreras fue de 1.97 ha/año a 2.36 ha/año y en Gustavo A Madero fue de 0 a 0.72 ha/año.

2012 2018 2023 Clase Precisión Precisión Precisión Precisión Precisión Precisión productor productor productor usuario usuario usuario Agricultura 0.91 0.90 0.95 0.95 0.96 0.94 Agricultura de riego 0.87 0.90 0.98 0.97 0.98 0.96 Bosque primario 0.98 0.97 0.98 0.96 0.99 0.98 Otras comunidades 0.83 0.94 0.96 0.94 0.95 0.95 forestales **Pastizal** 0.85 0.73 0.69 0.87 0.820.95 Cuerpo de agua 0.98 0.88 0.98 0.98 0.96 0.98 0.95 0.98 0.97 0.97 Urbano 0.84 0.98 Precisión general 89% 96% 97%

0.9465

0.8578

0.9522

Cuadro 2. Matriz de precisión

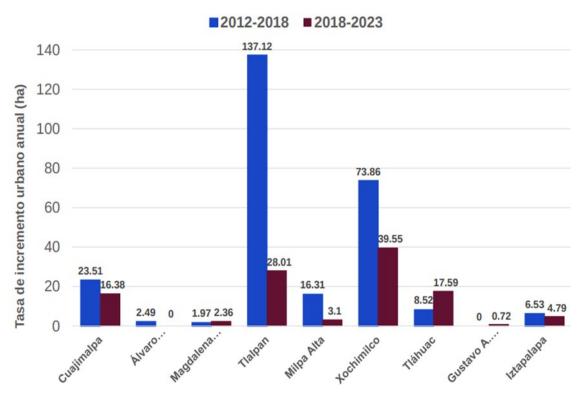


Figura 1. Tasas de incremento urbano anual por alcaldía de la Ciudad de México

La inversión gubernamental aplicada hacia el Suelo de Conservación parece tener un efecto de reducción de la expansión urbana. La visión del gobierno de C. Sheinbaum (y actualmente Martí Batres) se ha enfocado en la valoración de las actividades que realizan los habitantes de los núcleos agrarios del SC, así como en la preservación de los servicios ambientales que estas zonas prestan al área urbana de la Ciudad de México, con lo que se busca minimizar los riesgos naturales y socioeconómicos del cambio climático. Estos beneficios pueden ser agrupados en: 1) el fortalecimiento de las actividades primarias asociadas a las zonas periurbanas (SC) permiten apuntar a un desarrollo sustentable de la ciudad y contribuyen a la seguridad alimentaria de la región (Olsson et al., 2016); 2) la conservación de ecosistemas asegura la provisión de servicios ambientales i.e. regulación de clima, recarga de mantos acuíferos, captura de dióxido de carbono (Mngumi, 2020); 3) mantener y promover las actividades agropecuarias y la conservación de ecosistemas con enfoque comunitarios y bioculturales, permite la re-apropiación de la población originaria hacia su territorio lo que podría disminuir la especulación inmobiliaria. En próximos trabajos se recomienda evaluar las características particulares (topográficas, ecosistémicas y socioeconómicas) en la generación de política pública específica para cada zona.

CONCLUSIONES

La política pública ambiental parece influir en la dinámica de expansión urbana en el Suelo de Conservación de la Ciudad de México, específicamente el programa Altépetl bienestar parece haber tenido un efecto en la desaceleración de la expansión urbana. Sin embargo, el proceso no se ha detenido y la problemática no se ha solucionado, por lo que

se sugiere la aplicación de una política integral que permita desincentivar la venta de terrenos y la ocupación ilegal en el Suelo de Conservación de la Ciudad de México.

BIBLIOGRAFÍA

Congedo, L. (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. Journal of Open Source Software 6(64):3172.

GDF. (2012). Atlas geográfico del suelo de conservación del Distrito Federal (P. A. y del O. T. del D. F. Secretaría del Medio Ambiente, Ed.).

Hansen, M.C., Loveland, T.R. (2012). A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. Remote Sensing of Environment 122:66-74.

Kennedy, R.E., Andréfouët, S., Cohen, W.B., Gómez, C., Griffiths, P., Hais, M., Healey, S.P., Helmer, E.H., Hostert, P., Lyons, M.B., Meigs, G.W., Pflugmacher, D., Phinn, S.R., Powell, S.L., Scarth, P., Sen, S., Schroeder, T.A., Schneider, A., Sonnenschein, R., Vogelmann, J.E., Wulder, M.A., Zhu, Z. (2014). Bringing an ecological view of change to Landsat-based remote sensing. Frontiers in Ecology and the Environment 12(6):339-346.

Mngumi, L.E. (2020). Ecosystem services potential for climate change resilience in peri-urban areas in Sub-Saharan Africa. Landscape Ecol. Eng. 16: 187–198.

NASA (National Aeronautics and Space Administration). (2017). July 1972. Landsat 1 Launched. (en línea, sitio web). Consultado 16 May 2023.

Olsson, E.G.A., Kerselaers, E., Søderkvist Kristensen, L., Primdahl, J., Rogge, E., Wästfelt, A. (2016). Peri-Urban Food Production and Its Relation to Urban Resilience. Sustainability 8(1340).

Singh, S.K., Srivastava, P.K., Szabó, S., Petropoulos, G.P. Gupta, M., Islam, T. (2016). Landscape transform and spatial metrics for mapping spatiotemporal land cover dynamics using Earth Observation data-sets. Geocarto International

Sui, C., Lu, W. (2021). Study on the urban fringe based on the expansion-shrinking dynamic pattern. Sustainability, 13(10): 5718.

United Nations. (2019). World Urbanization Prospects 2018. Consultado 7 jun. 2023.

Velázquez A., y Romero, F. (1999). Biodiversidad de la Región de Montaña del Sur de la Cuenca de México. México, UAM/SMA/GDF.

Vite-Pérez, M.Á. (2010). El desarrollo social de la ciudad de México: una visión exploratoria. El Cotidiano 160:97-110.

CARACTERIZACIÓN DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD DISPONIBLE DEL CAUCHO COMO SUSTRATO PARA LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS

<u>José Manuel Pérez Ruiz</u>¹; Edgar Vladimir Gutiérrez Castorena^{1*}; Julia Mariana Márquez Reyes¹; Vicente Vidal Encinia Uribe¹; Celestino García Gámez¹

¹Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, General Escobedo, Nuevo León, México. C.P. 66050. Tel. (81) 1340 4399. *edgar.gutierrezcs@uanl.edu.mx

RESUMEN

El propósito de la investigación fue caracterizar las propiedades térmicas y flujo de agua al interior del contenedor con caucho triturado empleado como sustrato de producción, como material inerte con diferentes tamaños de partículas, en un sistema semi-hidropónico, obtenido de la trituración de neumáticos de desecho. Los tratamientos se asignaron a partir del tamaño de partícula: T1) <5 mm; T2) 5-75 mm; T3) >75 mm; y T4) muestra sin cribar (fibras hasta los 100 mm de longitud), colocados en contenedores de producción de 450 cm³, que son monitoreados la temperatura y humedad con sensores digitales Arduino en profundidad de 10, 20 y 30 cm. Los resultados indican que la temperatura ambiente promedio en verano e invierno fueron de 38 °C y 17 °C, con diferencial térmica de 6° C y 3 °C respectivamente. Mientras tanto, el porcentaje de humedad varía con la profundidad, donde a 20 cm ocasiona déficit de oxígeno al 70% y ≤ 53% ocasiona déficit hídrico. El T2 almacena el calor en la capa superficial, en partículas finas se homogeniza el calor, así como retiene humedad y forman agregados. En conclusión, el tamaño de partícula entre 5 y 75 mm almacena unidades calor a temperaturas óptimas para el desarrollo radical de las plántulas, ya sea en charolas de propagación o en contenedores de producción del cultivo.

PALABRAS CLAVE: Neumático triturado; Estructura del material; Propiedades térmicas.

INTRODUCCIÓN

El desecho y transformación de neumáticos tiene consecuencias medioambientales negativas, por confinamiento y acumulación, incremento de gases de efecto invernadero y contaminación de cuerpos de agua. La principal actividad que libera gases tóxicos es la quema accidental o provocada de neumáticos empleada frecuentemente por la industria cementera (Mora et al., 2018). En México se desechan al año 32 millones de neumáticos, de los cuales 320,000 se reciclan. Los tiraderos irregulares aumentan la liberación de componentes tóxicos, que contaminan mantos acuíferos (Wik et al., 2009), además, de vulnerar la salud de zonas urbanas por enfermedades, al crear condiciones ambientales que favorecen el desarrollo de las poblaciones de insectos (Fiksel et al., 2011). A pesar de ser un material contaminante, es común el uso de reactores térmicos que se emplean en los procesos del reciclado de neumáticos para la obtención de subproductos de mayor importancia económica. Por otra parte, los organismos funcionan como bioindicadores con sensibilidad en procesos metabólicos a las concentraciones de elementos tóxicos (Pochron et al., 2017), que son absorbidos por el sistema radical de la planta, por lo tanto,

resulta dañino para los seres vivos. Dichos metales intoxican el suelo y agua, altera el microbiota, lo cual afectara las características biológicas y fisicoquímicas de los ecosistemas cuando el material es expuesto al medio ambiente sin ningún tratamiento físico o químico (Andrade *et al.*, 2020). Sin embargo, cuando este es triturado, el material inerte puede ser empleado como sustrato de propagación o producción en plántulas y ornamentales con decremento de contaminantes ambientales.

El sustrato de triturado de caucho cumple con los requerimientos para ser empleado en la propagación y producción hortícola, ornamental o forestal al ser un material sólido, colocado en un contenedor, en mezcla o en forma pura; permite la agregación de partículas por el sistema radical de la planta y adquiere un papel de sostén mecánico, el cual puede o no intervenir en el proceso de la nutrición mineral de la planta. Dado este principio, el reciclado de neumáticos con una distribución de tamaño de partícula puede ser una alternativa factible para el aprovechamiento de materiales que se considera meramente desperdicio. Los sustratos inorgánicos como el caucho pueden contribuir a la intensificación de la producción hortícola, al proveer altos rendimientos en la cosecha, incluso en áreas con condiciones climáticas adversas. Una propiedad física que considerar es la temperatura acumulada en el material que cede a la semilla en unidades calor, el cual puede ser requerida como recubrimiento en charolas de germinación de plantas ornamentales, hortalizas o forestales; al mejorar el proceso de nucleación mediante la combinación de factores como la disociación inicial del crecimiento o el incremento de la movilidad superficial (Devia *et al.*, 2011).

La investigación tiene como objetivo principal caracterizar el material de desecho de neumáticos en presentación de caucho triturado con granulometría específica como material inerte, para el uso en la propagación y producción, mediante la evaluación de temperaturas internas y externas, así como la humedad disponible durante el desarrollo de la plántula en diferentes tamaños de partícula de triturado. Para definir factores físicos de los procesos de germinación y adaptabilidad del sistema radical del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material de caucho fue obtenido mediante una trituradora de neumáticos para poder excluir las cuerdas de acero radial, posteriormente el subproducto es cribado a diversos tamaños de partículas que varían en < 5 mm, ≤ 75 mm ≥, 75 mm de largo (Figura 1), caracterizado en el laboratorio de Biotecnología microbiana y limpiado con lavados en solución de 1/10 de agua y cloro al 100%, durante 24 horas en un contenedor de 200 litros. Además de ser filtrado y drenado, fue secado a temperatura ambiente durante 24 horas en el centro de Agricultura Protegida de la Facultad de Agronomía.

El diseño de los tratamientos se ejecutó con base al tamaño de partícula, de los cuales, el tratamiento 1 consistió en partículas de tamaño menor o igual a 5 mm (T1), el segundo tratamiento (T2) se realizó con partículas entre 5 a 75 mm; el tercer tratamiento (T3) representó a un tamaño de partícula mayor a 75 mm, y por último el tratamiento (T4) consistió en material sin cribar (relación de tamaño de partículas con base volumétrica de

40%, 28% y 32%, respectivamente), es decir todos tamaños después de la molienda sin tamizar (Figura 1).

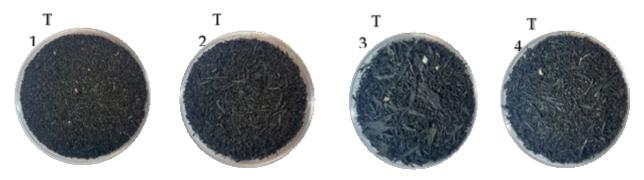


Figura 1 - Diferentes tratamientos con base a su tamaño de partícula

Las charolas de propagación fueron llenadas con caucho a un tamaño de partícula menor a 5 micras para la propagación y desarrollo de plántulas de hortaliza (*Cucurbita pepo L*). Estas fueron trasplantadas a contenedores con mayor capacidad volumétrica con diámetro de 10 cm y 7.5 cm de altura con un volumen 450 cm³, donde fue depositado 300 g del sustrato de caucho para cada tratamiento con 10 repeticiones, ubicadas en un invernadero de tipo español (25° 47′ 06.7′′′ N 100° 17′ 05.6′′′ W) con ventilación natural, establecidas después del trasplante. La temperatura del sustrato fue registrada en periodos constantes cada 8 h durante el día, mediante un sistema electrónico Arduino a profundidades de 1 cm y 15 cm más la temperatura ambiente.

Las plantas fueron trasplantadas a contenedores de producción con capacidad de 20 litros, donde se colocaron sensores digitales de temperatura inter y entre el sustrato a profundidades de 0, 10, 20 y 30 cm.

El registro de humedad se llevó a cabo con sensores de humedad de tipo analógico capacitivo en un sistema Arduino, cada 72 h colocados en los contenedores de producción.

La aplicación de fertirriegos consistió en aplicar 10 L de solución nutritiva, y se observó el nivel de agua dentro del contenedor, aplicando nuevamente cuando llegara a un nivel o altura de 20 cm a partir de la superficie del sustrato. La calibración consistió en monitorear en cada tratamiento las fluctuaciones (nivel de agua) los descensos, las cuales oscilaron entre 73% y 28% a saturación y desecación respectivamente.

RESULTADOS

Los valores de temperatura en contenedores de producción reportaron una amplitud térmica de 6 °C para todos los tratamientos, sin embargo, al analizar la temperatura por tratamiento se muestra un decremento de 2 °C por cada 10 cm de profundidad, llegado a valores de 29 °C a los 30 cm. Las temperaturas ambientales al interior del invernadero oscilaron en promedio a los 30 °C, con una temperatura máxima de 44 °C y una mínima de 18 °C durante los primeros seis meses del año durante la época de primavera-verano. El T4 reportó la mayor diferencia térmica entre la temperatura ambiente y la superficie

del caucho con 5 °C, con decremento de tan solo un grado como se incrementa la profundidad (31 °C, 31 °C, 30 °C y 30 °C, en profundidad de 0, 10, 20 y 30 cm respectivamente), con una pendiente de descenso de 0.05 °C por unidad (cm) respecto a la profundidad. Mientras tanto, la temperatura del T3 registró una temperatura semejante entre la superficie del caucho con la ambiental de 36 °C, con decrementos 0.2 °C por unidad (cm) respecto a la profundidad (Figura 2).

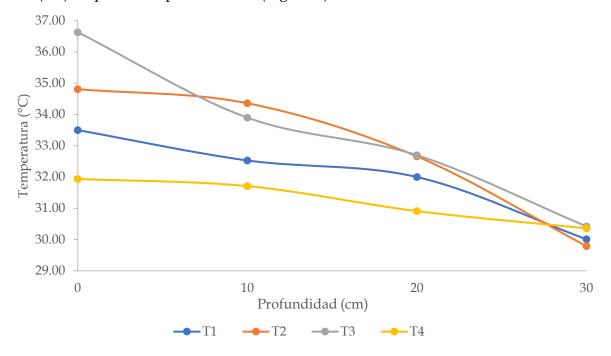


Figura 2. Promedio de temperatura en diferentes profundidades

El T4 retiene la mayor cantidad de agua, mientras que el T3 retiene cantidades similares en profundidad de 10 y 20 cm (Cuadro 1). En el análisis de humedad se registró porcentajes favorables para el crecimiento y desarrollo de las plantas, ningún tratamiento bajo 50% en humedad después de 72 h de haber aplicado la solución nutritiva. Los T1 y T4 formaron agregados con mayor grado de desarrollo, lo que indica que el tamaño de partículas del caucho tiende a retener agregarse y conserva mayor cantidad de humedad entre los macroporos y microporos.

	-							
Humedad promedio primavera-verano (%)								
		`	,					
Profundidad (cm)	T1	T2	T3	T4				
10	57.5	54.72	50.96	62.78				
10	37.3	J4.7 Z	50.70	02.70				
20	70.28	63.33	53.97	71.11				
30	100	100	100	100				

Cuadro 1. Promedio de humedad en diferentes profundidades



Figura 3. Desarrollo del sistema radicular

CONCLUSIONES

Los hallazgos obtenidos en la investigación indican que el material de caucho procedente de neumáticos triturados, almacenan unidades calor a temperaturas óptimas para el desarrollo radicular de las plántulas, ya sea en charolas de propagación o en contenedores para un ciclo completo del cultivo. En partículas finas, el material almacena solución nutritiva entre e inter agregados y reporta condiciones favorables para su uso como sustrato en la producción de planta.

BIBLIOGRAFÍA

Mora., E.A., Ramón, J.A., Palacios, J.R. (2018). Diseño de un colector térmico solar a partir de neumáticos usados para el calentamiento de agua sanitaria en aplicaciones domésticas. Espacios, 13(39):22.

Andrade, K., Castillo, I., Quispe Riquelme, R. (2020). Determinación de metales pesados en suelos agrícolas y suelo para cultivo de *Solanum tuberosum* de la Bahía interior de puno. Investigación & Desarrollo, 20(1), 147–153.

Devia, D. M., Mesa, F., Arango, P. J. (2011). Influencia de la temperatura del sustrato en la microestructura de recubrimientos de TiN/TiC. *Ingeniería y Ciencia*, 7(14), 71–82.

Fiksel, B., Bakshi, A., Baral, E., Guerra, B., De Quervain. (2011). Comparative life cycle assessment of beneficial applications for scrap tires. Clean Technol. Environ., 13 (2011), pp. 19-35, 10.1007/s10098-010-0289-1.

Pochron, S. T., Fiorenza, A., Sperl, C., Ledda, B., Lawrence Patterson, C., Tucker, C. C., Tucker, W., Ho, Y. L., & Panico, N. (2017). The response of earthworms (*Eisenia fetida*) and soil microbes to the crumb rubber material used in artificial turf fields.

Wik, A., Nilsson, E., Källqvist, T., Tobiesen, A., Dave, G. (2009). Toxicity assessment of sequential leachates of tire powder using a battery of toxicity tests and toxicity identification evaluations.

COMPILACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE EROSIÓN EN MÉXICO PUBLICADOS EN ARTÍCULOS CIENTÍFICOS EN IDIOMA ESPAÑOL

Viviana Marcela Varón-Ramírez¹; Carlos E Arroyo-Cruz¹; Mario Guevara¹

¹ Centro de Geociencias - Universidad Nacional Autónoma de México, Querétaro, 76230, México.

RESUMEN

Los esfuerzos de investigación en torno al proceso erosivo del suelo han abarcado estudios a diferentes escalas en espacio y tiempo. Sin embargo, en la región de América Latina y el Caribe no se reporta el estudio del proceso erosivo a través de la publicación de artículos científicos escritos en inglés. Sin embargo, muchos trabajos con alto valor científico se publican constantemente en idioma español. El objetivo del presente trabajo es identificar las principales estrategias de investigación en torno al estudio de la estimación y evaluación de la erosión hídrica en México a través de la revisión de los estudios publicados en idioma español. La búsqueda se centró en las bases de datos Scielo (Scientific Electronic Library Online) y Redalyc (Red de revistas científicas de Acceso Abierto no comercial propiedad de la academia). Como resultado, se obtuvo una base de datos con la compilación de la información relevante de 37 artículos publicados en idioma español. Se resalta que los estudios de erosión del suelo en México siguen la tendencia global, es decir, los modelos más implementados son aquellos de la familia (Universal Soil Loss Equation) USLE, la escala de trabajo predominante es la cuenca hidrográfica y no existe una cultura de disponibilidad de resultados. Se concluyó que a pesar de la poca visibilidad internacional que tienen los estudios de erosión en México, debido al idioma habitual de publicación, si se han realizado estudios que representan un avance importante para el desarrollo de un sistema de monitoreo del recurso.

PALABRAS CLAVE: Revisión bibliográfica; Erosión hídrica.

INTRODUCCIÓN

La erosión hídrica del suelo es considerada una de las mayores amenazas para la especie humana. Esta se considera un proceso de degradación, pues con la disminución de la capa arable, disminuye la capacidad que este tiene para cumplir sus funciones dentro del ecosistema (Montgomery, 2007). El estudio de la erosión del suelo en el mundo ha sido un ejercicio de más de un siglo. Sin embargo, trabajos de revisión recientes, demuestran que son pocos los estudios que se publican en idioma español, de hecho, aproximadamente el 98% de los estudios publicados, en todos los campos de la ciencia, en el mundo son escritos en inglés (Ramírez-Castañeda, 2020). Esto anterior, ha repercutido en una baja divulgación de los estudios de erosión que se publican en países de la región de América Latina y el Caribe (LAC) y que no permiten identificar el avance de la frontera del conocimiento del proceso erosivo en estas regiones.

En México, la erosión del suelo representa un problema que tiene implicación social directa. Se ha identificado que cerca del 76% del área continental presenta algún grado de afectación por erosión hídrica (Bolaños González *et al.*, 2016) y a escala nacional, el grado de erosión esta moderadamente correlacionado con problemas sociales como la carencia

alimentaria (Cotler *et al.*, 2020). Teniendo en cuenta que la erosión del suelo es un asunto prioritario en México y que es necesaria la divulgación de los resultados de investigación, el objetivo del presente trabajo es identificar las principales estrategias de investigación en torno al estudio de la estimación y evaluación de la erosión hídrica en México a través de la revisión de los estudios publicados en idioma español.

MATERIALES Y MÉTODOS

La estrategia de búsqueda de artículos se concentró en dos bases de datos de trabajos científicos que tienen influencia en la región LAC: 1) Scielo (*Scientific Electronic Library Online*) y 2) Redalyc (Red de revistas científicas de Acceso Abierto no comercial propiedad de la academia). Se definieron las siguientes palabras clave: "erosión del suelo", "pérdida de suelo" y "erosión hídrica", más las palabras "estimación", "evaluación" y "modelación". Se identificó la información relevante en cuanto a su referencia bibliográfica, objetivo principal, ubicación del estudio, metodología, información climática, uso de suelo, topografía y resultados principales. Posteriormente, se realizó un análisis de frecuencias por atributo registrado en la base de datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este trabajo compiló 37 artículos científicos publicados en idioma español. La ventana de tiempo de compilación de estos artículos es desde 2003 hasta 2022, siendo el año 2012 aquel en que se publicó un mayor número de artículos (7). Los estudios de erosión hídrica de suelos en México se han realizado principalmente con el objetivo de modelar o medir la tasa de pérdida de suelo por erosión hídrica (Figura 1A).

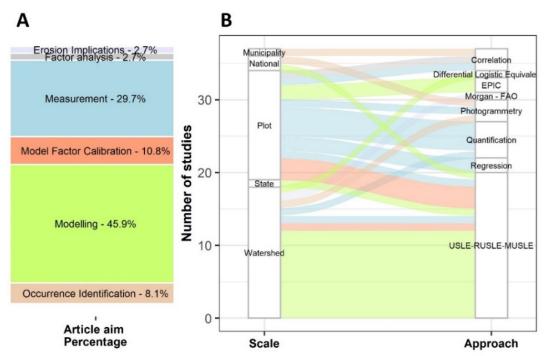


Figura 1. A) Distribución porcentual por objetivo en los estudios de erosión; B) Relación entre la Escala de estudio y el objetivo de los estudios.

Los ejercicios de modelación se han llevado a cabo típicamente a escala de cuenca (13 estudios) aplicando modelos empíricos basados en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE-RUSLE-MUSLE) (Wischmeier y Smith, 1978) (Figura 1B). Por otra parte, los estudios de medición de la tasa de pérdida de suelo se realizan principalmente a escala de parcela (9 estudios) y en ellos se hace una cuantificación anual de sedimentos en agua de escorrentía y otros usan técnicas de regresión para relacionar la tasa de perdida de suelo con características de la precipitación como la intensidad de la lluvia. En esta compilación de estudios se han identificado valores de pérdida de suelo desde 0,07 t ha¹ año¹ hasta tasas de 19 t ha¹ año¹ en áreas de recuperación de tepetates (Haulon *et al.*, 2007).

Los estudios en los que se identifica la ocurrencia del proceso de erosión se han realizado a través de técnicas fotogramétricas a escala de cuenca y nacional (Figura 1B). A escala nacional, Bolaños González *et al.* (2016) delimitaron las áreas afectadas (calificación por grados) por erosión a través de la identificación de rasgos erosivos mediante la fotointerpretación de imágenes pancromáticas y multiespectrales. Aquí es importante mencionar que este es el único estudio que tiene disponibilidad de uso de los resultados. En cuanto a los ejercicios de calibración de los modelos de pérdida de suelo, estos se han centrado en proponer nuevos valores para el factor de cobertura (Pérez Nieto *et al.*, 2012) o en generar un factor de corrección para la estimación de la pérdida potencial de suelo calculado mediante el modelo RUSLE (Valdivia-Martínez *et al.*, 2022).

La erosión hídrica en México es materia de estudio y las publicaciones realizadas al respecto siguen la tendencia a escala global. En artículos científicos de revisión publicados previamente, se reportaban pocos estudios realizados en México (Borrelli *et al.*, 2021), sin embargo, en este trabajo se puede observar que la tendencia de investigación en México es parecida a la reportada a escala global; por ejemplo, se puede ver que son los modelos USLE-RUSLE-MUSLE aquellos que son implementados con mayor frecuencia debido a su versatilidad y difusión (Nearing, 2013). La escala de trabajo más frecuente también es a nivel de cuenca hidrográfica, esto se debe a que el manejo de las cuencas hidrográficas representa el primer escalafón de la planificación en un territorio (Letsinger *et al.*, 2021).

Los dos estudios reportados a escala nacional representan una línea base en la identificación de las áreas más degradadas por erosión hídrica; sin embargo, a pesar de la replicabilidad y escalabilidad que tienen estos dos enfoques (modelación e interpretación fotogramétrica), cada uno presenta ventajas y desventajas. Dentro de las ventajas de las estrategias de identificación de la ocurrencia se encuentra la replicabilidad a diferentes escalas y lugares y para las estrategias de modelación se destaca la posibilidad de actualización de los productos obtenidos. Dentro de las desventajas, se resaltan la falta de medición de la incertidumbre y la representación de unidades de mapeo homogéneas en el caso del enfoque de identificación de la ocurrencia (Kempen *et al.*, 2009), y bajo el enfoque de la modelación, la necesidad de validación y calibración de los modelos (Alewell *et al.*, 2019).

Por último, se plantea el reto de desarrollar una estrategia integral de estudio de la erosión en México con el objetivo de implementar sistemas dinámicos de monitoreo. Debido a que los resultados de estos estudios, en su mayoría mapas, no se encuentran disponibles para uso y consulta de diferentes usuarios, la aplicabilidad de estos resultados se ve restringida. De esta forma no es posible desarrollar sistemas de monitoreo, conservación y manejo de suelos a partir de esfuerzos de investigación previos. Se plantea entonces el desarrollo de sistemas integrales y dinámicos de estudio de la erosión en México. Estos sistemas demandan una estrategia de desarrollo que sea escalable, es decir, que puedan crecer tanto en el espacio geográfico como en el tiempo. Para lograr lo anterior, es vital desencadenar una estrategia de investigación que cumplan con los principios FAIR (Wilkinson *et al.*, 2016) donde sean fácilmente encontrados los resultados, se puedan descargar, tengan formatos que permitan la interoperabilidad y permitan aprovechar los datos primarios recolectados para otros fines.

CONCLUSIÓN

Este estudio representa la primera compilación de investigaciones publicadas en idioma español y realizadas en México alrededor de la erosión del suelo. Con esta compilación se demuestra que en México se han realizado estudios que siguen la tendencia de investigación a escala global. Los resultados muestran que el estudio de la erosión en México se ha realizado predominantemente a escala de cuenca hidrográfica y los estudios se han centrado en la modelación a través de la implementación de la familia de modelos USLE y la medición directa de una tasa de pérdida de suelo.

Las dos aproximaciones del estudio de la erosión del suelo a escala nacional tienen un enfoque cualitativo y cuantitativo. Cada una de estas aproximaciones representan desventajas y desventajas en la interpretación y uso de los resultados; sin embargo, estos estudios representan la línea base de estudio de la erosión en México y futuras investigaciones deberían enriquecerse a partir de estos estudios.

Es evidente la ausencia de una cultura de disponibilidad de resultados, lo que genera una duplicidad de esfuerzos de investigación y no facilita la implementación de sistemas de monitoreo de la erosión del suelo. Se sugiere entonces a las futuras investigaciones hacer uso de los principios FAIR.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al proyecto CONAHCYT (CF-2023-I-1846).

BIBLIOGRAFÍA

Alewell, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Panagos, P. (2019). Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. In International Soil and Water Conservation Research (Vol. 7, Issue 3, pp. 203–225). International Research and Training Center on Erosion and Sedimentation and China Water and Power Press.

Bolaños González, M. A., Paz Pellat, F., Cruz Gaistardo, C. O., Argumedo Espinoza, J. A., Romero Benítez, V. M., & de la Cruz Cabrera, J. C. (2016). Mapa de erosión de los suelos de México y posibles implicaciones en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo. Erosion map of Mexico soils and its possible implications for soil organic carbon pool. Terra Latinoamericana, 34, 271–288.

Borrelli, P., Alewell, C., Alvarez, P., Anache, J. A. A., Baartman, J., Ballabio, C., Bezak, N., Biddoccu, M., Cerdà, A., Chalise, D., Chen, S., Chen, W., de Girolamo, A. M., Gessesse, G. D., Deumlich, D., Diodato, N., Efthimiou, N., Erpul, G., Fiener, P., ... Panagos, P. (2021). Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis. Science of The Total Environment, 780, 146494. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.146494

Borrelli, P., Robinson, D. A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J. E., Alewell, C., Wuepper, D., Montanarella, L., & Ballabio, C. (2020). Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 117(36), 21994–22001.

Cotler, H., Corona, J. A., & Galeana-Pizaña, J. M. (2020). Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación. Investigaciones Geográficas, 101, e59976.

Haulon, M., Werner, G., Flores-García, G., Vera-Reyes, A., Felix-Henningsen, P. (2007). Assessment of erosion rates during rehabilitation of hardened volcanic soils (tepetates) in Tlaxcala. Revista Mexicana de Ciencias Geologicas, 24(3), 498–509.

Kempen, B., Brus, D. J., Heuvelink, G. B. M., Stoorvogel, J. J. (2009). Updating the 1:50,000 Dutch soil map using legacy soil data: A multinomial logistic regression approach. Geoderma, 151(3–4), 311–326.

Letsinger, S. L., Balberg, A., Hanna, E., Hiatt, E. K. (2021). Geohydrology: Watershed Hydrology. In D. Alderton y E. Scott, A. (Eds.), Encyclopedia of Geology (Second, pp. 442–456). Academic Press.

Montgomery, D. R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 104(33), 13268–13272.

Nearing, M. A. (2013). Soil erosion and conservation. In J. Wainwright y M. Mulligan (Eds.), Environmental Modelling: Finding Simplicity in Complexity (2nd ed., pp. 365–378). John Wiley & Sons, Ltd.

Pérez Nieto, J., Valdés Velarde, E., Ordaz Chaparro, V. (2012). Cobertura vegetal y erosión del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra. Terra Latinoamericana, 30(3), 249–259.

Ramírez-Castañeda, V. (2020). Disadvantages in preparing and publishing scientific papers caused by the dominance of the English language in science: The case of Colombian researchers in biological sciences. PLOS ONE, 15(9), e0238372.

Valdivia-Martínez, O., Peña-Uribe, G. D. J., Ruf, F. (2022). Ajuste de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo en parcelas de escurrimiento ubicadas en una región del centro de México. Terra Latinoamericana, September, 0–14.

Wilkinson, M. D., Dumontier, M., Aalbersberg, Ij. J., Appleton, G., Axton, M., Baak, A., Blomberg, N., Boiten, J. W., da Silva Santos, L. B., Bourne, P. E., Bouwman, J., Brookes, A. J., Clark, T., Crosas, M., Dillo, I., Dumon, O., Edmunds, S., Evelo, C. T., Finkers, R., ... Mons, B. (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. Scientific Data. 3(1), 1–9.

Wischmeier, W. H., Smith, D. D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. Handbook 537. U.S. Department of Agriculture.

COMPORTAMIENTO FISICOQUÍMICO DE SUELO CON COMPOSTA EN PRESENCIA DE IONES CONTAMINANTES DE As(V) Y Cd (II)

<u>Fernando Tapia Ortega^{1*}</u>; Agueda Elena Ceniceros Gómez¹; Esaú Jiménez Ocampo¹; Margarita Gutiérrez Ruiz¹

¹Laboratorio de Biogeoquímica Ambiental, Facultad de Química, UNAM, México CDMX, 04510. *315044166@quimica.unam.mx

RESUMEN

El uso de composta para fines de remediación es una alternativa viable y amigable con el medioambiente, además resulta más económica que algunas otras vías. Con este estudio se busca, sentar bases respecto a la retención en un suelo adicionado con Cd(II) y As(V) ajustando los comportamientos según modelos de isotermas de sorción. Los resultados obtenidos indicaron que la retención máxima para As(V) aproximadamente a los 3,000 mg As/kg de cada sustrato (mezcla suelo-composta), mientras que para los mismos sustratos usando Cd(II), la saturación de retención no se alcanzó, pero la retención alcanzada fue aproximadamente 18,600 mg Cd/kg de cada sustrato. Los datos resultantes de las isotermas de sorción fueron explicados por ambos modelos de isoterma de Langmuir y Freundlich, sin embargo, el modelo que ajusto mejor las isotermas fue Langmuir, la capacidad máxima sorbida experimental para los sustratos 1, 2, 3 y 4 (0%, 2.5%, 5% y 10% de composta adicionada a suelo) para As(V) fue: 177.6 mg/kg, 180.8 mg/kg, 232.8 mg/kg y 161.5 mg/kg, respectivamente. En el caso de Cd (II) las capacidades máximas según Langmuir fueron: 4,535 mg/kg en sustrato 1 y 5,115 mg/kg en sustrato 3, sin embargo, el sustrato 2 se ajustó por Freundlich sin mostrar saturación. El uso de composta como aditivo mejorador en suelos contaminados con Elementos Potencialmente Tóxicos se relacionó con mayor retención con cantidades de composta de 2.5% lo que indica que puede ser un agente de remediación al no permitir que los Elementos Potencialmente Tóxicos se dispersen al ambiente.

PALABRAS CLAVE: Aditivos orgánicos; Isotermas de sorción; Remediación de suelos.

INTRODUCCIÓN

La composta es un material orgánico producido por procesos de mineralización, humificación y biooxidación microbiana de desechos orgánicos, este pasa a ser un producto biológicamente estable y con propiedades benéficas para los suelos, ya que proporciona materia orgánica (MO) al medio, como carbono orgánico y materia orgánica humificada (MOH), esto último confiere propiedades sorbentes de algunos elementos potencialmente tóxicos (EPTs), de tal forma que minoriza la movilidad de iones metálicos con potencial biodisponible (Bolan *et al.*, 2014; Lima *et al.*, 2022; Wu *et al.*, 2019).

Las diversas interacciones entre sustratos y EPTs ocurren por mecanismos geoquímicos de adsorción, retención o inmovilización cómo: coordinación superficial, precipitación, reacciones de oxido reducción, metilación, intercambio iónico, entre otros (Bolan *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2022; Qu *et al.*, 2022).

La implementación de aditivos orgánicos para la remediación de suelos contaminados a menudo es complementada por algunos otros tipos de remediación, pero por diversos factores, no le permiten ser un remedio eficaz con algunos EPTs, ya que puede producirse un efecto opuesto, como es el caso del As(V). Con este trabajo se busca sentar las bases, comprender la capacidad y mecanismo de retención de un aditivo orgánico (composta); procedente de la planta de composta de Ciudad Universitaria, frente a Cd (II) y As(V).

Es necesario evaluar la retención/inmovilización de As(V) y Cd (II) en sustratos suelo/composta (en porcentaje masa/masa 0%, 2.5%, 5% y 10% de composta añadida), para comprender la interacción de los elementos potencialmente tóxicos As(V) y Cd (II) en el sistema suelo/composta.

El Cd (II) y As(V) pueden ser retenidos en los suelos adicionados con composta, esto debido a que la composta puede tener cantidades considerables de materia orgánica humificada (como Ácidos húmicos), que al tener sitios de intercambio catiónico pueden adsorber/retener EPTs quedando en la materia orgánica insoluble y en conjunto con diferentes tipos de interacciones en los componentes del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para los experimentos exploratorios de sorción en función de la concentración se usaron soluciones de Cd (II) (CdCl₂) y (CdCl₂ 2 _{1/2} H₂O). Mientras que para As(V), se usó un estándar de 100 mg L⁻¹ y Na₂HAsO₄. Para todas las pruebas exploratorias se mantuvo la relación masa y volumen (1/20). Las disoluciones en presencia de sustrato se llevaron a agitación axial por 18 h a temperatura ambiente por 1 h, posterior a esto se centrifugaron (3,000 rpm, 10 minutos) y se filtraron con membranas de celulosa 0.45μm. Como control de calidad para cada concentración se preparó un duplicado y se evaluó la diferencia porcentual relativa. Los extractos filtrados se almacenaron en botellas de polipropileno para análisis posterior por espectrometría de emisión atómica ICP-OES (modelo 5100, Sistema ICP-OES, *Agilent technologies*) siguiendo el método EPA 6100C.

Para las isotermas de sorción se prepararon ensayos con 2.5 g de cada sustrato (4 sustratos, con 0, 2.5, 5 y 10 % de composta añadida) y 25 mL de disoluciones de As(V) en 5 concentraciones diferentes [9, 27, 55, 110 y 165] mg/L, luego se agitaron por 18 h en un agitador axial a 29 rpm. Se decantaron en tubos de centrifuga y se centrifugaron (3,000 rpm, 10 minutos). Se filtraron con membranas de celulosa de tamaño de poro de $0.45~\mu m$. Se añadieron 2 gotas de HNO3, posterior a eso se diluyeron con agua acidificada al 2% HNO3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

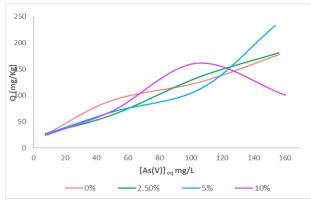
Experimentos de sorción

Las concentraciones máximas estimadas de As(V) se encontraron alrededor de 3,000 mg/kg de sustrato, y se observó una disminución de la capacidad de retención entre el sustrato 1 (0% de composta) y 3 (5% de composta). En el caso del Cd (II), no se alcanzó el punto se saturación de los sustratos, pero se retuvo una concentración de 18,500 mg/kg de sustrato. Se ha reportado la capacidad de retención "Q" con otros métodos, con otros

metales o con otro tipo de aditivos reportados, para As(V) depende del tipo de suelo y aditivo usado (Chorom *et al.*, 2013; Lima *et al.*, 2022; Park *et al.*, 2013; Vaca-Paulín *et al.*, 2006; Zi-gang et *al.*, 2006).

Isotermas de sorción de As(V)

Las isotermas de sorción de [As(V)] (160, 500, 1000, 2000 y 3000 mg/kg) (Figura 1) se ajustaron al modelo de isoterma de Langmuir (Figura 2), exceptuando la isoterma del sustrato 2 (2.5% de composta) que fue ajustada por el modelo de isoterma de Freundlich. Se observa una tendencia, donde la capacidad máxima de sorción (Q) disminuye conforme aumenta la proporción de composta (Cuadro 1). Las capacidades de sorción máximas ajustadas son menores en comparación a, por ejemplo, a composta de residuos urbanos con capacidades alrededor de (\approx 0.24 mmol/g \approx 17,981 mg/kg) bajo condiciones ácidas (Silvetti *et al.*, 2017), o mayor a la reportada a partir de compostas de residuos urbanos igualmente, donde la sorción fue prácticamente nula (Lima *et al.*, 2022). Con estos resultados, en conjunto con el Cuadro 1, parece ser que la retención se ve beneficiada con 2.5% de aditivo (composta), aunque por los datos experimentales, puede que esta relación no sea tan adecuada ya que pudo deberse a problemas dados por la poca sorción del As(V) a los diferentes sustratos.



180 140 120 O(mg/kg) 00 08 08 60 40 20 80 100 0 20 40 120 [As(V)]_{eq} mg/L 0% Langmuir 2.5% Freundlich 5% Langmuir - 10% Langmuir

Figura 1. Isotermas de sorción experimentales de As(V) en los sustratos 1, 2, 3 y 4.

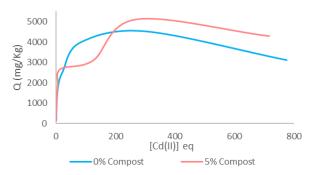
Figura 2. Isotermas de sorción ajustados por Langmuir y Freundlich de As(V) en los sustratos 1, 2, 3 y 4.

Cuadro 1. Capacidad de sorción por unidad de sustratos experimental y ajustadas por Freundlich y Langmuir.

Muestra	Q As(V) Experimental (mg/kg)	K _{Freundlich} (L/kg)	$K_{Langmuir}$ (L/mg)	R ²	Q As(V) ajustada máxima
		Freundlich	Langmuir		(mg/kg)
Sustrato 1	177.6	-	0.019	0.9973	148.4
Sustrato 2	180.8	0.85	-	0.9632	162.7
Sustrato 3	232.8	-	0.025	0.9644	128.4
Sustrato 4	100.4	-	0.025	0.9798	117.7

Isotermas de sorción de Cd (II)

Los datos para las isotermas experimentales de Cd (II) (Figura 3) se tomaron de los experimentos de sorción en los sustratos 1 y 3 (0% y 5% de composta respectivamente). Se ajustaron con el modelo de isoterma de Langmuir (Figura 4), y las capacidades máximas de sorción registradas experimentalmente son altas en comparación a las capacidades máximas de sorción de As(V), es decir que a pH alrededor de 7, la afinidad del Cd (II) por los sustratos es mayor que con As(V), además la capacidad de sorción (Q) a concentraciones mayores de Cd (II) 5,500 mg/kg, aumenta significativamente al adicionar cantidades mayores de composta (Cuadro 2).



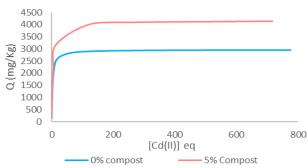


Figura 3. Isotermas de sorción experimentales de Cd (II) en los sustratos 1, 3

Figura 4. Isotermas de sorción ajustados con Langmuir de Cd (II) en los sustratos 1, 3

Cuadro 2. Capacidad de sorción por unidad de sustratos experimental y ajustadas por Langmuir

Muestra	Q Cd (II) Experimental (mg/kg)	K_L (L/mg)	R ²	Q Cd (II) ajustada máxima (mg/kg)
Sustrato 1	4,535	0.37	0.9967	2,959
Sustrato 3	5,115	0.22	0.9962	4,132

CONCLUSIONES

Las isotermas de As(V) ajustadas por los modelos, reflejan la capacidad de retención máxima (148.4 mg/kg, 162.7 mg/kg, 128.4 mg/kg y 117.7 mg/kg respectivamente) y como esta disminuye directamente con el aumento de la cantidad de composta añadida, por lo que esto, en conjunto con la poca retención en la mayoría de los valores de concentración usados de As(V), no se puede considerar como un aditivo-sorbente adecuado para la remediación de suelos contaminados con As(V) en condiciones de pH alrededor de 8.7. En cuanto a la sorción de Cd (II), la capacidad de retención máxima es mayor (2, 959 mg/kg y 4, 132 mg/kg respectivamente), por lo que indica que la presencia de composta en el sustrato mejora significativamente la retención y la capacidad de sorción de Cd (II).

BIBLIOGRAFÍA

Bolan, N., Kunhikrishnan, A., Thangarajan, R., Kumpiene, J., Park, J., Makino, T., Kirkham, M. B., Scheckel, K. (2014). Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils – To mobilize or to immobilize? Journal of Hazardous Materials, 266, 141-166.

Chorom, M., Karkaragh, R. M., Kaviani, B., Kalkhajeh, Y. K. (2013). Monometal and Competitive Adsorption of Cd, Ni, and Zn in Soil Treated with Different Contents of Cow Manure. Applied and Environmental Soil Science, 2013, 1-8.

Lima, J. Z., Da Silva, E. A. B., Patinha, C., Rodrigues, V. G. S. (2022). Sorption and post-sorption performances of Cd, Pb and Zn onto peat, compost, and biochar. Journal of Environmental Management, 321, 115968.

Lima, J. Z., Da Silva, E. a. B., Patinha, C., Durães, N., Vieira, E. M., Rodrigues, V. G. S. (2022). Sorption of arsenic by composts and biochars derived from the organic fraction of municipal solid wastes: Kinetic, isotherm and oral bioaccessibility study. *Environmental Research*, 204, 111988.

Liu, L., Li, W., Song, W., Guo, M. (2018). Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: Principles and applicability. Science of The Total Environment, 633, 206-219.

Park, J. H., Choppala, G., Lee, S. J., Bolan, N., Chung, J. W., Edraki, M. (2013). Comparative sorption of Pb and Cd by biochars and its implication for metal immobilization in soils. Water, Air, & Soil Pollution, 224, 1-12.

Qu, C., Chen, J., Mortimer, M., Wu, Y., Cai, P., Huang, Q. (2022). Humic acids restrict the transformation and the stabilization of Cd by iron (hydr)oxides. Journal of Hazardous Materials, 430, 128365.

Silvetti, M., Garau, G., Demurtas, D., Marceddu, S., Deiana, S. A., Castaldi, P. (2017). Influence of lead in the sorption of arsenate by municipal solid waste composts: metal(loid) retention, desorption and phytotoxicity. *Bioresource Technology*, 225, 90-98.

Vaca-Paulín, R., Esteller, M. V., La Fuente, J. L., Zavaleta-Mancera, H. A. (2006). Effect of sewage sludge or compost on the sorption and distribution of copper and cadmium in soil. Waste Management, 26(1), 71-81.

Wu, J., Zhao, Y., Yu, H., Wei, D., Yang, T., Wei, Z., Lu, Q., Zhang, X. (2019). Effects of aeration rates on the structural changes in humic substance during co-composting of digestates and chicken manure. Science of The Total Environment, 658, 510-520.

Zi-gang L., Chuan-Zhou B., Xiao-lei J. (2006). Characteristic of Cd sorption in the copper tailings wasteland soil by amended dissolved organic matter from fresh manure and manure compost. African Journal of Biotechnology, 6(3), 227-234.

COMPOSTA DE LODO RESIDUAL Y MATERIAL VEGETAL: DESPERDICIO A BENEFICIO DEL SUELO

<u>Juan Pedro Flores Margez</u>^{1*}; Francisco J. Núñez Sanchez²

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, UACJ, Av. Plutarco Elías Calles no. 1210, Foviste Chamizal, 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua, México; ²Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS) de Ciudad Juárez, Chihuahua. *juflores@uacj.mx

RESUMEN

La necesidad de utilizar los lodos residuales provenientes del tratamiento de agua y los residuos orgánicos de podas en parques de Ciudad Juárez, Chihuahua, para la elaboración de compostas que sean útiles en el mejoramiento de los suelos y ahorro del agua fue lo que motivó el presente estudio. Los objetivos fueron instrumentar un programa de composteo, desarrollar capacidades técnicas en campo y laboratorio para la producción y análisis de las compostas, así como promover su aplicación en parques y jardines. Se evaluaron proporciones de lodo: vegetal, 1:1, 1:2 y 1:3, en pilas de compostaje de diferentes tamaños, con manejo de riegos y aireación por semana, se monitoreó la temperatura, humedad y oxigeno durante un periodo de 11 meses. La calidad de las compostas fue registrada al evaluar características físicas, químicas y microbiólogas indicadas por las Normas Mexicanas en materia de compostas y suelos. La Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS) destinó una inversión económica importante para adquirir maquinaria útil en triturar material vegetal, aplicar, mezclar y transportar las compostas. Se obtuvieron más de 200 metros cúbicos de compostas que resultaron aptas para su aplicación en áreas urbanas con o sin contacto público durante su manejo, se hicieron aplicaciones en parques durante la plantación de árboles para mejorar el contenido de materia orgánica de los suelos y se promovió la difusión del proyecto. Se logró el entrenamiento de estudiantes, analistas y trabajadores de campo que se capacitaron en el proceso de compostaje para su seguimiento conforme la JMAS y el Municipio de Juárez sigan mejorando su coordinación en bien de la salud ambiental de la región.

PALABRAS CLAVE: Aeróbico; Carbono orgánico; Temperatura de compostaje; Relación carbono-nitrógeno.

INTRODUCCIÓN

El Programa Frontera 2020 de los Estados Unidos de Norteamérica en su meta 3 estableció "promover la gestión integral de materiales y residuos y la limpieza de sitios" (BDAN, 2020). Dentro del tema de residuos, se centró en la problemática que se tiene actualmente con los lodos residuales o biosólidos provenientes del tratamiento de agua negra o residual en Ciudad Juárez, Chihuahua. Estos productos son generados mediante digestión anaeróbica y resultan con 70% de humedad al momento de su traslado al lecho de secado, el cual se localiza en el km 30 de la carretera Juárez-Chihuahua, cercano al relleno sanitario municipal. Aunque se producen en promedio 69,350 metros cúbicos por año, se han estado apilando durante varios años, por lo que se estima un volumen de 150,000 metros cúbicos aproximadamente. Algo relevante a destacar es que estos

materiales cumplen con la legislación mexicana de la Norma SEMARNAT (2002), la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamientos y disposición final. Esta norma es congruente a lo establecido por la legislación de la agencia ambiental de los Estados Unidos sobre los biosólidos (EPA, 2002). Aunado a lo anterior, otro problema ha sido la escasa utilización de materiales orgánicos provenientes de la poda de jardines, árboles, hojas recolectadas en invierno, entre otros, que se generan en la ciudad y son enviados al relleno sanitario junto con los desperdicios domésticos, de acuerdo con la dirección de parques y jardines se estima que se generan seis toneladas diarias de materiales orgánicos.

De acuerdo con la Norma NOM-NMX-AA-180-SCFI-2018, esta fracción orgánica tiene un aprovechamiento muy importante ya que después de su descomposición mediante la presencia de microorganismos en sistema aerobio se reduce el peso y volumen de la materia orgánica, lo cual deriva en distintos productos como abonos, compostas, fertilizantes que enriquecen los suelos degradados o erosionados y representan una opción útil en la conservación de áreas verdes públicas, bosques y actividades de jardinería y agricultura. Ambos residuos, los lodos y material de podas de jardines y árboles, representan un enorme potencial para la elaboración de compostas. Los estudios donde se han combinado residuos de madera tratada y sin tratar con los biosólidos han resultado en compostas apropiadas mediante sistemas de pilas aireadas estáticas (Kamal *et al.*, 2017).

En general, el proceso y ventajas del composteo han sido ampliamente documentados a nivel mundial por la FAO, esto mediante manuales que describen los fundamentos teóricos y prácticos del compostaje, así como los productos y experiencias en América Latina (Román *et al.*, 2013). El compostaje es un proceso natural ampliamente aceptado que consiste en estabilizar completamente los residuos orgánicos, de tal forma que pueden usarse en una gama amplia desde mejorar paisajes urbanos, en actividades de recuperación de suelos y en áreas productivas agrícolas, reportados en varios estudios (Mahon *et al.*, 2020; Kamal *et al.*, 2017; Coutiño *et al.*, 2013; Ucaroglu y Alkan, 2016; Acosta *et al.*, 2012). El presente estudio tuvo como objetivos: i) instrumentar un programa sustentable para la utilización de estos residuos como fertilizante orgánico y mejorador de suelos, mediante la activación de un proceso de compostaje; ii) desarrollar capacidades técnicas y operativas del personal que participará en el programa de composteo de biosólidos, y iii) promover la aplicación de compostas de biosólidos en mejoras de los suelos de parques y jardines urbanos y rurales, así como en suelos agrícolas productivos.

MATERIALES Y METODOS

El área de disposición de lodos residuales o biosólidos es un lecho de secado en Ciudad Juárez, Chihuahua, localizado a 31° 33′ 11.6″ de Latitud Norte y a los 106° 28′ 44.5″ de Longitud Oeste, a una altitud promedio de 1,232 metros sobre el nivel medio del mar, junto al relleno sanitario municipal. Este sitio fue utilizado para las actividades de elaboración de la composta del presente estudio, para lo cual se asignó un área especial de 5,000 m² para establecer las pilas de tratamientos del composteo. Este sitio se localizó a una distancia de 23 km de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Sur

localizada en Zaragoza donde se generan los biosólidos, los cuales cumplen con los lineamientos de la Norma que legisla el uso de biosólidos (NOM-004-SEMARNAT-2002). La iniciación de las primeras pilas de composteo fue en un suelo junto a las bodegas de maquinaria y hasta los tres meses se pasó al área cementada. Los materiales complementarios para el composteo fueron residuos de podas (trozos de tallos, podas de pasto, ramas y hojas) aportadas por la dirección de parques y jardines de la ciudad en su área de transferencia localizada en el parque el Chamizal. Se evaluaron relaciones lodo: vegetal 1:1, 1:2 y 1:3, con lodos nuevos (<1 mes), medios (3 a 6 meses) y viejos (>un año).

Durante el proceso de compostaje se estuvieron colectando muestras compuestas de material vegetal y lodos residuales para el análisis fisicoquímico y microbiológico. El método de muestreo utilizado en los lodos de cada pila fue tipo cuarteo, el cual consistió en colectar 10 submuestras con una pala de acero inoxidable (desinfectada con alcohol), luego se juntaron las submuestras, se mezclaron hasta homogeneizarse muy bien utilizando guantes desinfectados, luego se dividió el montículo de muestra en cuatro partes, donde dos partes de extremo se eliminaron y las otras dos se juntaron y se siguieron mezclando, así se repitió el proceso de cuarteo hasta reducir el volumen a 0.5 kg. La muestra se secó a la sombra en un invernadero de ICB-UACJ, se molió y tamizó con un equipo de molienda que incluyó una criba 2 mm. Las pilas de compostaje fueron irrigadas y aireadas mediante volteos a diferentes intervalos de tiempo, una a dos veces por semana según el contenido de humedad, clima y maduración de la composta. A lo largo del proceso se registró la temperatura y humedad de cada pila de composta, así como el pH, la conductividad eléctrica, nitrógeno total y carbono orgánico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La proporción lodo-vegetal 1:2 resulto la más efectiva en compostaje con lodo medio a viejo y adecuado manejo de los materiales vegetales, así mediante esta relación lodotrozos madera-aserrín-pasto se formaron las pilas de compostaje. El volumen inicial de las pilas varió entre 15 y 40 m³, así se produjeron en total 248 m³ de composta, lo cual indica que se duplicó la meta del proyecto. Las temperaturas registradas en las pilas durante el proceso de compostaje fueron mayores a 50 °C, lo cual es indicativo de la actividad microbiana en su fase termofílica del proceso de compostaje y aunque podrían seguir aumentando, lo ideal fue que llegaron a 65 °C para completar el proceso, lo cual es acorde a lo indicado por Acosta et al. (2012) y Kamal et al. (2017). Con respecto a humedad de las compostas, se detectó gran variabilidad, al utilizar tensiómetros de 30 donde las tensiones de humedad fueron desde 0 a 70 kPa que equivalen de 99% a 5% de humedad, respectivamente. Esto indica que en promedio las pilas estuvieron en el rango óptimo de humedad para compostaje que es entre 45 y 60% (20 a 10 kPa). El contenido de oxígeno fue también monitoreado en las pilas, este fue entre 10.5 y 18% de oxígeno, aunque 10% es considerado óptimo (Román et al., 2012), en este caso las pilas tienen alto o en exceso de oxígeno lo que provoca un descenso de la temperatura (se observaron de 31 a 42 °C) y evaporación del agua, haciendo que el proceso de descomposición se detenga un poco. En general, el contenido de oxígeno estuvo desde 0.7% a 20%, cuando esta fue muy bajas en oxígeno (< 5%) y por consiguiente alta presencia de dióxido de carbono como resultado

de la actividad metabólica y respiración microbiana, lo cual fue buen indicativo del efecto del compostaje, dado que este proceso es variable, pues cada semana se mezclaban las pilas para airearse y regarse, se expandían las pilas y luego se juntaban de nuevo con el minicargador y así se siguió el manejo por semana hasta lograr una composta madura. En el Cuadro 1 se muestran que el promedio de carbono fue 29±1.94%, mientras que la relación carbono/nitrógeno (C: N) de 13:1, lo cual es esperado para este tipo de compostas. Al inicio cuando se combinan los materiales vegetales con los lodos residuales que tienen una relación C: N entre 6:1 y 8:1, entonces las pilas utilizadas al inicio del composteo tuvieron relaciones C: N entre 16:1 y 32:1, lo cual está en el rango ideal para el proceso de composteo. Al considerar que se utilizaron relaciones lodo/vegetal variables entonces las proporciones de C: N también cambian en ese rango de 9 y 16:1 dependiendo de las combinaciones para la composta madura.

Cuadro 1. Contenido de cenizas, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total y relación carbono/nitrógeno de las compostas, datos con base en peso seco.

			Materia	Carbono	N Total	
	Humedad (%)	Cenizas	Orgánica	Orgánico	Kjeldahl	Relación
Muestra	x 100	%/g muestra	%/g muestra	%/g muestra	%	C/N
Pila 2	0.041	62.867	37.133	21.539	1.342	16.045
Pila 3	0.051	52.627	47.373	27.479	2.649	10.375
Pila 4	0.069	43.018	56.982	33.052	2.555	12.936
Pila 5	0.053	36.603	63.397	36.773	2.510	14.652
Pila 6	0.023	49.454	50.546	29.319	2.116	13.858
Pila 7	0.029	50.878	49.122	28.493	2.222	12.823
Pila 8	0.052	50.141	49.859	28.921	2.140	13.517
Pila 9	0.025	52.969	47.031	27.280	2.075	13.150
Pila10	0.027	49.117	50.883	29.514	2.380	12.403
Pila 11	0.044	60.468	39.532	22.931	2.232	10.275
Pila 12	0.042	41.861	58.139	33.723	3.704	9.106
mínimo	0.023	36.603	37.133	21.539	1.342	9.106
máximo	0.069	62.867	63.397	36.773	3.704	16.045
Promedio	0.041	50.000	50.000	29.002	2.357	12.649
Varianza	0.000	58.721	58.721	19.757	0.321	4.155
Error estándar	0.004	2.310	2.310	1.340	0.171	0.615

CONCLUSIONES

El estudio demostró la factibilidad de producir composta con lodos residuales y materiales vegetales, pues se logró establecer un programa específico para el composteo

del tipo de biosólidos producidos en Ciudad Juárez, el cual incluya la afinación de las técnicas de producción de composta, los procedimientos de campo, manejo de maquinaria y entrenamiento de personal. Al personal técnico de la Junta Municipal de Aguas y Saneamiento se desarrollaron las capacidades para continuar el programa de composteo sustentable y se logró una producción de 200 toneladas de composta apropiada para su utilización en parques y jardines, lo cual duplicó la meta del proyecto. Finalmente, se hizo la aplicación de composta en algunas áreas recreacionales de la ciudad promoviendo la forestación en la ciudad, la reducción de consumo de agua para riego y el mejoramiento de los suelos.

AGRADECIMIENTOS

A la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Ciudad Juárez, laboratorio de análisis de agua: MC Zulema Poncio Acosta, Dr. Sergio Calderón, Carlos García y Nancy Romero. A todos los trabajadores de campo, a los estudiantes que realizaron tesis de licenciatura en química y biología. Al Banco de Desarrollo de América del Norte (BDAN) por el financiamiento del proyecto de compostaje de lodos residuales.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, Y., Zarraga, A., Rodríguez, L., El Zauahre, M. (2012). Cambio en las propiedades fisicoquímicas en el proceso de compostaje de lodos residuales. Multiciencias, 12:18-24.

BDAN (Banco de Desarrollo de America del Norte). (2020). Consultado el 15 de octubre de 2023 en: https://www.nadb.org/es/nuestro-impacto/region/mexico

Coutiño, R.V., Wrobel, K., Wrobel, K., Navarro, R., Dodinez, L.A., Teutli-Leon, M., Rodriguez, F. (2013). Evaluation of the composting process in digested sewage sludge from a municipal wastewater treatment plant in the city of San Miguel de Allende, Central Mexico. Rev. Int. Contam. Ambie. 29(3):89-97.

EPA (Environmental Protection Agency). (2002). Land application of biosolids. Chapter 2, A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule. 56 p.

Kamal, A., K. Wichuk, D. McCartney, K. Londry, Felske, C. (2017). Effect of treated wood on biosolids composting. Compost Science & Utilization. 25(3):178-193.

Mahon, R., Gomez-Silvan, C., Andersen, G.L., Calvo, C., Aranda, E. (2020). Assessment of bacterial and fungal communities in a full-scale thermophilic sewage sludge composting pile under a semipermeable cover. Bioresource Technology. 298:12250.

NOM-NMX-AA-180-SCFI-2018. (2018). Norma oficial mexicana que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales. Secretaria de Economía, Gobierno de México, 52 p.

Román, P., Martínez, M., Pantoja, A. (2013). Manual del Compostaje del Agricultor. Experiencias en América Latina. FAO. Santiago de Chile. 106 p.

SEMARNAT (2002). Nom-004-Semarnat-2002: norma oficial mexicana, protección ambiental. - lodos y Biosólidos.-especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. SEMARNAT. Norma oficial Mexicana.

Vera-Reza, A. M., Sánchez-Salinas, E., Ortiz-Hernández, M. L., Peña-Camacho, J. L., & Ortega-Silva, M. M. (2017). Estabilización de lodos residuales municipales por medio de la técnica de lombricompostaje. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, 1, 1–11.

Ucaroglu, S., and U. Alkan. (2016). Composting of wastewater treatments sludge with different bulking agents. Journal of the air & waste management association. 66(3):288-295.

CONFIGURACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO DE *Prosopis laevigata* (mezquite) EN UN MOSAICO DE matorral xerófilo del Valle del Mezquital, Hidalgo

Arcadio Monroy-Ata^{1*}; Juan Carlos Peña Becerril¹; Iván Fernando Valdés Vásquez¹

¹Unidad de Investigación en Ecología Vegetal, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Guelatao # 66, Col. Ejército de Oriente, Ciudad de México, 09230, México. *arcadiom@unam.mx

RESUMEN

El objetivo fue determinar la configuración espacial de un mosaico vegetal dominado por mezquites (*Prosopis laevigata*) y las distancias entre el árbol más antiguo a individuos más cercanos de la misma especie. El estudio se realizó en mezquites de un matorral xerófilo con escasa perturbación, localizado en el municipio de Tezontepec de Aldama, Hidalgo, dentro del Valle del Mezquital. Se identificó al árbol más antiguo según su diámetro de tronco y cobertura, así como la distancia y ubicación de los vecinos de la misma especie; a dichos vecinos también se evaluó el diámetro del tronco y su cobertura. Adicional a esto se determinó las morfoespecies de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) en muestras de suelo bajo la cobertura de los mezquites. La configuración del mosaico muestra un poliedro irregular con un vértice en el lado Sur, donde se ubica el árbol más longevo; el segundo árbol con mayor antigüedad se estableció a los 13.5 m y otro mezquite se desarrolló a los 15.9 m, formando un ángulo de 30°. Se registraron tres morfoespecies de HMA comunes en las cuatro plantas vecinas, de las 6 especies de HMA ubicadas en el árbol más longevo. Debido a que los cinco mezquites comparten tres especies de hongos micorrízicos arbusculares, es probable que el mezquite más longevo sea el inductor del establecimiento vegetal de sus vecinos de la misma especie, vía la red hifal. Esto permite comprender los mecanismos de conformación de un mosaico vegetal y la importancia del árbol más longevo como nodo inductor del establecimiento de plantas leñosas vecinas, lo cual puede facilitar el desarrollo de programas de restauración ecológica en zonas semiáridas deterioradas.

PALABRAS CLAVE: Hongos micorrizógenos arbusculares; Mosaico vegetal; Red hifal; Zonas semiáridas.

INTRODUCCIÓN

En un ecosistema de bosque templado se encontró que el árbol más longevo influye en la conformación del mosaico vegetal de su vecindario vía la red hifal de hongos micorrízicos (Simard, 2009; Simard *et al.*, 2012). Asimismo, en un matorral xerófilo del Valle del Mezquital, Hidalgo, se encontró que el árbol de mezquite más antiguo, por diámetro de tronco y cobertura, posiblemente indujo el establecimiento de cuatro árboles de mezquite de su vecindario, ya que se encontraron tres especies de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en las plantas vecinas, de las seis especies de HMA registradas en el árbol más longevo (Monroy-Ata *et al.*, 2016). Sin embargo, no se ha reportado una configuración espacial del mosaico vegetal y las distancias entre árboles, lo cual permitiría tener modelos de ensambles que serían útiles en programas de rehabilitación de la

vegetación donde el mezquite es dominante, particularmente en el Centro de México. Lo anterior debido a que el establecimiento de comunidades vegetales en sitios deteriorados de zonas semiáridas constituye una estrategia para almacenar carbono en el suelo y mitigar el calentamiento de la atmósfera (Monroy y Valdés, 2023). Asimismo, es importante que el establecimiento de plantas leñosas con fines de rehabilitación de la vegetación se realice induciendo la simbiosis con hongos micorrizógenos arbusculares nativos del sitio, debido a que una comunidad madura es el resultado de un proceso sucesional, en el que en cada etapa seral cambia gradualmente la dominancia de la vegetación y de los hongos micorrizógenos asociados, como se ha descrito en matorrales xerófilos (Flores y Monroy, 2022). No obstante, no se tienen datos de distancias entre los árboles dominantes de un mosaico vegetal maduro, lo cual facilitaría estrategias de establecimiento de plantas leñosas en programas de rehabilitación de suelo y vegetación en ambientes semiáridos. Por ello, se tuvo como objetivo determinar la configuración de las distancias entre un árbol longevo de mezquite (Prosopis laevigata) y sus vecinos de la misma especie, considerando la edad de establecimiento de los mezquites y las morfoespecies de HMA asociadas. La pregunta para responder fue: ¿Cuál es la configuración espacial de un conjunto de árboles de mezquite establecidos en un matorral xerófilo maduro?

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un matorral xerófilo con escasa perturbación, ubicado en el municipio de Tezontepec de Aldama, dentro del Valle del Mezquital, en estado de Hidalgo. La especie analizada fue el mezquite, que es dominante en el Centro de México, Prosopis laevigata (Humb. et Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst., Fabaceae. Las coordenadas del árbol de mezquite más longevo, tomado como referencia, son: 20°12'6.12" latitud Norte y 99°16′52.26" longitud Oeste, a una altitud de 2100 m snm. Se registró indirectamente la edad de establecimiento de un conjunto de cinco mezquites con base en el diámetro del tronco a 1.3 m del suelo y mediante la cobertura vegetal. Posteriormente se trazó un croquis con las distancias entre árboles para caracterizar la configuración del conjunto de árboles de la misma especie. También, se determinaron las morfoespecies de HMA presentes bajo la cobertura de los mezquites con la técnica de tamizado y decantación (modificada de Gerdemann y Nicolson, 1963) y centrifugación con gradiente de sacarosa (modificada de Brundrett et al., 1996). La determinación taxonómica a morfoespecie se realizó con base en las características de las paredes celulares de las esporas y la comparación con preparaciones previas de HMA resultado del trabajo de García-Sánchez et al. (2008) en la misma zona. Así, se determinó la riqueza y abundancia de especies como un conteo de las diferentes especies de HMA detectadas en cada árbol de mezquite.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se muestran los resultados de los datos biométricos de cinco mezquites desde el más longevo, por diámetro de tronco y cobertura, hasta el más juvenil. Los resultados muestran que el segundo árbol con mayor antigüedad se estableció a los 13.5 m y el tercer mezquite se desarrolló a los 15.9 m, desde el árbol más longevo, formando un ángulo de 30°. La secuencia de conexiones de los dos mezquites restantes seguramente

siguió la distancia más corta con el árbol más cercano. La configuración de la ubicación de los mezquites muestra un poliedro irregular con un vértice en el lado Sur, donde se localiza el árbol más longevo (Figura1). Esta configuración se presentó en un hábitat con topografía plana, lo cual es relevante, ya que los mezquitales prosperan en suelos semiáridos de valles o en sitios con poca elevación, debido a que es una planta freatofita, con raíces de 50 m de profundidad (Hernández, 2006).

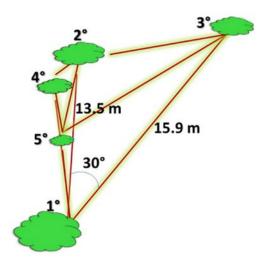


Figura 1. Configuración de distancias en un conjunto de cinco mezquites, numerados desde el más longevo (1°) al más juvenil (5°) y que comparten tres morfoespecies de hongos micorrizógenos arbusculares en un matorral xerófilo en Tezontepec de Aldama, Hidalgo.

Las morfoespecies de hongos micorrizógenos arbusculares comunes en los cinco mezquites son: *Sclerocystis sinuosa, Glomus* sp. 1 y *Glomus* sp. 2 (Monroy-Ata *et al.,* 2016).

Cuadro 1. Caracterización de mezquites que conforman un mosaico vegetal en el vecindario del árbol más longevo y numerados en orden decreciente de edad.

Número de mezquite	Altura (m)	Diámetro del tronco a 1.3 m del suelo	Cobertura (m ²)	Distancia del mezquite 1 (m)
1	4.8	20	59.2	0
2	3.2	10	24.6	13.5
3	2.1	6	15.1	15.9
4	2.6	7	11.9	10.7
5	1.7	3	3.5	7.4

Fuente: Monroy-Ata et al. (2016).

La estructura de la comunidad vegetal refleja la dinámica del agua debido a los pulsos de precipitación y la distribución espacio-temporal del potencial hídrico del suelo; así, en los ecosistemas secos los mosaicos vegetales crecen impulsados por los flujos de evapotranspiración y las redes hifales de HMA se distribuyen de acuerdo con la disponibilidad de agua del suelo, porque la accesibilidad a los nutrientes está limitada por la escasez de agua (Aguiar y Sala 1999; Martínez-García *et al.*, 2011).

Por la configuración en la distribución de mezquites en este trabajo se recomienda que, en trabajos de rehabilitación ecológica de ambientes degradados, las plantaciones de mezquite deberían de encontrarse a una distancia de al menos 30 metros entre plantas, para así limitar la competencia por agua y nutrientes de suelo, favorecer el restablecimiento de la malla hifal (Simard, 2009) y así como el de la sucesión ecológica de estos ambientes (Flores y Monroy, 2022).

Es de recalcar que el mezquite tiene importancia ecológica debido a que es un árbol o arbusto que bajo su cobertura forma un "microcosmos" (Bernal-Ramírez *et al.*, 2019), "islas de recursos" (Camargo-Ricalde y Dhillion, 2003) o "islas de fertilidad" (Olalde-Portugal *et al.*, 2000). A este tipo de comunidad vegetal se le ha denominado mezquital (González Medrano, 2003).

CONCLUSIONES

Los mezquites analizados comparten tres morfoespecies de hongos micorrizógenos arbusculares, de las 6 morfoespecies encontradas en el árbol más longevo del conjunto vegetal, lo que probablemente muestra una relación vía la red hifal. Esto conduce a una configuración espacial de los mezquites, que permite comprender los mecanismos de conformación de un mosaico vegetal y la importancia del árbol más longevo como nodo inductor del establecimiento de plantas leñosas vecinas de la misma especie, lo cual puede facilitar el desarrollo de modelos de establecimiento de plantas leñosas en programas de rehabilitación ecológica de la vegetación y del suelo en zonas semiáridas deterioradas. Finalmente, en programas de rehabilitación de la vegetación tipo mezquital, se recomienda trasplantar árboles de mezquite a una distancia mínima de 30 m entre éstos, inoculados con hongos micorrízicos nativos del sitio.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento de la DGAPA, UNAM, para este estudio mediante el Proyecto PAPIIT IN218121.

BIBLIOGRAFÍA

Aguiar, M.R., Sala, O.E. (1999). Patch structure, dynamics, and implications for the functioning of arid ecosystems. Trends in Ecology & Evolution. 14: 273–277.

Bernal-Ramírez, L.A., Zavala-Hurtado, J.A., Jiménez, M., Cano-Santana, Z., Fornoni, J. (2019). Los microcosmos de Prosopis laevigata albergan una alta diversidad florística en el Valle de Zapotitlán, Puebla. Revista Mexicana de Biodiversidad, 90, 1-14, e902662.

Brundrett, M.N., Bougher, B.D., Grove, T., Malajczuk, N. (1996). Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. ACIAR Monograph 32. Canberra.

Camargo-Ricalde, S.L., Dhillion, S.S. (2003). Endemic Mimosa species can serve as mycorrhizal "resource islands" within semiarid communities of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. Mycorrhiza, 13: 129-136.

Flores-Estrada, Y.M., Monroy-Ata, A. (2022). Sucesión ecológica en un matorral xerófilo: una hipótesis explicative. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas. 25: 1-6.

García-Sánchez, R., Monroy-Ata, A., Chimal-Sánchez, E. (2008). Hongos micorrizógenos arbusculares asociados a diferentes plantas y matorrales del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. En: Montaño N.M., S.L. Camargo-Ricalde, R. García-Sánchez y A. Monroy-Ata (Eds.) Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos. Mundi Prensa, México, pp. 123–136.

Gerdemann, J.W., Nicolson, T.H. (1963). Spores of mycorrhizal Endogene species extracted from soil by wet sieving and decanting. Transactions of the British Mycological Society. 46: 234–244.

González Medrano, F. (2003). Las comunidades vegetales de México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. Ciudad de México, México. 77 pp.

Hernández, H.M. (2006). La vida en los desiertos mexicanos. Fondo de Cultura Económica. Colección La Ciencia para Todos No. 213. Ciudad de México, México, 188 pp.

Martínez-García, L.B., Armas, C., de Miranda, J.D., Padilla, F.M., Pugnaire, F.I. (2011). Shrubs influence arbuscular mycorrhizal fungi communities in a semi-arid environment. Soil Biology & Biochemistry. 43: 682–689.

Monroy Ata, A., Valdés Vásquez, I.F. (2023). El cambio climático y su impacto en la vegetación mexicana: ¿qué podemos hacer? Revista Digital Universitaria. 24(2): 1-7.

Monroy-Ata, A., Peña-Becerril, J.C., García-Díaz, M. (2016). Mycorrhizal symbiosis organization of dominant tree *Prosopis laevigata* (Mesquite) in a xeric shrub of Central Mexico. Chapter 4. En: "Recent Advances on Mycorrhizal Fungi". M. Pagano (ed.). Springer International Publishing Switzerland, pp: 35-45.

Olalde-Portugal, V., Frías-Hernández, J.T., Aguilar-Ledezma, A.L., Pescador, N., Aguilera-Gómez, L.I. (2000). Caracterización microbiológica de suelos de islas de fertilidad de mezquite [*Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Wild.) M.C. Johnst.] en ambientes semiáridos. En: El mezquite árbol de usos múltiples. Estado actual del conocimiento en México. Universidad de Guanajuato y UAM-Iztapalapa, pp: 95-107.

Simard, S.W. (2009). The foundational role of mycorrhizal networks in self-organization of interior Douglafir forest. Forest Ecology Management. 258S: S95-S107.

Simard, S.W., Beiler, K.J., Bingham, M.A., Deslippe, J.R., Philip, L. J., Teste, F.P. (2012). Mycorrhizal networks: Mechanisms, ecology, and modelling. Fungal Biology Reviews.

DIAGNÓSTICO DOMICILIARIO DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN EL SUELO Y POLVO URBANO EN VALLADOLID, YUCATÁN, MÉXICO

Lucia Reyes 1,2, Ángeles Gallegos1, Anahí Aguilera1, Joaquín Aguilar3, Francisco Bautista1*

¹ Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental "CIGA". Antigua carretera a Pátzcuaro 8701, ex hacienda San José de la Huerta, Morelia, Michoacán. CP. 58190; ²Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia ENES, Universidad Nacional Autónoma de México UNAM. *leptosol@ciga.unam.mx; ³Universidad de Oriente, Valladolid, Yucatán.

RESUMEN

Debido a la pandemia por COVID-19 en la ciudad de Valladolid, Yucatán, la movilidad del turismo nacional e internacional y de la población local se redujo considerablemente por lo que facilitó medir la contaminación basal del polvo urbano. El presente trabajo se centró en la evaluación de la contaminación por metales pesados en la ciudad de Valladolid en condiciones de muy baja movilidad, tanto en el suelo urbano como en el polvo al interior de los hogares. En este proyecto la integración de la ciencia ciudadana fue de vital importancia para recabar las 159 muestras del polvo urbano de los hogares de 25 participantes en la ciudad. De acuerdo con los resultados obtenidos se encontró que en el interior de las casas se presentan mayores concentraciones de cobre (Cu), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn), en comparación con las zonas exteriores, lo que representa un riesgo para la salud pública, debido a que estos metales pesados son potencialmente tóxicos.

PALABRAS CLAVE: Metales pesados; Polvo urbano; Contaminación; Polvo doméstico.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo urbano por metales pesados se ha vuelto un problema de salud, según la Organización Mundial de la Salud cada año mueren 8 millones de persona por la contaminación ambiental. Los suelos urbanos son los receptores de la contaminación que se emite a la atmosfera mediante el polvo urbano o polvo de las calles, el polvo urbano contiene contaminantes orgánicos e inorgánicos, entre los que destacan los metales pesados (MP). Estos MP pueden ser inhalados o ingeridos por los humanos y por su elevada toxicidad, pueden ser causantes de distintas enfermedades desde; vómitos, calambres abdominales, diarrea, dificultades para respirar, presión sanguínea alta o baja, debilidad muscular, daño a algunos órganos, parálisis, cáncer y en el peor de los casos la muerte (Martin *et al.*, 2009). Debe evitarse la exposición prolongada, la bioacumulación y la persistencia en el ambiente (Reyes *et al.*, 2016).

La tabla periódica incluye 70 elementos metálicos de los cuales 59 son considerados "metales pesados" propios de la naturaleza, de un brillo peculiar, de peso molecular muy alto, mayor que el del hierro (Fe) y potencialmente tóxicos (Huertos *et al.*, 2008) tales como el Zinc (Zn), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Mercurio (Hg), Arsénico (As) y Cromo (Cr).

Los metales pesados están presentes en el agua, suelo y aire y éstos no pueden ser degradados mediante ningún proceso natural ni antropogénico, una vez entrando al ecosistema específicamente al suelo urbano, se distribuyen por contacto o ingesta y a través del aire por medio de procesos mayormente antropogénicos provenientes de fuentes móviles o estacionarias (plantas industriales, procesos agrícolas, generación de energía, residuos domésticos, tráfico vehicular, entre otras) en forma de contaminante particulado (partículas menores a 10 µm) (Santoyo-Martínez *et al.*, 2022).

Por otro lado, la ciudad de Valladolid en el estado de Yucatán es considerada como "pueblo mágico" debido a su riqueza natural y arquitectónica, se localiza cerca de Chichén Itzá y Quintana Roo destinos turísticos de gran importancia (Aguilar *et al.*, 2021). Durante la pandemia COVID-19 la movilidad de turistas nacionales y extranjeros fue prácticamente inexistente y se redujo al mínimo la movilidad local, situación ideal para medir la contaminación basal, mínima en un caso extremo de no industria y no tráfico vehicular reducido al mínimo posible.

El objetivo de este trabajo fue la evaluación de la contaminación por metales pesados en la ciudad de Valladolid en condiciones de muy baja movilidad, tanto en el suelo urbano como en el polvo al interior de los hogares.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

Valladolid es un municipio localizado en el estado de Yucatán México al sureste del país entre los paralelos 20°24′ y 20°54′ de latitud norte; los meridianos 87°57′ y 88°21′ de longitud oeste y a una altitud entre 7 y 10 m. Ocupa el 2.70% de la superficie del estado con una extensión superficial de 945.22 km². Cuenta con 430 localidades (INEGI, 2010) y una población total de 85,460 habitantes según el Censo de Población y Vivienda 2020. Las zonas urbanas están desarrollándose sobre rocas sedimentarias del Neógeno, en llanura; sobre área donde originalmente había suelos denominados Leptosol y Luvisol y terreno previamente ocupado por selva y pastizal; tienen clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (INEGI, 2010).

Toma de muestras

La toma de muestras fue realizada por 25 participantes habitantes de Valladolid interesados en formar parte del proyecto como parte de la ciencia ciudadana. Se realizaron semanalmente durante el mes de mayo de 2020 en la pandemia por COVID-19. Las muestras de polvo se efectuaron barriendo 1m² de la superficie de la acera exterior de su hogar con utensilios de plástico separando los residuos grandes del polvo, y barriendo todo el interior de este para así obtener una muestra exterior y una interior. Un total de 25 sitios, con dos tipos de muestras (interior y exterior), con cuatro repeticiones (cuatro semanas), y tres mediciones por análisis, un total de 477 análisis de 159 muestras de suelos y polvos. Posteriormente el polvo fue empacado en bolsas de plástico de aproximadamente 0.5 kg, etiquetado y georreferenciado por medio de la App de suelos y se guardaron por dos semanas en un lugar fresco y seco.

App de suelos y polvos

Se desarrolló una aplicación para teléfonos inteligentes donde se capturó la información del muestreo ciudadano, contiene bloques de información del participante, del hogar y del exterior y de las características de las muestras del polvo urbano.

Análisis geoquímico

Las muestras de polvo colectadas fueron tamizadas con un tamiz de malla del #30 y posterior a uno más fino del #60. El polvo resultante del tamiz del #60 fue almacenado y etiquetado en una bolsa diferente para después ser analizado. Un total de 3g de cada muestra de polvo fue colocado en un recipiente de teflón y después cubierto con una capa de película Mylar de 3.6 µm de espesor. Las muestras preparadas para el análisis fueron situadas en un espectrómetro portátil Genius 7000 XRF de Skyray Instruments en el que se hicieron tres repeticiones en un tiempo de 60s cada una para poder determinar las concentraciones de los metales pesados presentes en dicha muestra (Mn, Ni, Cu, Pb, Rb, Sr, Y, Zn).

Análisis de datos

Las concentraciones de metales pesados se analizaron secuencialmente de la siguiente manera: estadística descriptiva y análisis de varianza teniendo como factores el lugar de muestreo, dentro y fuera de los hogares. Se calcularon los índices de contaminación para cada elemento y el de índice de carga contaminante que incluye todos los metales pesados. Posteriormente se calcularon los índices de riesgo a la salud siguiendo la metodología de la EPA.

Se realizaron graficas de pastel que se colocaron dentro del mapa de la ciudad para hacer evidentes las diferencias entre sitios de muestreo. Los mapas se realizaron con el software ArcGIS 9.0 (ESRI, 2012). Utilizamos la proyección UTM, el elipsoide de referencia horizontal y el Sistema Geodésico Mundial 84.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron bajos coeficientes de variación en Sr e Y. Cuando el coeficiente de variación es alto se puede inferir que existen caso de contaminación antrópica, por lo que es posible que las concentraciones de Sr e Y se encuentren relacionadas a los minerales de las rocas y suelos de la zona, es decir, que no provengan de la contaminación antrópica (Aguilera *et al.*, 2021a). Esta inferencia se sustenta también en la distribución gaussiana que presentan ambos metales, por su baja asimetría y curtosis; así como en la semejanza ente los valores promedio y la mediana (Cuadro 1).

Los metales Cu, Ni y Zn presentan valores muy diferentes entre la media y la mediana, altos coeficientes de variación y distribución no gaussiana por lo que se identifican como metales pesados provenientes de la contaminación ambiental.

Cuadro 1. Concentraciones los análisis del polvo urbano de Valladolid, Yucatán dentro y fuera de los
hogares.

Parámetro	Sitio	Media	Mediana	Min	Max	CV	Curtosis	Asimetría	n
Mn	Exterior	316.42	253.72	117.47	1177.97	76.22	6.82	1.87	25
	Interior	330.17	333.37	106.77	698.95	42.94	0.59	0.57	25
> T*	Exterior	45.84	28.53	16.39	181.83	87.38	6.03	2.01	25
Ni	Interior	104.48	44.84	18.75	810.73	174.37	11.52	3.31	25
Cu	Exterior	114.63	29.71	8.18	961.52	203.78	8.90	2.18	25
Cu	Interior	99.26	52.45	11.45	585.47	124.16	12.11	3.24	25
7	Exterior	379.56	257.66	46.78	1182.73	82.45	0.88	1.69	25
Zn	Interior	937.17	732.97	62.78	2665.35	77.39	-0.14	0.85	25
Dla	Exterior	22.41	15.21	8.45	115.06	102.76	12.42	2.17	25
Rb	Interior	22.75	21.79	10.98	43.45	37.22	0.05	0.66	25
Sr	Exterior	298.48	296.70	183.00	432.58	22.13	-0.25	-0.71	25
Sr	Interior	270.06	264.44	184.44	352.86	17.03	-0.43	-0.02	25
Y	Exterior	24.03	23.72	12.88	31.64	22.07	-0.48	-0.90	25
Y	Interior	23.42	22.72	18.24	30.23	15.56	-0.79	0.53	25
Pb	Exterior	25.39	20.31	15.37	67.33	52.82	6.03	1.73	25
	Interior	44.97	27.73	12.76	154.82	86.25	2.88	1.86	25

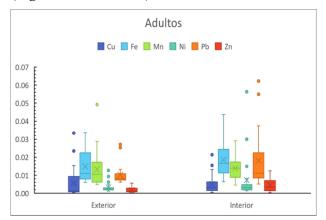
El Mn, Rb y Pb presentaron patrones diferentes de tipo intermedio, altos coeficientes de variación, distribuciones no gaussianas al exterior, pero si al interior, pero sus valores de la media y la mediana no son muy diferentes.

En metales pesados como Rb, Sr e Y no se encontraron diferencias significativas entre las muestras de suelos y polvos urbanos, por lo que tal vez provengan de las rocas y suelos de la región (Aguilera *et al.*, 2021b).

Otros metales pesados considerados contaminantes emergentes como el Fe, Mn y Ti no presentaron diferencias significativas entre las muestras de suelos y polvos. Estos metales se encuentran normalmente en suelos y no se les había considerado como contaminantes a pesar de ser metales pesados, pero recientemente se han reportado estudios que demuestran su toxicidad en poblaciones urbanas principalmente, enfermedades como el manganismo es ya un problema de salud en algunas ciudades. Se han reportado partículas antrópicas de magnetita (óxido de Fe) en cerebros de infantes y adultos en la ciudad de México.

La comparación entre las concentraciones al exterior (suelos) y al interior (polvo) de las casas revela que el Cu, Ni, Pb y Zn son los metales pesados que se encuentran en mayores concentraciones al interior de los hogares y, por lo tanto, es al interior de los hogares donde se debe poner más atención en el tipo y frecuencia de método de limpieza (Figura

1). Es allí en el interior de las casas donde los infantes se encuentran más expuestos que la población adulta, los niños ingieren, respiran y tienen contacto dérmico con el polvo (Aguilar *et al.*, 2022).



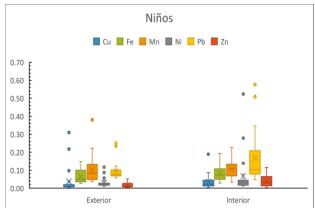


Figura 1. Comparación entre las concentraciones de metales pesados (Cu, Ni, Pb y Zn) entre suelos y polvo al interior de las casas.

CONCLUSIÓN

Durante la pandemia del COVID-19, el confinamiento disminuyó la movilidad de las personas, sin embargo, en la ciudad Valladolid estado de Yucatán, se registraron concentraciones de metales pesados que tienen como fuente la contaminación antrópica.

Es importante mencionar que en el interior de las casas se presentan mayores concentraciones de cobre (Cu), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn), en comparación con las zonas exteriores de las casas, lo que representa un riesgo para la salud pública, debido a que estos metales pesados son potencialmente tóxicos.

AGRADECIMIENTOS

La Dirección general de apoyo al personal académico de la Universidad Nacional Autónoma de México financió el proyecto: La contaminación por metales pesados en el polvo urbano dentro y fuera de las casas en 10 ciudades antes, durante y después de la COVID-19: fuentes y rutas de ingreso al cuerpo humano, clave UNAM-PAPIIT: IN208621.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilera, A., Bautista, F., Gutiérrez, M., Ruiz, E., Cisneros, A., Cejudo, R., Gogitchauchvili, A. (2021a). Heavy metal pollution of street dust in the largest city of Mexico, sources, and health risk assessment. Environ Monit Assess, 193.

Aguilar, Y., Bautista, F., Quintana, P., Aguilar, D., Trejo-Tzab, R., Goguitchaichvili, A., Chan-Te, R. (2021). Color as a New Proxy Technique for the Identification of Road Dust Samples Contaminated with Potentially Toxic Elements: The Case of Mérida, Yucatán, México. Atmosphere, 12, 483.

Aguilera, A., Cortés, J. L., Delgado, C., Aguilar, Y., Aguilar, D., Cejudo, R., Quintana, P. Goguitchaichvili, A., & Bautista, F. (2022). Heavy Metal Contamination (Cu, Pb, Zn, Fe, and Mn) in Urban Dust and its Possible Ecological and Human Health Risk in Mexican Cities. Front Environ Sci, 195.

Aguilar, J. A. Z., Díaz, O. L. C., Ignacio, E. C., Rosado, C. A. C. (2021b). Pueblo Mágico Valladolid. Revista GEON (Gestión, Organizaciones y Negocios), 8(2).

Huertos, E. G., Baena, A. R. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. MACLA, revista de la Sociedad Española de Mineralogía (10), 48-60.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Valladolid, Yucatán clave geoestadística 31102.

Martin, S., Griswold, W. (2009). Human health effects of heavy metals. Environmental Science and Technology briefs for citizens, 15(5).

Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Lagos, M. D., Jimenez, E. E. G. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+ D, 16(2), 66-77.

Santoyo-Martínez, M., Aguilera, A., Gallegos, Á., Puente, C., Goguitchaichvili, A., Bautista, F. (2022). Pollution Levels and Potential Health Risks of Potentially Toxic Elements in Indoor and Outdoor Dust during the COVID-19 Era in Gómez Palacios City, Mexico. Land, 12(1), 29.

DIVULGANDO ANDO, SOBRE EL SUELO A LOS PEQUEÑOS ENSEÑANDO

Rosalía Castelán Vega^{1,2*}; Víctor Tamaríz Flores^{1,2}; Lisett Santa Cruz Ludwig^{1,2}; Gabriela Rosales Gonzalez²; Paulina Mariaca García²

¹Centro de Investigación en Ciencias Agrícolas-Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 14 sur 6301, San Manuel, Puebla, Pue. C. P. 72570. México; ²Posgrado en Ciencias Ambientales. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 14 sur 6301, San Manuel, Puebla, Pue. C. P. 72570. México. *rosalia.castelan@correo.buap.mx

RESUMEN

Las escuelas de educación básica realizan actividades relacionadas con el ambiente, dentro de las principales herramientas que emplean se encuentran los huertos urbanos, la reforestación y el composteo; en el discurso que emplean de concientización, no consideran al suelo como un elemento esencial de los ecosistemas, ni la importancia de los organismos que ahí habitan. El objetivo del presente trabajo fue identificar la percepción y aprendizaje de niños de nivel preescolar sobre la biología del suelo a través de la elaboración de vermicompostas individuales. Se eligieron 150 niños de una escuela pública de la ciudad de Puebla, Puebla, México; se realizaron entrevistas semiestructuradas en grupos de 15 niños para identificar el nivel de conocimiento sobre el suelo y los organismos que habitan en él. Posteriormente se realizaron pláticas de 30 minutos cada una sobre los siguientes temas: qué es el suelo, su importancia, organismos que viven en el suelo y sus funciones. De manera simultánea se realizó un taller de vermicompostaje individual en la escuela y finalmente, se volvieron a efectuar entrevistas semiestructuradas con la misma base de preguntas, con la finalidad de identificar el cambio de percepción y aprendizaje sobre el suelo y los organismos que viven dentro de él. En este estudio preliminar se concluye que existió un cambio notable en la percepción y el conocimiento de los niños sobre los organismos del suelo y su importancia, además de ser una herramienta didáctica que puede ser aprovechada para realizar actividades transversales de educación en general.

PALABRAS CLAVE: Abonos orgánicos; Aprendizaje didáctico; Educación ambiental; Lombrices; Percepción ambiental.

INTRODUCCIÓN

Ante la crisis ambiental global que estamos enfrentando como humanidad, la educación ambiental se vuelve un reto civilizatorio que debe empezar a atenderse desde las etapas más tempranas en el desarrollo educacional. Es indispensable que las nuevas generaciones cuenten con herramientas y soluciones viables ante esta crisis (Torres *et al.*, 2022). La educación ambiental es un proceso formativo transversal sobre la enseñanza y concientización de la conservación y protección al ambiente, en el que las escuelas y docentes juegan un papel fundamental para iniciar el razonamiento ambiental en los niños que cursan la educación básica. En este contexto, en las últimas décadas se han implementado diversas herramientas didácticas como elementos de educación ambiental, unas de las más importantes son los huertos escolares y los módulos de compostaje

(Cramer y Ball, 2019), cuyo objetivo es que los niños aprendan con métodos no tradicionales de enseñanza-aprendizaje, sino con métodos de construcción de conocimiento a través del contacto con la naturaleza y fuera de las aulas (Largo-Wight *et al.*, 2018), principalmente en escuelas de ambientes urbanos.

El suelo es un recurso natural clave en el funcionamiento de los socioecosistemas, pese a esto, muy poco se destaca su importancia en las actividades de educación ambiental (Reyes-Sánchez, 2006), aún cuando en las instituciones educativas se fomente el composteo de los residuos orgánicos, esto ocurre principalmente por desconocimiento por parte de los educadores sobre las funciones ecológicas que lleva a cabo, motivo por el cual, a través del programa impulsado por la Unión Internacional de las Ciencias del Suelo, IUSS por sus siglas en inglés, la IUSS GO TO DE SCHOOL, la Comisión de Educación y Enseñanza de la Ciencia del Suelo, ha iniciado una serie de actividades destinadas a realizar actividades de educación ambiental en donde se destaque la importancia de este recurso natural, por lo que el objetivo del presente trabajo fue identificar la percepción y aprendizaje de niños de nivel preescolar sobre la biología del suelo a través de la elaboración de lombricompostas individuales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el jardín de Niños Hermanos Serdán de la ciudad de Puebla, Puebla, durante el periodo de primavera del ciclo escolar 2021-2023, se involucró a todos los niños del plantel, quienes sumaron en total 150, de los cuales 80 fueron niñas y 70 niños, con edad promedio de 3 a 6.5 años. La selección del plantel se realizó a conveniencia, siendo fundamental la disposición de los directivos para que el grupo de trabajo se involucrara en actividades de educación ambiental con los niños. Cabe destacar que la institución cuenta con 50 años de antigüedad y es de carácter público.

Se inició con dos sesiones académicas con los docentes del plantel, para explicar la estrategia y el desarrollo del proyecto, así como las actividades transversales que debían realizarse para cumplir con los objetivos del mismo. Posteriormente se tuvieron dos sesiones de inmersión con los estudiantes, para que se familiarizaran con los involucrados en el proyecto y tuvieran la confianza necesaria para poder ser entrevistados. De igual forma, en estas sesiones se realizó una observación no participante del comportamiento de los niños con relación al ambiente.

Se aplicó una primera entrevista semiestructurada a cada niño con el objetivo de determinar su nivel de conocimiento sobre el medio ambiente y, en particular, sobre el suelo y la biodiversidad que hay en él. Posteriormente se impartieron en grupos de 15 niños cuatro pláticas de 30 minutos sobre los siguientes temas: qué es el suelo, su importancia, organismos que viven en el suelo y sus funciones (Figura 1). Durante estas pláticas los niños tuvieron la oportunidad de dibujar y expresar sus opiniones sobre el suelo y los organismos que en él habitan (Figura 2), así como la realización de diversas actividades en donde involucraron a sus familiares, como dibujar y recortar los animales que viven dentro del suelo, hacer un diagrama de las actividades que realizan, recolectar

los desechos orgánicos y de jardinería de sus casas y de la misma escuela, observar con una lupa la presencia de organismos sobre y dentro del suelo en sus jardines o macetas.



Figura 1. Introducción al tema del suelo.



Figura 2. Dibujo del suelo.

Posteriormente, se realizó una práctica sobre la identificación de las características físicas de las lombrices empleadas en el vermicompostaje (*Eisenia fetida*), como color, tamaño, condiciones ambientales en las que les gusta crecer, lo que les gusta comer y las propiedades y beneficios de sus desechos. Se les permitió a los niños observar detenidamente a las lombrices, tocarlas y cuidarlas por un tiempo (una semana) dentro de sus salones escolares.

Se realizó el taller de vermicompostaje, en donde los niños en recipientes tipo pet de 3 litros diseñaron sus vermicomposteras, al aire libre con sus palas de jardín apilaron cada uno de los elementos que debe contener: suelo, material verde, material seco, suelo y agua. Una vez lleno el recipiente se les colocó un promedio de 15 lombrices (Figura 3). Se

colocaron enterradas bajo los árboles del área verde del plantel para proveer de sombra y se les diseñó un cronograma de riego y cuidado de sus vermicomposteras.

Dentro de las actividades de seguimiento los niños debían anotar y/o dibujar, los cambios presentados en lapsos de 15 días hasta completar 3 meses. Una vez terminada la lombricomposta se utilizó para la siembra de plantas en maceta que se presentaron en una exposición de fin de cursos. Al mes de realización de la lombricomposta se aplicó nuevamente una entrevista semiestructurada con el objetivo de valorar la percepción y aprendizaje de los 150 niños de nivel preescolar sobre la biología del suelo y su importancia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la primera entrevista aplicada ante la pegunta ¿Qué elementos de la naturaleza conoces?, muestran que los niños relacionan a la naturaleza con el árbol, el pasto, las flores y los animales, principalmente mencionan animales domésticos. Con base a la pregunta ¿Crees que el suelo es parte de la naturaleza? Se evidencia que no relacionan al suelo como parte de la naturaleza, sino con la producción de alimentos, además de denominarlo "tierra". Ante el cuestionamiento planteado ¿Consideras que el suelo tiene vida?, los resultados muestran que perciben al suelo como algo sin vida. Al preguntar sobre ¿Qué animales viven en el suelo?, el 95% sólo mencionó a las lombrices, el otro 5% mencionó a los topos, las hormigas y los "bichos malos" (bacterias) que nos enferman del estómago. Al cuestionar sobre Si saben ¿Por qué es importante el suelo?, se observó que no identifican las funciones del suelo, a excepción de la de brindar alimentos como el maíz. Del universo de niños entrevistados (150 niños), 2 niños tienen familiares que cuentan con parcelas agrícolas con las que tienen interacción constante, por lo que además del maíz mencionaron otros cultivos, como el frijol, el chile, la papa y los rábanos, ambos niños comentaron que ayudan a sus abuelitos en el campo y que ellos les platican sobre la naturaleza, por eso les gusta mucho visitarlos.



Figura 3. Elaboración de las vermicompostas

CONCLUSIONES

Las pláticas con los niños y la elaboración de la lombricomposta funcionaron como herramientas didácticas de educación ambiental en el aprendizaje de la importancia del suelo y los organismos que viven dentro de él, ya que cambió la percepción que tenían sobre la "tierra", incluso algunos adoptaron el término "suelo", internalizaron y lograron expresar en un breve discurso las funciones del suelo y de los organismos que viven dentro del suelo. El monitoreo de la lombricomposta ha funcionado como un espacio de convivencia y reflexión sobre el cuidado del ambiente y de los elementos que se interrelacionan, involucrando a docentes, trabajadores de la escuela, directivos y universitarios. De igual forma, ha sido un elemento de aprendizaje transversal para la educación curricular como las matemáticas, ya que los niños cuentan las lombrices que observan, desarrollan habilidades organización y pensamiento crítico, al preguntarse ¿por qué cambia el material que originalmente se depositó en las lombricomposteras?, entre otros. Se está en un proceso de cambio de comportamiento al contar con separadores orgánicos y desarrollar el hábito de la separación de los residuos. En este contexto, se concluye que la elaboración de lombricomposta es una herramienta didáctica que puede jugar el papel de elemento articulador entre conocimientos de educación curricular como de educación ambiental.

AGRADECIMIENTOS

Al jardín de Niños Hermanos Serdán de la ciudad de Puebla, Puebla por permitirnos interactuar con sus niños y evaluar la importancia de un módulo de lombricomposta.

BIBLIOGRAFÍA

Cramer, S. y Ball, A. (2019). Wild Leaves on Narrow STEMs: Exploring Formal and Non-formal Education Tensions Through Garden-Based Learning. Journal of Agricultural Education, 60(4), 35-52.

Beltrán, E. (2017). Los recursos didácticos y el aprendizaje significativo, Rev. Multidisciplinaria de investigación, 2(1), 33-38.

Largo-Wight, E., Guardino, C., Wludyka, P. S., Hall, K. W., Wight, J. T. y Merten, J. W. (2018). Nature contact at school: The impact of an outdoor classroom on children's wellbeing. International Journal of Environmental Health Research, 28(6), 653-666.

INEGI. (2010). Compendio de información Geográfica Municipal 2010 Tlahuapan, Puebla. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.

Reyes-Sánchez, L. B. (2006). Enseñanza de la ciencia del suelo en el contexto del desarrollo sustentable Terra Latinoamericana, 24 (3): 431-439.

Sánchez, O., Collazo, C. y Jiménez, J. (2018) El trabajo colaborativo como estrategia didáctica para la enseñanza/ aprendizaje de la programación: una revisión sistemática de literatura, Rev. Tecnológicas, 21(41):115-134.

Torres, N., Martínez, B., Rascón, F., Medina, J., y Reyna, L. (2022). Diseño y validación de la escala de conciencia ambiental (ECA) en niños de primaria. Areté. Revista Digital del Doctorado en Educación de la Universidad Central de Venezuela. 8 (6), 139 – 157.

EFECTO BIOESTIMULANTE DE METABOLITOS BACTERIANOS EN SEMILLAS DE Hibiscus sabdariffa Y Prosopis juliflora

<u>Alexa Berenice Juárez Gaspar¹*;</u> Mayra Alejandra Gómez Govea¹; Gabriel Ruiz Ayma¹; Irám Pablo Rodríguez Sánchez¹; Antonio Guzmán Velasco¹; José Ignacio González Rojas¹; Alina Olalla Kerstupp¹; Miguel Ángel Rico Rodríguez¹

¹Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biológicas. Laboratorio de Fisiología Molecular y Estructural. Av. Universidad s/n Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León C.P. 66451. *alexaj000@outlook.com

RESUMEN

Los suelos proporcionan soporte físico a las plantas y evitan la erosión y pérdida de nutrientes al anclar las raíces y brindar estabilidad. La búsqueda de métodos agrícolas más sostenibles ha resaltado la importancia de la interacción entre plantas y microorganismos en el suelo. Estudios recientes utilizan metabolitos bacterianos secundarios para mejorar la salud y crecimiento de plantas, así como la calidad del suelo, promoviendo un enfoque más beneficioso y sostenible en la agricultura. En este estudio, se exploró el uso de metabolitos bacterianos secundarios como alternativa. Se incluyó el aislamiento de cepas microbianas en los suelos de Nuevo León para aprovechar sus beneficios. Se investigó si los metabolitos de cepas específicas de estos suelos tenían propiedades bioestimulantes. El enfoque se centró en el análisis de las semillas de jamaica y mezquite. Se tomó muestra de suelo de un sitio de Nuevo León, las cuales fueron procesadas y se obtuvieron cepas que fueron cultivadas, se aislaron para su identificación. De las cepas obtenidas que fueron del género Bacillus se cultivaron en medio de caldo de Lisogenia (LB) a 37°C por 24 h para proceder a centrifugar y separar el paquete celular del sobrenadante. Los sobrenadantes obtenidos se aplicaron a semillas de jamaica y mezquite para evaluar su efecto bioestimulador, así como mejorar también su desarrollo. Se obtuvo como resultado el aislamiento de bacterias del género Bacillus, obteniendo efecto estimulador en la germinación y mejorando el desarrollo comparado con los controles en la jamaica y mezquite.

PALABRAS CLAVE: Bioensayo; Germinación; Sobrenadantes; Suelo; Tratamientos.

INTRODUCCIÓN

Los suelos desempañan un papel fundamental en los ecosistemas terrestres, estos son el sustrato en el que las plantas enraízan y crecen. Actúan como almacén de nutrientes y agua, proporcionando los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas y permitiendo que estas se desarrollen de manera óptima (SEMARNAT, 2015). Además, los suelos sirven como soporte físico, anclando las raíces y brindando estabilidad estructural a las plantas, lo que evita la erosión del suelo y la pérdida de nutrientes. Se ha buscado encontrar métodos agrícolas que resulten más sostenibles y eficientes para la conservación del suelo, una de las cosas que ha destacado es la interacción que existe entre las plantas y los microorganismos del suelo. Han existido diversos estudios innovadores, los cuales han surgido apenas hace pocos años donde se utilizan metabolitos secundarios bacterianos para mejorar la salud y crecimiento de las plantas, así como también la mejora

y calidad del suelo. Estos metabolitos producidos por las bacterias han ofrecido una amplia gama de beneficios para la germinación y el desarrollo de las plantas (Caycedo-Lozano, et al., 2021), así como la contribución positiva hacia la salud y fertilidad del suelo en el que se desarrollan y crecen. Los metabolitos bacterianos son compuestos químicos que son producidos por microorganismos que están presentes en el suelo. Estos compuestos han brindado resistencia a las plantas cuando se ha tratado de estrés causado por sequías, altas temperaturas y enfermedades, induciendo defensas y adaptación en las plantas (Korenblum y Aharoni, 2019). Han ayudado al suelo hablando de su estructura, pues han aumentado su retención de agua y nutrientes.

Con el propósito de superar métodos perjudiciales para el entorno, se buscó utilizar la aplicación de metabolitos bacterianos secundarios. Consiste en sustituir enfoques indefinidos y medioambientalmente dañinos. Se investigó el potencial de los metabolitos para fomentar la germinación y el desarrollo de las plantas. Involucró el aislamiento de cepas microbianas de los suelos de Nuevo León, con el fin de aprovechar sus capacidades beneficiosas. Así como también se probó la posibilidad de que los metabolitos generados durante el crecimiento de cepas específicas extraídas de los suelos de Nuevo León poseyeran propiedades bioestimulantes, como ya se mencionó antes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: Se eligió un sitio de muestreo en Iturbide, en el campus de la Universidad Autónoma de Nuevo León, conocido como "bosque escuela", el cual tiene ubicación en la Sierra Madre Oriental. El tipo de suelo predominante en esta área se caracteriza por pertenecer a la clase Kastañozem cálcico (Cantú y González, 2010).

Aislamiento: A partir de 1g de muestra de suelo, se inoculó en un tubo de medio LB y se incubó a 37°C durante 24 h. Tras la incubación, se llevó a cabo el aislamiento utilizando el método de 4 cuadrantes en placas de agar LB. Se tomó una muestra de la muestra original y se incubó a 37°C durante 24 h. Tras este período de incubación, se seleccionaron colonias en función de sus características microscópicas y macroscópicas para su identificación correspondiente.

Identificación: Para la identificación de las colonias aisladas, se formó una suspensión a partir de una alícuota y se transfirió una pequeña muestra a los pocillos correspondientes de una placa metálica conductora MALDI. Esta muestra fue mezclada con 1 μL de ácido fórmico para extraer el ADN. Luego, se añadió 1 μL de un compuesto orgánico de bajo peso molecular, conocido como matriz. Una vez que la muestra y la matriz cristalizaron, se procedió a la identificación utilizando el equipo automatizado de espectrometría de masas MALDI-TOF (BDTM Bruker MALDI BiotyperTM) en el Laboratorio de Diagnóstico Microbiológico de Alta Especialidad en el Servicio de Gastroenterología, Hospital Universitario Dr. José Eleuterio González en Monterrey, Nuevo León.

Material biológico: Las cepas se conservaron como cultivos de reserva a -80°C con glicerol 20% (v/v). Para posteriormente ser conservadas a 4°C en agar LB inclinado, realizando resiembra cada 3 meses. Para la activación de las cepas se tomó una asada del

cultivo de reserva y se inoculó en tubos de 5 ml de caldo LB. Los tubos se incubaron a 37°C por 24 h.

Cinética de crecimiento bacteriano: Se inocularon cepas activadas 1% v/v en matraces con 25 ml de caldo LB y se incubarán a 37°C por 24 h, cada hora se tomaron lecturas de absorbancia con un espectrofotómetro Sequoia-Turner (Mod. 304) con longitud de onda de 600 nm con el fin de determinar los tiempos de producción de metabolitos secundarios.

Producción de metabolitos: Al haber determinado los tiempos de producción de metabolitos, las cepas se inocularon al 1% (v/v) con las cepas activadas previamente en matraces con 1000 ml de medio LB previamente inoculados, se incubaron por 24 h a 37%C para la final de la fase logarítmica. Después de la incubación de los cultivos se centrifugaron a $13\,000$ rpm durante $15\,$ min a 4%C, descartando el paquete celular de los sobrenadantes. Los sobrenadantes se resguardaron en frascos de vidrio a -20%C hasta que se usaron.

Bioensayos: Se realizaron 2 bioensayos. Se montaron utilizando recipientes de plástico donde se les colocó papel filtro estériles, se aplicaron 5 tratamientos, estos fueron dos controles y sobrenadantes de cepas de bacterias previamente filtrados. Se utilizaron semillas de Jamaica y Mezquite para la evaluación de su crecimiento. Se rociaron con los tratamientos una vez al día por una semana, se rociaron una vez con los tratamientos de sobrenadantes de las cepas aisladas. Tras su germinación se pasaron a recipientes de plástico con tierra estéril, las plantas germinadas se colocaron a 1cm de profundidad con pinzas de disección y se rociaron con agua del grifo todos los días hasta su desarrollo. En el bioensayo 2 se utilizaron los mismos materiales ya mencionados, pero esta vez se rociaron únicamente con agua destilada por una semana para su respectiva germinación, después de eso de la misma manera se traspasaron a recipientes de plástico con tierra estéril, utilizando la misma técnica, colocando 15 ml de los sobrenadantes de las cepas con sus respectivos controles.

Análisis estadísticos: Para determinar si hubo diferencias entre los tratamientos se utilizó una prueba de normalidad de Kolmogórov-Smirnov y se aplicó una prueba de ANOVA. También se utilizó una prueba de Tukey para saber si existe una diferencia significativa entre las medias de la germinación de las semillas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis derivados del ANOVA arrojaron que, de 5 variables, 2 de ellas tuvieron diferencia significativa. F(2, 5) = 7.67 p = 0.05.

Las semillas germinadas de *Hibiscus sabdariffa* mediante el sobrenadante A de las cepas del género *Bacillus*, fue mayor a las germinadas con ambos controles, acelerando el proceso de germinación, debido a que las bacterias de este género estimulan el desarrollo de las plantas al llevar a cabo la fijación de N. En el estudio de (Adame, *et al.*, 2023) con semillas de chile habanero evaluaron igual bacterias del género *Bacillus* en el crecimiento de la especie vegetal. Registraron resultados positivos, obtuvieron valores significativos

en contraste con su testigo. La especie *Prosopis juliflora* mostró germinación con todos los tratamientos, aunque tuvo una germinación más rápida con 2 tratamientos.

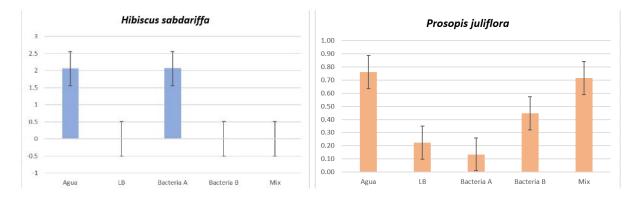


Figura 1. Representación gráfica de la diferencia significativa entre los 5 tratamientos en *Hibiscus sabdariffa*.

Figura 2. Representación gráfica de la diferencia significativa entre los 5 tratamientos en *Prosopis juliflora*.

Tabla 1. Número de semillas germinadas en una semana.

Especies	Repetición	Tratamiento	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Hibiscus sabdariffa	1	Agua	0	0	1	2	2	2	2
	1	Caldo LB	0	0	0	0	0	0	0
	1	Bacteria A	0	0	7	9	10	10	10
	1	Bacteria B	0	0	0	0	0	0	0
	1	Mix	0	0	0	0	0	0	0
Prosopis juliflora	1	Agua	0	0	1	1	2	3	3
	1	Caldo LB	0	0	1	1	1	1	1
	1	Bacteria A	0	0	0	0	0	0	0
	1	Bacteria B	0	0	0	0	0	0	0
	1	Mix	0	0	0	1	1	2	2
Hibiscus sabdariffa	2	Agua	0	0	1	2	2	2	2
	2	Caldo LB	0	0	0	0	0	0	0
	2	Bacteria A	0	0	0	0	0	0	0
	2	Bacteria B	0	0	0	0	0	0	0
	2	Mix	0	0	0	0	0	0	0
Prosopis juliflora	2	Agua	0	0	0	1	2	2	2
	2	Caldo LB	0	0	0	0	0	0	0
	2	Bacteria A	0	0	0	0	1	1	1
	2	Bacteria B	0	0	0	1	3	3	3
	2	Mix	0	0	1	1	2	2	4



Figura 1, 2, 3, 4 y 5. Desarrollo de Jamaica con inoculación de sobrenadantes del género *Bacillus* y sus controles.



Figura 6, 7, 8, 9 y 10. Desarrollo de Mezquite con inoculación de sobrenadantes del género *Bacillus* y sus controles.

Se obtuvo un mejor desarrollo con la aplicación de los sobrenadantes en las especies de Jamaica, algo importante del género *Bacillus* es su capacidad para producir sideróforos, los cuales a su vez son los responsables de hacer más asequible el hierro para las plantas, por ende, promueve el crecimiento de estas (Anguiano, *et al.*, 2020). Sin embargo, algunas plantas de Jamaica se perdieron debido al crecimiento de hongos en ellas, pues se estipula que esto pudo haber sucedido a la falta del aire en el lugar donde se encontraban.

CONCLUSIONES

El género *Bacillus* promueve la germinación de semillas y el desarrollo de las plantas, acelerando el proceso de *Hibiscus sabdariffa* y *Prosopis juliflora*. Como se observó, en 2 de los tratamientos aplicados mostraron diferencia significativa.

BIBLIOGRAFÍA

Adame, J., Murillo, F., Cabrera, H., Villegas, J., Rivera, A. y Vázquez, A. (2023). Efecto de bioestimulantes microbianos en frutos de chile morrón y jitomate producidos en macrotúnel. Biotecnia. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud.

Anguiano, JC., Flores, A., Olalde, V., Arredondo, R. y Laredo, E. (2020). Evaluación de cepas de *Bacillus subtilis* como promotoras de crecimiento vegetal. Scielo. ISSN 2007-3380.

Cantú, I., y González, H. (2002). Propiedades hidrológicas del dosel de los bosques de pinoencino en el noreste de México. En: Ciencia UANL 5(1): 72-78.

Caycedo-Lozano, L., Corrales-Ramírez, C. y Trujillo-Suárez, D. (2021). Las bacterias: su nutrición y crecimiento: una mirada desde la química. Scielo.

Korenblum, E. y Aharoni, A. (2019). Phytobiome metabolism: beneficial soil microbes steer crop plants secondary metabolism. Pest Manag Sci 2019; 75: 2378–2384.

EFECTO DE DIFERENTES COMPOSTAS SOBRE EL NÚMERO DE BROTES Y ALTURA DE LA PLANTA DE DIFERENTES CULTIVOS

Carlos Jorge Solis-Nequiz¹; Ángel Daniel Huitron Arzate¹; Diana Sharenit Guzmán Lara¹; Yoana Hedyt Domínguez León¹; <u>Edith Montes Hernández^{1*}</u>

¹Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca, C.P. 56580, Km. 7 Carretera Ixtapaluca-Coatepec, Ixtapaluca, Estado de México, México. <u>edith.mh@ixtapaluca.tecnmx.mx</u>

RESUMEN

Los efectos del compostaje, repercuten en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, ya que de éstos dependerá la cantidad de micro y macro elementos necesarios para la fertilidad del suelo, siendo aportados gracias al uso de materia prima proveniente de los fertilizantes agrícolas como son: gallinaza, borregaza, aserrín, hoja de maíz, olote y tierra negra, los cuales fueron utilizados para elaborar el compostaje, distribuidos de tal manera que en distintas concentraciones y en combinación con la materia prima antes mencionada, se conformaron los tratamientos con la capacidad de conocer sus efectos en el crecimiento (número de brotes) y desarrollo de cultivos (altura de la planta) de espinaca, rábano, zanahoria y lechuga.

PALABRAS CLAVE: Agricultura; Fertilizante; Demanda alimenticia; Suelo

INTRODUCCIÓN

El uso de compostajes orgánicos en combinación de agua y sustratos desarrolla organismos autótrofos y heterótrofos necesarios para el suelo (Salazar, *et al.*, 2007). El compostaje conforma una parte fundamental en la agricultura, debido a su alto contenido en nutrientes (Delgado M. *et al.*, 2018). Asimismo, estos desechos aportan sustancias alimenticias que actúan como parte de la cadena alimentaria, porque aumentan la relación producción-rendimiento. Los compostajes orgánicos promueven, junto con el agua y el sustrato, la producción y el crecimiento de organismos fáciles de obtener y económicos (Quimbayo L., 2018)

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el crecimiento y desarrollo de lechuga, rábano, zanahoria y espinaca en cuatro tipos de compostas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y Descripción del área de estudio

El presente trabajo se realizó en el invernadero, bajo condiciones de humedad y fotoperiodo controlado, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca con dirección en Carretera Coatepec, Callejón San Juan 7, 56580 en el municipio de Ixtapaluca, Estado de México, con las coordenadas de latitud 19.313497 y longitud -98.884283.

Elaboración de Compostas

El material biológico: gallinaza, borregaza, aserrín, hoja de maíz y olote fue previamente fragmentada y después sometida a secado, el cual tuvo una duración de dos

semanas para finalizar la etapa. Los tratamientos de la presente investigación se muestran en el cuadro 1.

Tipo de Suelo	Simbología	Descripción
Control	TN	Tierra Negra (19.1 kg)
Tratamiento 1	TN+G+A	Tierra Negra (19.1 kg) + Gallinaza (3.7 kg) + Aserrín (0.6 kg)
Tratamiento 2	TN+G+A+HM+O	Tierra Negra (19.1 kg) + Gallinaza (3.7 kg) + Aserrín (0.6 kg) + Hoja de Maíz (0.5 kg) + Olote (0.7 kg)
Tratamiento 3	TN+B+A	Tierra Negra (19.1 kg) + Borregaza (2.0 kg) + Aserrín (0.6 kg)
Tratamiento 4	TN+B+A+HM+O	Tierra Negra (19.1 kg) + Borregaza (2.0 kg) + Aserrín (0.6 kg) + Hoja de Maíz (0.5 kg) + Olote (0.7 kg)

Cuadro 1. Distribución de la materia prima para cada tratamiento

La fase experimental se llevó a cabo utilizando macetas de color negro de 20 L y se depositaron de entre 2 a 3 semillas, dispuestas a una distancia mínima recomendada para cada uno de los cultivos, en cada una de las macetas. Las hortalizas utilizadas en este trabajo fueron espinaca, rábano, zanahoria y lechuga cada una en 4 tratamientos experimentales como se muestra en el cuadro 1.

Crecimiento y desarrollo en cultivos a través del tiempo

Para evaluar el crecimiento y desarrollo de cada uno de los cultivos se evaluaron dos variables: a) número de brotes y tamaño de la planta a los 5 meses iniciados los cultivos. En el caso de los brotes se observó y anotó los brotes cada semana, mientras que para el caso del tamaño de la planta se utilizó un vernier, midiendo desde la raíz hasta la última hoja.

Análisis Estadístico

Para comparar la diferencia entre el número de brotes y el tamaño de la planta para cada cultivo en los diferentes tratamientos se aplicó una ANOVA de rangos con la prueba de Tukey, consideraron un p value de 0.05. Los datos se analizaron a través del programa estadístico Sigma Stat versión 3.5.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Abono de Borrego es una excelente fuente de materia orgánica que es indispensable para que las plantas puedan absorber los nutrientes orgánicos y minerales que se encuentran en la tierra. Restituye los niveles de humus y activa la humidificación de la materia orgánica presente en la tierra (Crespo, 2022). Para generar buenas cosechas, las tierras requieren de una serie de condiciones como retención de agua y también de la aireación necesaria y necesita de los nutrientes y de los microorganismos contenidos en el estiércol de oveja, en este caso, para crear el ambiente necesario en el crecimiento de las plantas (Sarmiento, 2017).

a) Tamaño de la planta

Los resultados obtenidos en cuanto tamaño de la planta en los diferentes tratamientos se muestran en Figura 1, en donde se observa que la Espinaca presentó mayor tamaño en el tratamiento 3, seguido del rábano quien presentó el mayor tamaño en el control, así como en el tratamiento 2 y 4, mientras que en la zanahoria el mayor tamaño fue en el control y tratamiento 1 y finalmente en la lechuga se presentó el menor tamaño en todos los tratamientos (Figura 1).

b) Número de brotes

En la Figura 2, se observa el número de brotes en los 4 tratamientos, como se observa en la figura, el mayor número de brotes en espinaca, rábano y zanahoria se da en los tratamientos 1 y 2, mientras que para la lechuga se da el mayor número de brotes en el tratamiento 2, sin embargo, el número de brotes de esta especie son mucho menores comparada con las otras 3 especies de cultivos.

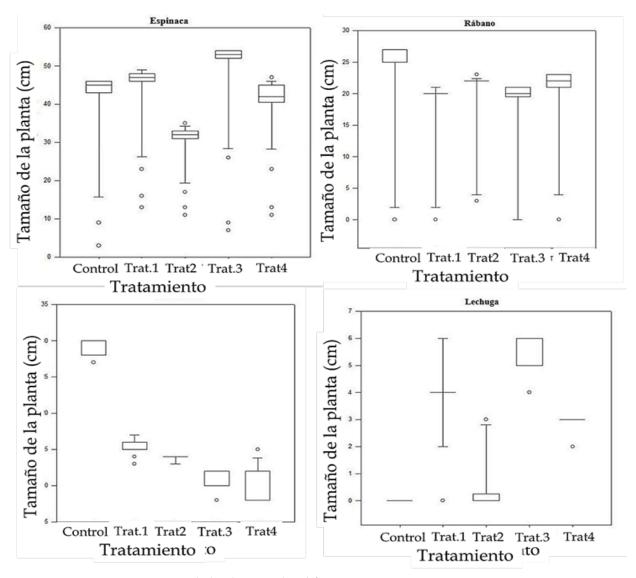


Figura 1. Tamaño de la planta en los diferentes tratamientos. * p<0.05 ** p>0.05.

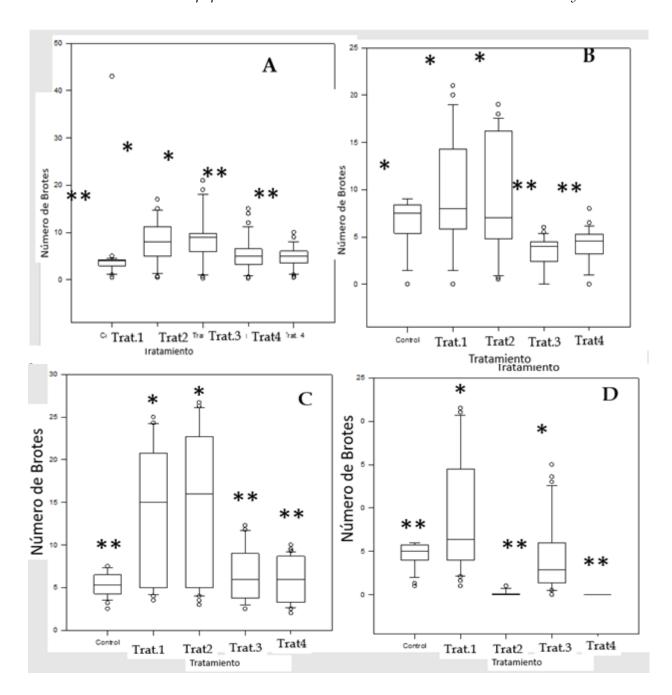


Figura 2. Número de brotes en los diferentes tratamientos: A) Espinaca, B) Rábano, C) Zanahoria y D) Lechuga. * p<0.05 ** p>0.05.

CONCLUSIONES

El mayor tamaño de plantas se presentó en el tratamiento 3, el cual contenía borregaza, seguida del tratamiento control.

El mayor número de brotes en espinaca, rábano y zanahoria fueron en el tratamiento 1 y 2 las cuales contenían como elemento principal la gallinaza.

BIBLIOGRAFÍA

Crespo, C. (2022). Abono de estiércol de oveja: composición y aplicación - PortalFruticola.com.

Delgado M., Mendoza K., González M., Tadeo J. y Martín J., (2018). Evaluación del Compostaje de Residuos Avícolas Empleando Diferentes Mezclas de Sustratos, Universidad Autónoma de Madrid, España. Página 967.

Quimbayo L., (2018). Aprovechamiento de la Hoja de Mazorca y sus Propiedades para la reconversión de una Nueva Materia Prima, Universidad Católica de Pereira. Página 12.

Salazar S., Figueroa M., Anguiano J. y Luna-Figueroa H., (2007). Efecto de Diferentes Fertilizantes Orgánicos Sobre el Cultivo en Laboratorio del Camarón Duende de Agua Dulce Streptocephalus mackini (Crustacea: Anostraca), AquaTIC núm. 26. Universidad de Zaragoza, España. Página 19.

Sarmiento, L. (2017). Estiércol de oveja, características y usos en el abono de plantas. Jardineria On

EFECTO DEL PERRITO LLANERO MEXICANO (Cynomys mexicanus) EN LA CALIDAD DEL SUELO: UN CASO DE ESTUDIO EN COAHUILA

Sarahi Moya-Cadena^{1*}; Fabián Fernández-Luqueño¹

¹ Centro de investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav Saltillo). Programa de M. en C. en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía, Ramos Arizpe, Coahuila, México. *sarahimoya8@gmail.com

RESUMEN

Las bioperturbaciones de ciertos mamíferos modifican las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Por esta razón, se plantea el estudio del efecto del perrito llanero mexicano (Cynomys mexicanus) en la calidad del suelo de los pastizales del sureste de Coahuila de Zaragoza, México, mediante el análisis de distintos indicadores de la calidad del suelo en sitios con y sin presencia de perrito llanero. La investigación consideró el estudio de tres sitios con presencia de perrito llanero y tres sitios sin esta especie (sitios control). En cada sitio se determinaron diversas variables físicas, químicas y biológicas y los datos se analizaron a través de un análisis de componentes principales (ACP) y un ANOVA de una vía con prueba post hoc de Tuckey (α =0.05). Los resultados evidenciaron una alteración en las comunidades microbianas, al disminuir su biomasa microbiana. Los cambios en la actividad biótica del suelo pueden preceder a alteraciones detectables en las propiedades físicas y químicas del suelo proporcionando de esta manera, una advertencia temprana de degradación del suelo. Cabe destacar que la presencia de C. mexicanus puede tener repercusiones que potencien o amenacen los procesos físicos químicos y biológicos del suelo, debido al efecto de sus bioperturbaciones entre colonias. Estos resultados evidencian que, con el paso del tiempo, la calidad del suelo puede disminuir, específicamente en las funciones relacionadas con la disponibilidad de nutrientes, el ciclo del carbono y la provisión del hábitat, propiciando un ambiente susceptible a diversas amenazas como pérdida de biodiversidad, degradación y erosión del suelo.

PALABRAS CLAVE: Funciones del suelo; Pastizales; Perturbación biológica; Sureste de Coahuila.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación estudió el efecto del perrito llanero mexicano (*C. mexicanus*) en la calidad del suelo de los pastizales del sureste de Coahuila. El suelo es un cuerpo natural tridimensional que cubre la corteza terrestre y está compuesto por minerales, materia orgánica, agua y aire. Dentro de éste se producen numerosos procesos físicos, químicos y biológicos que actúan simultáneamente para mejorar o disminuir la calidad del suelo (Fitzpatrick, 1996). Por esta razón, en esta investigación se evaluaron diversos indicadores de la calidad del suelo que proporcionarán información sobre su salud.

La calidad del suelo está relacionada con las funciones y los servicios ecosistémicos. Sin embargo, procesos como la erosión, la contaminación, o la pérdida de biodiversidad pueden amenazar las funciones del suelo creando un desequilibrio en los ámbitos sociales, económicos y medioambientales (Bünemann *et al.*, 2018). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la biodiversidad del suelo es esencial para la mayoría de los servicios ecosistémicos provistos por los suelos que benefician a las especies del suelo y sus múltiples interacciones bióticas y abióticas en el medioambiente (FAO, 2021). En consecuencia, los organismos del suelo cumplen funciones esenciales para mantener el equilibrio del suelo y la cadena trófica.

Las distintas taxonomías de organismos en el suelo se pueden agrupar de acuerdo con el tamaño que presenten; microfauna, microflora, mesofauna, macrofauna, megafauna y macroflora (FAO, 2021). La megafauna es una clasificación que agrupa a los organismos más grandes que tienen influencia sobre el suelo como los topos, castores, perritos llaneros o conejos. Estos mamíferos tienen la capacidad de alterar el transporte de agua y la porosidad del suelo, así como de unir partículas del suelo para formar agregados estables que puedan mantener el suelo en su lugar, disminuyendo amenazas como la erosión o el cambio climático (Dantas y Pausas, 2020). Las madrigueras de diversos mamíferos que habitan dentro del suelo pueden influenciar los procesos químicos, físicos y biológicos de este recurso, incluyendo la translocación de la materia orgánica, distribución inorgánica, aeración y mineralización (Laundré y Reynolds, 1993).

Los mamíferos son agentes importantes de bioperturbación (perturbación del suelo por parte de organismos) contribuyendo a la heterogeneidad del suelo en función del tamaño y la longevidad de la perturbación. Sin embargo, la variabilidad en las propiedades del suelo de los montículos impide generalizaciones sobre los efectos de estas perturbaciones en la vegetación. El perrito llanero mexicano es considerado como especie endémica y en peligro de extinción del noreste de México y su distribución abarca los estados de Coahuila de Zaragoza, Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas. A pesar de los cuantiosos estudios sobre la especie y de acuerdo con Pando-Moreno *et al.* (2013), aún se carece de datos ecológicos del hábitat del perrito llanero, en particular sobre las relaciones que éste establece con su hábitat.

El desafío de la conservación de *C. mexicanus* comprende distintos orígenes, como lo son: prácticas agrícolas insostenibles (Martínez *et al.*, 2013), introducción de ganado doméstico y no autóctono, exterminio por disparos y envenenamiento, los efectos del cambio climático como la erosión o la pérdida de biodiversidad que provocan fragmentación y disminución de colonias de *C. mexicanus* y muchas otras especies (Eekkhout y de Vente, 2022). Estos desequilibrios tienen una repercusión directa en el ecosistema y el bienestar humano debido a la afectación de los servicios ecosistémicos que provienen del suelo, como la regulación del clima, conservación de la biodiversidad, entre otros (Bünemann *et al.*, 2018). La distribución de las colonias de perritos llaneros ha sido reducida con el paso de los años (Ceballos *et al.*, 1985; Scott *et al.*, 2004; González *et al.*, 2012), por lo que se deben intensificar esfuerzos para evitar su extinción sin crear desequilibrios en el suelo (Martínez *et al.*, 2013).

La hipótesis de esta investigación fue que la presencia de perrito llanero mexicano influye positivamente en la calidad del suelo de los pastizales halófilos del sureste de Coahuila de Zaragoza, disminuyendo las amenazas al suelo al potencializar las funciones y los servicios ecosistémicos del hábitat. Lo anterior, considerando que la excavación de madrigueras, la adición de materiales orgánicos y el consumo de vegetales del perrito llanero favorecen la calidad del suelo. Por esta razón, se propuso evaluar el efecto del perrito llanero mexicano en la calidad del suelo de los pastizales del sureste de Coahuila de Zaragoza, mediante la comparación de análisis físico, químico y biológico de distintos sitios con presencia de perrito llanero y sin presencia del mismo, con el fin de impulsar su conservación y la del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio de esta investigación se centró en dos ejidos pertenecientes al estado de Coahuila, los cuales presentaban características similares de tipo de suelo, clima, relieve y asociación vegetal. Para el muestreo se tomaron 9 muestras de cada uno de los seis sitios en total (tres con presencia de perrito llanero mexicano y sus tres sitios control), con un muestreo de 54 sitios totales a una profundidad de 20 cm. Los datos climáticos y de información general se tomaron en una bitácora de muestreo por sitio. Por cada sitio, se evaluaron los indicadores físicos químicos y biológicos a través de la caracterización del pH, conductividad eléctrica, composición elemental (Al, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S, Si y Zn), materia orgánica del suelo, carbono y nitrógeno totales, densidad aparente, textura del suelo y carbono de la biomasa microbiana. El procedimiento de muestreo y las técnicas de caracterización de suelo están reportadas en Pérez-Moreno et al. (2019). Con el fin de resumir la información e identificar las variables más importantes que explicaran el efecto del perrito llanero por sitios, se empleó el método estadístico multivariado de análisis de componentes principales (ACP) a través del software Infostat y la comparación de medias de los sitios con y sin perrito llanero para identificar diferencias significativas utilizando el método estadístico ANOVA de una vía con prueba posthoc de Tuckey $(\alpha = 0.05)$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica y biológica del suelo se presentan en el Cuadro 1, donde se evidencia una disminución en la biomasa microbiana y un aumento en la relación Carbono-Nitrógeno (C/N) del suelo en sitios con presencia de perrito llanero mexicano. De acuerdo con el ACP, en dos sitios (Cercado1 y Cercado) se observó una disminución de la calidad el suelo debido a la alteración en las funciones que llevan a cabo los microorganismos en la descomposición de materia orgánica. Así mismo se observó una disminución en la concentración de K total. Cabe destacar que en el sitio "El Venado" se observó un aumento en la calidad del suelo debido a un incremento significativo en la concentración de algunos nutrimentos (K, Mg y Mn) y una disminución significativa en la densidad aparente del suelo, lo que se relaciona con un mayor espacio poroso. Estos resultados obtenidos en el sitio de "El Venado" evidencian condiciones más favorables para la nutrición de plantas, desarrollo de las raíces y capacidad de retención de agua.

Sitios	CE (dS m ⁻¹)	DA (g cm ⁻³)	рН	C/N	MO (%)	BM (mgC/kg)	Color
CER1-CON	0.34±0.03a	0.92±0.01b	8.01±0.02 a	17.9±0.7a	6.03±0.24a	54.9±7.61b	CGO
CER1-SIN	$0.25 \pm 0.02b$	0.97±0.01a	8.05±0.03a	12.5±0.7b	3.87±0.21b	154.3±13.6a	CGO
VEN-CON	$0.22 \pm 0.02a$	0.94±0.02b	8.02±0.04a	14.7±0.9a	5.33±0.41a	63.54±9.14a	CMO
VEN-SIN	$0.25 \pm 0.02a$	0.99±0.01a	8.05±0.03a	16.7±0.5a	4.78±0.21a	49.64±7.23a	CMO
CER-CON	$0.32 \pm 0.02a$	0.96±0.02a	7.85±0.05a	14.7±0.6a	4.18±0.18b	32.36±5.66b	CMO
CER-SIN	$0.34 \pm 0.02a$	0.92±0.03a	7.88±0.04a	13.8±0.5a	7.63±0.74a	68.15±5.54a	CMO
P-CON	$0.31 \pm 0.02a$	0.94±0.01a	7.96±0.03a	15.8±0.5a	5.18±0.22a	50.84±4.94b	CMO
P-SIN	0.28±0.01a	0.95±0.01a	8.00±0.03a	14.3±0.4b	5. 43±0.41a	93.16±10.03a	СМО

Cuadro 1. Caracterización fisicoquímica y biológica del suelo de sitios con y sin presencia de perrito llanero (*Cynomys mexicanus*) en suelos franco limosos.

CE, Conductividad eléctrica; DA, Densidad aparente; TS, Textura del suelo; MO, Materia orgánica; BM Biomasa microbiana. Comparación de medias entre sitios con y sin perrito llanero (Cynomys mexicanus). Letras diferentes en la misma fila, dentro del mismo sitio de estudio, indican diferencia significativa con base en el análisis estadístico ANOVA de una vía y prueba estadística de Tukey (α < 0.05). CER1-CON, Cercado 1 con perrito; CER1-SIN, Sitio control Cercado 1; VEN-CON, El Venado con perrito; VEN-SIN, Sitio control El Venado; CER-CON, Cercado con perrito; CER-SIN, Sitio control Cercado; P-CON, Promedio del área estudiada con perrito; P-SIN, Promedio del área estudiada control. CMO= Café muy oscuro; CGO= Café grisáceo oscuro

La calidad del suelo de los pastizales del sureste de Coahuila de Zaragoza disminuyó en sitios con presencia de perrito llanero mexicano, debido a una disminución en la comunidad microbiana, resultado de la bioperturbación inducida por este mamífero. Estos cambios en la actividad biótica del suelo pueden preceder a alteraciones detectables en las propiedades del suelo como advertencia temprana de degradación del suelo.

Los resultados de esta investigación contribuyen a la conservación del suelo al identificar las alteraciones en las funciones resultado de las bioperturbaciones de este mamífero en los pastizales del sureste de Coahuila. No obstante, tomando estos resultados como precedente, es necesario el estudio ecológico entre colonias de *C. mexicanus* para identificar los componentes que puedan estar relacionados con el aumento o la disminución de las funciones del suelo con el fin de proporcionar sitios adecuados que puedan apoyar tanto conservación del suelo como la del perrito llanero mexicano.

CONCLUSIONES

La presencia de perrito llanero mexicano disminuye la calidad del suelo, como se evidencia a través del decremento de la comunidad biológica del suelo. No obstante, cabe destacar que la presencia de *C. mexicanus* puede tener repercusiones que potencien o amenacen los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo, debido al efecto de sus bioperturbaciones entre colonias.

AGRADECIMIENTOS

Al CONAHCYT por la beca nacional brindada, a las instalaciones del CINVESTAV Unidad Saltillo por proveer las herramientas necesarias para la realización de esta investigación y a PROFAUNA A.C. por su apoyo en los recorridos pre-muestreo.

BIBLIOGRAFÍA

Bünemann, E., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R., De Deyn, G. De Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T., Mäder, P., Pulleman, M. (2018). Soil quality-A critical review. Soil biology and biochemistry. 120, 105-125.

Ceballos, G., Wilson, D. (1985). *Cynomys mexicanus*, Mammalian species. American Society of Mammalogists. 1-3.

Dantas, V., y Pausas, J. (2020). Megafauna biogeography explains plant functional trait variability in the tropics. Global Ecology and Biogeography. 29 (8), 1288-1298.

Eekhout, J., De Vente, J. (2022). Global impact of climate change on soil erosion and potential for adaptation though soil conservation. Earth-Science Reviews. 226, 103921.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2021). Estado del conocimiento sobre la biodiversidad del suelo - Situación, desafíos y potencialidades. Resumen para los formadores de políticas. Roma. FAO.

FitzPatrick, E. (1996). Introducción a la ciencia del suelo. TRILLAS. 1ª edición. Medellín.

González, D.U., Estrada E., Cantú, C. (2012). Análisis de fragmentación en colonias del perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*). CIENCIA-UANL. 15(57), 43-49.

Laundré, J., Reynolds, T. (1993). Effects of soil structure on burrow characteristics of five small mammal species. The Great Basin Naturalist. 358-366.

Martínez-Estévez, L., Balvanera, P., Pacheco, J., Ceballos, G. (2013). Prairie dog decline reduces the supply of ecosystem services and lads to desertification of semiarid grasslands. PLos One. 8(10), e75229.

Pando Moreno, M., Reyna, L., Scott, L., Jurado, E. (2013). Characterization of soil in colonies of mexican prairie dogs (*Cynomys mexicanus* Merriam, 1892) in northeastern Mexico. Revista mexicana de ciencias forestales. 4, 98-105.

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.

Scott-Morales, L., Estrada, E., Chávez-Ramírez, F., Cotera, M. (2004). Continued decline in geographic distribution of the mexican prairie dog. Journal of Mammalogy. 85(6), 1095-1101.

EL FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES PARA EL DESARROLLO RURAL SUSTENTABLE

Rodolfo Mondragón Ortigoza^{1*}

¹Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (CORENADR). Av. Año de Juárez 9700 Quirino Mendoza, Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco, C.P. 16610 Ciudad de México.

*mondragonor.corenadr@gmail.com

RESUMEN

El presente informe se realizó para conocer las distintas acciones en materia de capacitación que son organizadas por la CORENADR a través del programa Altépetl Bienestar del componente Desarrollo de Capacidades para el Bienestar Rural el cual tiene como objetivo profesionalizar el desempeño, brindar capacitación y asesoría técnica especializada a las y los beneficiarios (Gobierno de la Ciudad de México, 2023). En temáticas relacionadas a cadenas de comercialización, calidad e inocuidad, preservación, restauración de los socioecosistemas y transición agroecológica.

PALABRAS CLAVE: Agroecología; Capacitación; Comunidad; Conocimientos ancestrales; Suelo de conservación.

INTRODUCCIÓN

La Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (CORENADR), a través de la Dirección de Capacitación para la Producción Sustentable (DCPS) realiza distintas acciones encaminadas a fortalecer el desarrollo de capacidades humanas, organizativas y técnicas de los beneficiarios que pertenecen al Programa Altépetl Bienestar, mismo que busca proteger, preservar, conservar y restaurar los ecosistemas, agroecosistemas y los servicios ambientes (Gobierno de la Ciudad de México, 2023).

Con el objetivo de que se lleve a cabo se hizo indispensable la capacitación y la implementación del componente Desarrollo de Capacidades para el Bienestar Rural, mismo que inició en el año 2021, con el objetivo de profesionalizar el desempeño de los beneficiarios de los distintos componentes del programa.

La atención y desarrollo de un programa de capacitación especializado en el campo de la Ciudad de México derivó del diagnóstico realizado por el actual Gobierno de la Ciudad el cual se apega a algunos derechos fundamentales para el desarrollo de los pueblos originarios y sus comunidades, estos derechos son: Derecho a la alimentación y a la nutrición, Derecho al trabajo, Derecho a la Ciudad, y se destacan los Derechos a un medio ambiente sano y a la tierra.

Lo anterior descrito y el por qué se retoman estos derechos dentro del programa y el desarrollo de capacidades es fundamentalmente en que dichos derechos fueron vulnerados, tuvieron poca injerencia o las medidas y acciones fueron limitadas para atender a las comunidades del Campo de la Ciudad; bajo el programa de Desarrollo de Capacidades y sus línea de ayuda los temas en que se capacitan a las y los beneficiarios del Programa se relacionan a la restauración ecológica, gestión agroecológica, integración a cadenas de comercialización, ganadería sustentable y la preservación de la

agrobiodiversidad. (Gobierno de la Ciudad de México, 2023) A su vez la atención del componente de Desarrollo de Capacidades, y como se ha mencionado, aborda cuestiones técnicas, conocimientos que sirvan a las y los beneficiarios en cuestiones productivas o de preservación, pero también se marcan las capacidades humanas y organizativas con el objetivo de promover la reconstrucción del tejido social, y en el caso del Campo de la Ciudad en la reconstrucción del tejido sociobiocultural.

MATERIALES Y MÉTODOS

El informe consistió en la búsqueda y recolección de archivo documental de carácter mixto, derivado de la información proporcionada por la CORENADR a través de la DCPS con la finalidad de explicar las actividades del componente de Desarrollo de Capacidades para el Bienestar Rural. La documentación analizada constó de archivo digital principalmente, el cual proporcionó información estadística por año de aplicación, es decir del 2021 al 2023 (este último se sigue implementando y los datos referidos representan su objetivo a atender).

Año	Capacitación especializada	Beneficiarios
2021	11	1149
2022	9	1883
2023	9	3190
Total de	heneficiarios capacitados	6222

Cuadro 1. Acumulado de capacitación

Así mismo se consideró pertinente analizar los temas abordados según la capacitación especializada, derivado de que la información y lo nombre son extensos se ordenaron en categorías relacionadas a los objetivos que indica el programa. Se consideraron los objetivos y conclusiones de las capacitaciones llevadas a cabo por el Componente de Desarrollo de Capacidades, destacando aquellas con temática de producción y certificación agroecológica y de restauración del tejido social.

Temáticas 2021	Total	Temáticas 2022	Total	Temáticas 2023	Total
Reconstrucción de tejido social	1	Gestión territorial	1	Gestión territorial	1
Pecuario	1	Olivicultura	3	Olivicultura	3
Recursos naturales	5	Comercialización	2	Comercialización	2
Producción y certificación agroecológica	2	Restauración tejido social	1	Restauración tejido social	1
Gestión territorial	1	Producción y certificación agroecológica	1	Producción y certificación agroecológica	1
Comercialización	1	Desarrollo rural	1	Desarrollo rural	1

Cuadro 2. Temáticas de capacitación por año

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La capacitación es fundamental para el desarrollo de las comunidades o pueblos originarios que obtienen sus ingresos de sus actividades productivas, no obstante, es necesario el fijar metas, objetivos y rescatar las necesidades de capacitación de las regiones y sobre todo de quienes las trabajan, no se trata sólo de capacitar por capacitar o como señala Rendon *et al.*, 2015 la capacitación y asistencia técnica [...] se han focalizado en la productividad [...] se ha descuidado el propósito de la mejora sustentable de la calidad de vida de la población rural, en el cual se demanda la participación integrada de los diferentes actores.

Es por ello que se ha señalado anteriormente que se pretende la restauración del tejido social, en donde se sume la participación de los actores principales, en el caso de la CORENADR las y los productores del Suelo de Conservación a través de las Comunidades de Aprendizaje Campesino (CAC) en donde se recogen, analizan y se dialogan actividades de capacitación, colaboración e intercambio de experiencias; se mencionó anteriormente que se aunaría sobre dos temáticas en específico del Desarrollo de Capacidades la agroecología y la restauración del tejido social, pues son muestra de una base para el desarrollo integral de capacitación.

Se puede denominar que la capacitación ofrecida por la CORENADR se plantea desde lo que señala Pinedo, 1990 citando a Prado instrumento fundamental para las transformaciones psicoculturales, las que a su vez son determinantes para cualquier proceso de transformación de la sociedad, pues la intervención puede venir desde lo social, cultural y técnico, como lo fue el caso de la implementación "Pa' un campo con alegría agroecología" estrategia que consistió en la presentación teatral de contenido técnico en donde se invitaba a las y los productores hacía la transición agroecológica, retomando temas de cuidado del agua y del suelo, prevención de uso de agroquímicos, y uso de bioinsumos orgánicos.

Esto a su vez comenzó a tener repercusiones, pues productores se interesaron e indagaron más sobre la producción agroecológica, y es por ello que se llevó a cabo el proyecto de Impulso y fortalecimiento de acciones para transitar a la producción y certificación agroecológica, en donde cabe aclarar que la presentación de obras teatrales despertó el interés de más productores, pues desde el 2019 se impulsó la Norma de producción agroecológica NACDMX-002-RNAT-2019.

También la implementación de "Pa' un campo con alegría agroecología" contempló temas de corte social, como lo es la importancia de la comunidad, trabajo en equipo, convivencia y comunicación asertiva, elementos para la sana convivencia y el desarrollo de las comunidades del Suelo de Conservación.

Retomando el cuadro 2 y con base a las temáticas ahí mencionadas se puede inferir que se han abordado distintas capacitaciones en favor a las y los beneficiarios del Programa, pues se impulsa la comercialización y la producción pecuaria, así mismo se desarrollan

proyectos para seguir conociendo el territorio del Suelo de Conservación que en el presente año se están abriendo como lo es el impulso de capacitaciones para la Mujer Rural, el Rescate de Humedales y Canales, y la creación de Rutas Ecoturísticas que fomenten la economía local.

CONCLUSIONES

El Fortalecimiento de Capacidades para el Desarrollo Rural Sustentable de la CORENADR es único e inédito, pues esta estrategia que responde a una de las urbes más grandes del mundo, en donde se puede pensar que no hay campo, y en el caso de la Ciudad de México más del 60% de su territorio lo es, entre sistemas productivos y forestales, cada una de ellas resguardadas por los Núcleos Agrarios , con necesidades distintas pero que en conjunto con el Gobierno de la Ciudad han trabajado para adquirir conocimientos que les permitan la preservación, transición agroecológica, comercialización, y ecoturismo, que tendrán un impacto positivo para las comunidades.

La capacitación debe de buscar estrategias que no queden en una educación tradicional en donde uno explique y el otro trate de comprender, se deben de buscar alternativas dinámicas que permitan despertar el interés de a quienes se capacita por el Bienestar y desarrollo de las comunidades.

Finalmente, es indispensable posicionar un programa de capacidades incluyente que considere a la mujer dentro de las labores productivas en el campo, según el Instituto Nacional de las Mujeres (2021) este sector se ve vulnerado debido a que tienen dificultades para ser reconocidas como propietarias de la tierra o toma de decisiones dentro de sus representaciones.

AGRADECIMIENTOS

A la directora general de la CORENADR Ing. Columba Jazmín López Gutiérrez y al Ing. Héctor Antonio Aguilar Velazco por permitir la participación en este Congreso y en las actividades de Capacitación.

BIBLIOGRAFÍA

Archivo de la CORENADR. Consultado del 7 al 9 de agosto de 2023.

Gaceta Oficial de la Ciudad de México. 27 de enero del 2023. Consultado el 9 de agosto 2023.

INMUJERES, (2021). Año 7, Boletín N° 11, noviembre de 2021. Disponible en https://bit.ly/3OBG7Oc Consultado el 9 de agosto 2023.

Guerra, M. (1990). Desarrollo de la capacitación en México: algunas modalidades predominantes. Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (México), 20(2), 111-131.

Rendón Medel, R., Roldán Suárez, E., Hernández Hernández, B., y Cadena Íñiguez, P. (2015). Los procesos de extensión rural en México. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 6(1), 151-161.

EL USO DE BIOFERTILIZANTE EN LOS SISTEMAS AGROECOLÓGICOS DEL SUELO DE CONSERVACIÓN

Héctor Antonio Aguilar Velazco1*

¹Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural. Calle Año de Juárez 9700, San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco, CP 16629, Ciudad de México, México. *haguilar@sedema.cdmx.gob.mx

RESUMEN

Es un hito histórico realizar la transición agroecológica en una región tan extensa y tan heterogénea como es el Suelo de Conservación de la Ciudad de México, esto se debe a la propuesta de políticas públicas que tienen como propósito atender necesidades de la población urbana y rural, así como ser herramientas para enfrentar problemáticas ambientales. El presente trabajo describe el desarrollo de la promoción de biofertilizantes en los sistemas agroecológicos del suelo de conservación a través del programa Altépetl-Bienestar, contando con datos desde el 2020 hasta el mes de julio del 2023 de distribución de composta. El aumento de distribución se debe a la aceptación del insumo por parte de los productores lo que ha implicado hacer eficiente la infraestructura, así como realizar el apoyo técnico de capacitación.

PALABRAS CLAVE: Altépetl-bienestar; Transición agroecológica.

INTRODUCCION

La actividad agrícola tiene una alta presencia en el Suelo de Conservación (SC) como una de las principales actividades productivas. De las 36,500 ha agrícolas existentes en las siete delegaciones con área rural se distinguen dos tipos de prácticas agrícolas: la agricultura de riego y la de temporal, la cual es la más extensa en la región. De manera general, se siembran 28 cultivos anuales; cíclicos (ciclo corto) y 8 perennes (ciclo largo). En los últimos 17 años la superficie sembrada ha variado entre ambos tipos de cultivos, pero en conjunto han rebasado las 25,000 ha anuales. En los últimos años los cultivos de ciclo corto muestran una tendencia a la baja y los perennes amplían su cobertura de manera significativa, entre los cuales destaca el nopal-verdura en Milpa Alta y las plantas de ornato como la rosa y la nochebuena en Xochimilco; en lo general aparecen nuevos cultivos hortícolas, flores y forrajes principalmente. Los sistemas agroecológicos van a variar de condiciones dependiendo de la zona en donde se encuentren ya sea chinampería, cerril o montaña.

Una de las problemáticas en esta región son las formas de erosión en el Suelo de Conservación que varían entre moderadas a fuertes e intensas. Los procesos más importantes del deterioro edáfico en la zona son la erosión hídrica y la salinización. Utilizando la Ecuación Universal de pérdida de suelo (*USLE*, por sus siglas en inglés), se ha cálculado la susceptibilidad a la erosión hídrica a través de las coberturas de vegetación y uso del suelo, pendiente, edafología y el potencial erosivo de la precipitación. Los resultados muestran tres rangos de susceptibilidad a la erosión o promedio anual de pérdida del suelo: erosión baja (0-500 t/ha), erosión alta (500-3,500 t/ha) y erosión

extremadamente alta (3,500-10,000 t/ha). Cerca del 71.4% del Suelo de Conservación presenta una susceptibilidad a la erosión baja, mientras que 21.7% tiene susceptibilidad alta y 6.3% susceptibilidad extremadamente alta.

Como propuesta a suelos erosionados se propone utilizar los biofertilizantes que pueden actuar mediante la síntesis de reguladores de crecimiento, como auxinas y giberelinas, que producen un aumento en el desarrollo de pelos radicales y en la densidad misma de la raíz, manifestándose en el aumento de la capacidad de absorción de agua y captación de nutrientes, dando a la planta mayor viabilidad, productividad y resistencia a condiciones adversas como sequía. Las enmiendas orgánicas, tal y como se aplicó en los dos tratamientos por tres años, ayudan en la estabilidad de agregados, reducen la plasticidad, cohesión y pegajosidad de la arcilla, haciendo que los suelos sean laborables, con lo cual aumenta la capacidad de retención de agua. Los ácidos húmicos también atacan los minerales del suelo y aceleran su descomposición, aumentando nutrientes esenciales como cationes intercambiables. Influyen además en la biología del suelo al proveer alimento a los organismos del suelo (Orozco, 2016).

Altépetl-Bienestar, programa de la Ciudad de México, contribuye a la conservación, protección y restauración de los ecosistemas y agroecosistemas, además de generar bienestar para la población rural mediante el fomento de acciones comunitarias y la retribución por servicios socioambientales.

Para atender a las comunidades rurales Altépetl Bienestar se divide en cinco componentes: "Bienestar para el Bosque", "Sembrando Vida Ciudad de México", "Bienestar para el Campo", "Facilitadores del Cambio" y "Desarrollo de Capacidades para el Bienestar Rural".

MATERIALES Y METODOS

El territorio que abarca esta actividad es el Suelo de Conservación (SC) de la Ciudad de México "sin embargo, este territorio no se reparte de manera homogénea: 100 por ciento de la alcaldía Milpa Alta se encuentra en suelo de conservación; para las alcaldías de Cuajimalpa, Tlalpan y Xochimilco representa más de 80 por ciento de sus territorios, en contraste con 14 y 10 por ciento aproximadamente que corresponden a las alcaldías Gustavo A. Madero e Iztapalapa. (Ocampo, 2021).

Descripción del área de estudio

El suelo de conservación de la Ciudad de México representa aproximadamente el 59 por ciento de su territorio, más de 88 mil ha, con un clima Templado subhúmedo, concentrando el dos por ciento de la riqueza biológica a nivel mundial y a su vez, posee una gran cantidad de saberes ancestrales de importancia cultural provenientes de sus pueblos y barrios originarios, en donde se desarrollan sistemas agroecológicos milenarios. El SC de la CDMX posee ecosistemas naturales que forman un mosaico de hábitats y refugios para especies endémicas, nativas y migratorias. De igual manera, proveen regulación del clima, polinización, valor estético, entre otros. La zona posee características que, además de favorecer la biodiversidad, ofrece servicios ecosistémicos en beneficio de

toda la población de la Ciudad de México, a través de los procesos ecológicos de los recursos naturales que albergan. Entre estos servicios se encuentran: la infiltración de agua para la recarga del acuífero, del cual proviene aproximadamente 70 por ciento del agua que consume la Ciudad de México; barrera contra partículas producto de la contaminación, tolvaneras e incendios; captura de CO (un gas que contribuye al calentamiento del planeta); estabilidad de suelos al evitar la erosión, y numerosos productos medicinales y alimenticios que consumen todos los habitantes de la ciudad. (CORENADR, 2022).

Los materiales que se usaron para la presentación de esta investigación descriptiva son las bases de datos de la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural.

Hay que mencionar que la composta que se distribuye proviene de la Planta de Compostaje del Bordo Poniente, ubicada en Autopista Peñón Texcoco, Km 2.5., Zona Federal de Texcoco.

Se usaron las computadoras de la institución con paquetería office 2019

El periodo de la investigación se realizó entre febrero 2020 y junio 2023

Es una investigación descriptiva ya que hace uso de datos acumulados que permiten graficar el avance del proceso analizado.

Los datos recopilados se procedieron a ordenar en tablas para graficar y poder analizar el conjunto en su desarrollo histórico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1, se observa el aumento en la distribución de composta, así como el aumento de Unidades de Producción o sistemas agroecológicos ya que están en relación con el número de solicitudes que se benefician de este bioinsumo.

Cuadual Entraca	da camanacta mara 1	a muaduración acur	aaaaláaisa ++ ma	siamamaiamta da amalaa
Chadrot, Entrega (ue composia bara i	a production agre	becologica v me	ejoramiento de suelos.
Colorest Carrest Color	ore corribosom berrer	a produceron agri	00001081001) 1111	jordinicitie de salcies.

Año	Unidad	Cantidad
2020	Número de solicitudes	149
	Cantidad m ³	1,043
2021	Número de solicitudes	1,342
	Cantidad m ³	9,538
2022	Número de solicitudes	1,795
	Cantidad m ³	12,882
2023	Número de solicitudes	1,267
	Cantidad m ³	9,231
Total	Número de solicitudes	4,55 3
	Cantidad m ³	32,694

CONCLUSIONES

Con la implementación del programa Altépetl-Bienestar se aumenta la distribución de composta como un bioinsumos que se ocupa en los sistemas agroecológicos del suelo de conservación que fomentan la producción agrícola con un enfoque que no solamente es productivo también es para restaurar suelos que incentiva conservar el uso de suelo y evitar el avance de la mancha urbana.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a las productoras y productoras del Suelo de Conservación que mediante su práctica y dedicación fomentan servicios ambientales.

BIBLIOGRAFÍA

CORENADR, (2022). Por la conservación y preservación de los ecosistemas del Suelo de Conservación. 11-08-2023. CORENADR (cdmx.gob.mx)

Gress, F. (SD). Degradación del suelo de conservación del Distrito Federal, México. 11-08-2023. http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal15/Procesosambientales/Impactoambiental/44. pdf.

Narváez, M y Castelan, J. (2016). Suelo de Conservación. 14-08-2023. https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Libro_Suelo_de_Conservacion.pdf

Ocampo, J. (2021). Suelo de conservación de la Ciudad de México: Asuntos ambientales de la metrópoli. 11-08-2023. https://cauce.xoc.uam.mx/2021/02/13/suelo-de-conservacion-de-la-ciudad-de-mexico-asuntos-ambientales-de-la-metropoli/

Orozco, A., (2016). Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano. 21-08-2023. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000400441&lng=es&nrm=iso. accedido en 24 agosto 2023.

ELABORACIÓN DE SUELOS ARTIFICIALES A PARTIR DE RESIDUOS URBANOS: UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA REVEGETAR CIUDADES

<u>Víctor Manuel Peña Ramírez</u>^{1*}; Yesenia Paz Elizalde²; Blanca Prado Pano³ y Lucy Mora Palomino³

¹Departamento de Biología, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, Ciudad de México, C.P. 09340, México; ²Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, CP 04510, México; ³Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, CP 04510, México. *victorp29@gmail.com

RESUMEN

La agricultura urbana es una alternativa para mejorar aspectos ambientales, sociales y económicos en la Ciudad de México. Sin embargo, en este sistema frecuentemente se emplea suelo fértil que es extraído de los bosques que circundan la ciudad, sin considerar que el suelo es un recurso natural no renovable a escala humana. En este estudio se propone utilizar residuos urbanos con la finalidad de diseñar Tecnosoles que cumplan con la función de dar soporte, y aporten suficientes nutrimentos y agua disponible para las plantas. En el experimento se implementaron siete tratamientos con diferentes fracciones de materia orgánica (composta, lombricomposta, biocarbón y trozos de madera) e inorgánica (residuos de construcción y excavación). La calidad de los Tecnosoles se evaluó por medio del crecimiento y la productividad del frijol (Phaseolus vulgaris L.), mediante rasgos funcionales de hojas, tallos y raíces. Los resultados mostraron diferencias significativas en la mayoría de las variables analizadas, indicando una fuerte influencia de los Tecnosoles en el desarrollo de las plantas. De manera general, los tratamientos con lombricomposta tuvieron mejores rendimientos en comparación con los tratamientos en los que se aplicó composta y biocarbón. Sin embargo, el tratamiento 4 (30% residuos de construcción, 25% composta, 20% biocarbón y 25% trozos de madera) fue el más recomendado por su buena calidad y baja emisión de gases de efecto invernadero. Nuestros resultados sugieren que los Tecnosoles pudieron cumplir con las funciones de dar soporte y favorecer el cultivo de las plantas frijol, su uso evitaría la extracción del suelo natural.

PALABRAS CLAVE: Biocarbón; Composta; Lombricomposta; Frijol; Tecnosol.

INTRODUCCIÓN

En el 2003 se extrajeron 102 467 toneladas de "tierra negra" (horizonte orgánico) y "tierra de hoja" (mantillo), de la Zona de Conservación de la Ciudad de México, para ser empleadas en la jardinería y viveros tradicionales (Ruíz-Gómez, 2006). Estamos agotando un recurso natural no renovable a corto plazo, porque en promedio se requieren entre 400 a 1000 años para formar un centímetro de suelo.

Una alternativa al uso de suelo forestal es desarrollar Tecnosoles que realicen las funciones de los suelos naturales y además sean de bajo costo. En la Ciudad de México se calcula que diariamente se generan cerca de 2500 toneladas de residuos alimenticios y de

jardinería (JICA/GDF, 1999). Estos residuos orgánicos son procesados en diversas plantas para producir composta (Herrera *et al.*, 2008). Por otra parte, diariamente se producen 3,000 toneladas de residuos provenientes de la excavación, construcción y demolición de inmuebles (Castillo-Berthier, 2002).

En este estudio se pretende analizar la viabilidad de emplear residuos urbanos orgánicos e inorgánicos, en la elaboración de suelos artificiales que cumplan las funciones de dar sostén, aportar nutrimentos y retener suficiente agua disponible, de tal forma que plantas comestibles puedan sobrevivir, crecer y fructificar en las áreas verdes de la Ciudad de México. La calidad de los siete Tecnosoles fue evaluada por medio del crecimiento y la productividad de plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). De esta forma se promovería la agricultura urbana y se evitaría el consumo de suelo forestal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño experimental

El estudio se realizó en la planta de composta de Ciudad Universitaria, perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma de México. El montaje del experimento se realizó en febrero de 2018 y tuvo una duración de 6 meses. Se implementaron 7 tratamientos con 4 repeticiones que se distribuyeron de acuerdo con el diseño bloques al azar (Sokal y Rohlf, 2012), esto con la finalidad de disminuir el efecto del gradiente lumínico que generaba el corte de roca presente en el predio. Para que las plantas de la especie objeto de estudio (*Phaseolus vulgaris* L.) pudieran desarrollarse adecuadamente, se construyeron módulos de madera y lona de 1.45 m de largo por 1.40 m de ancho y una profundidad de 40 cm.

Los Tecnosoles estuvieron conformados por una fracción orgánica y otra inorgánica. Los materiales que conformaron la fracción orgánica fueron: composta de residuos domésticos provenientes de la planta del gobierno de la Ciudad de México, localizada en el Bordo de Xochiaca, lombricomposta adquirida con proveedores particulares, madera triturada proveniente de la planta de composta de CU, y biocarbón proveniente del Centro de Transferencia Tecnológica de Gasificación de Biomasa en la UNAM. La fracción inorgánica estuvo conformada por residuos de excavación y construcción que se adquirieron en la empresa "Concretos Reciclados". Las proporciones de los materiales que se destinaron a cada uno de los tratamientos se puede observar en la Figura 1. El tratamiento tres (T3) carecía de fracción orgánica por lo que se aplicó un fertilizante NPK (17-17-17, con micronutrimentos), a razón de 140 kg por hectárea, aplicando 6 pequeñas dosis a lo largo del cultivo (0.4 g por planta).

Las semillas de frijol se sembraron en marzo de 2018, colocándose 24 semillas por modulo y se seleccionaron un total de 12 plantas por cada módulo experimental (336 plantas en total). Una vez montado el experimento, se recolectaron muestras de cada Tecnosol. Adicionalmente se recolectaron 5 cilindros de 100 cm³ por cada tratamiento para determinar la densidad aparente. Las propiedades físicas y químicas de los Tencnoles analizadas, así como los rasgos funcionales medidos en las plantas de frijol se muestran en el Cuadro 1.

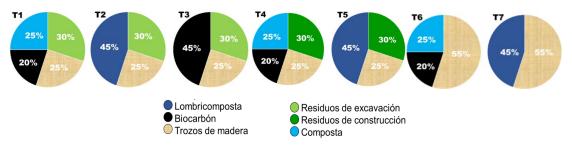


Figura 1. Composición (%) de los diferentes residuos empleados en los Tecnosoles.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En general los 7 tratamientos cumplieron con las funciones necesarias para el cultivo de plantas de frijol, como dar soporte y aportar nutrimentos, aire y agua disponible. No obstante, las variables más relevantes que están relacionadas con el crecimiento y la productividad (diámetro y biomasa de semillas, además de la altura, cobertura y biomasa de vainas), muestran que los tratamientos con el mejor desempeño fueron 2, 5, 7 y 4, los tres primeros tienen como residuo en común lombricomposta (45%) y el último contiene composta (25%) y biocarbón (20%). En todas las variables de crecimiento y productividad, el tratamiento 3 mostró los valores más bajos. En los tratamientos 1 y 6 se obtuvieron valores intermedios, que en algunas variables no se diferenciaban estadísticamente de los mejores tratamientos (Cuadro 1).

El tratamiento 7 posee propiedades físicas y químicas muy favorables para el cultivo de plantas comestibles, sin embargo, la deficiencia que tiene este suelo artificial es su baja densidad, y esto influye en su función de dar soporte, sobre todo si se quieren cultivar plantas de porte alto como el maíz. Además, otro aspecto que debe considerarse son las emisiones de gases de efecto invernadero. El tratamiento 7 posee exclusivamente residuos orgánicos, y aunque no pudimos realizar evaluaciones de emisiones de gases de efecto invernadero (metano, óxido nitroso, dióxido de carbono), por su origen orgánico, es de esperarse que sus emisiones sean mayores a las que producen otros suelos artificiales. Por lo anterior, se descartó recomendar este Tecnosol. De los tres tratamientos restantes el tratamiento 2 tiene una ventaja adicional, porque de manera natural es un suelo que tiende a formar estructura en poco tiempo. La estructuración conlleva diversas ventajas a un suelo porque mejoran propiedades directamente relacionadas con el cultivo como la porosidad, el drenaje y la estabilización de la materia orgánica, a diferencia del tratamiento 5 elaborado a partir de residuos de construcción, que son porosos porque poseen partículas de mayor tamaño (5 mm) y tardarán más tiempo en formar estructura. Originalmente se escogió este tamaño de partícula porque cuando los suelos que se colocan en contenedores tienden a compactarse impidiendo el desarrollo del sistema radical.

Con base en la literatura, se esperaba obtener mejores resultados en los tratamientos con biocarbón, diversos autores lo mencionan como una enmienda de suelos agrícolas

(Ippolito *et al.*, 2011), que recupera las funciones del suelo, y que interviene en los procesos que en él se desarrollan. El biocarbón tiene la capacidad de adsorber fuertemente nutrimentos en sus formas disponibles para las plantas (Lehmann, 2007), este proceso se presentó en los tratamientos 1, 3, 4 y 6, sobre todo porque el biocarbón solo había sido parcialmente "inoculado". La adsorción de iones se debe a que las cargas superficiales del biocarbón son positivas por lo que el pH es alcalino, principalmente en el biocarbón recién preparado. A medida que avanza el tiempo se generan más cargas negativas que positivas y se incrementa la acidez superficial con el consecuente decrecimiento de la basicidad (Cheng y Lehmann, 2009). Los cambios en las cargas superficiales del biocarbón están correlacionados muy fuertemente con el tiempo y las temperaturas anuales medias (Cheng et al., 2008). Por lo anterior, a pesar de que la concentración (%) de nutrimentos en las compostas era mayor que en las lombricompostas, en todos los Tecnosoles con composta y biocarbón (1, 4 y 6), la cantidad (kg m-2) disponible de nutrimentos fue menor. Esto fue más notorio en el tratamiento 3, en donde la cantidad de nutrimentos fue baja por carecer de compostas, además de que la cantidad de biocarbón aplicado fue la más alta de todos los tratamientos y al no estar completamente "inoculado" adsorbió una cantidad importante de nutrimentos.

Cuadro 1. Evaluación de la calidad de los siete Tecnosoles y del desempeño de las plantas de frijol.

Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7
PT (%)	69.1	67.3	74.2	61.9	65.7	73.2	73.3
DA (g cm ⁻³)	0.66	0.79	0.54	0.79	0.79	0.5	0.53
Rd Gas	8.3	7.4	8.7	8.4	7.8	8.1	7.4
SE pH CE (mS cm ⁻¹)	1.4	1.5	1.3	1.2	1.1	1.1	0.87
Evaluación de las cuarion de las CE (mS cm ⁻¹) Object daes edáficion (kg m ⁻²) N (kg m ⁻²)	84	101.5	70	52.5	84	63	150.5
<u>, </u>	34.4	22.9	35.5	53	23.1	52.6	40.1
Produced C/N (kg m ₋₅) C (kg m ₋₅)	1.7	1.8	0.9	2.8	1.7	3.2	2.6
ਜ਼ g c∖N	20.4	12.5	39.9	19.2	13.2	16.5	15.3
P (g m ⁻²)	68.2	92.7	68.7	61.1	77.7	65.7	64.7
BI (cmol m ⁻²)	15.2	24.3	13.9	20.0	17.8	15.7	15.5
Alt (cm)	31.4±0.04	41.0±0.02	20.3±0.03	43.6±0.02	39.7±0.03	38.4±0.03	47.6±0.02
유 글 Cop (cm²)	1082.4±3.03	1513.2±1.96	510.8±2.56	1459.2±1.72	1689.2±2.43	1354.2±2.53	1814.8±1.9
	6.8±0.004	8.4±0.003	5.8±0.004	7.8±0.003	9.6±0.004	8.4±0.004	9.6±0.003
မို့ BT (g)	13.7±0.05	18.5±0.05	3.6±0.06	13.7±0.06	18.5±0.05	14.4±0.06	19.4±0.06
ह्म हुं BVS (g)	13.0±0.02	16.8±0.02	11.0±0.03	17.6±0.02	15.2±0.02	16.8±0.03	17.6±0.03
De sembego BT (g) BS (g) BS (g) BS (g)	34.8±0.08	53.3±0.07	25±0.10	51.8±0.06	51.8±0.07	43.6±0.08	56.3±0.08
Nº de vainas ك	44.9±0.07	56.3±0.06	41.0±0.08	57.8±0.06	50.4±0.06	62.4±0.07	57.8±0.07
Nº de nódulos	10.4	59.2	18.8	11.7	26.8	36.8	93.75

Evaluación de la propiedades edáficas y rasgos de las plantas de frijol Muy buena Buena Media Regular Mala

Donde: Porosidad total (PT); Densidad aparente (DA); Conductividad Eléctrica (CE); Capacidad de retención de agua disponible (CRAD); Bases intercambiables (BI); Altura (Alt); Cobertura (Cob); Diámetro (Dia); Biomasa de vainas y semillas (BVS); Biomasa de semillas (BS).

Finalmente podemos mencionar que el tratamiento 4 tiene un potencial muy grande para convertirse en un excelente suelo artificial para propagar plantas comestibles. Además de contar con las propiedades ventajosas de los tratamientos 2 y 5, es el único de los 4 mejores tratamientos que posee biocarbón, por lo que adicionalmente contribuiría a reducir la emisión de gases de efecto invernadero (metano, óxido nitroso y dióxido de carbono), transformando a este suelo en un Tecnosol sostenible y de bajo impacto ambiental.

CONCLUSIONES

Se comprobó que las compostas, la madera trozada y el biocarbón, además de los residuos de excavación y construcción, pueden emplearse para elaborar suelos artificiales funcionales. No obstante, es importante realizar análisis de metales pesados en las compostas que se elaboren de forma masiva y provengan de depósitos de basura.

Elaborar los Tecnosoles a partir de residuos, les confiere una cualidad que los vuelve una alternativa viable y sostenible ante la extracción del suelo forestal que se utiliza para la producción de plantas.

Todos los suelos artificiales cumplieron con las funciones que llevan a cabo los suelos naturales destinados a la agricultura. Además, resultaron viables y favorecieron el crecimiento y la productividad de *Phaseolus vulgaris*, a pesar de que no se aplicaron fertilizantes en los tratamientos (excepto el tratamiento 3, con el peor desempeño).

El tratamiento 4 (con composta y biocarbón) resulta una mejor alternativa porque además de favorecer el cultivo de frijol, al contener biocarbón además de actuar como una enmienda para cultivos agrícolas, funciona como sumidero de carbono.

El biocarbón puede ser un excelente material para la implementación de Tecnosoles, aumenta la porosidad y la densidad aparente del suelo lo que contribuye a que las raíces puedan extenderse con facilidad. Se recomienda "inocular" el biocarbón previamente. La alcalinidad que ocasionan los residuos de construcción y en particular el biocarbón puede solucionarse aplicando la cantidad necesaria de azufre al suelo hasta alcanzar un pH entre 6.5 y 7.

BIBLIOGAFÍA

Herrera, F., Castillo, J. E., Chica, A. F., López-Bellido, L. (2008). Use of municipal solid waste compost (MSWC) as a growing medium in the nursery production of tomato plants. Bioresource Technology. 99, 287-296.

Ippolito, J.., R. Lentz, M. Novak, K. Spokas, H. Collins, J. Streubel. (2011). Biochar usage: Pros and cons. Western Nutrient Management Conference. Reno, NV, E.U.A. 9: 93-98.

JICA/GDF. (1999). Estudio sobre el manejo de residuos sólidos para la Ciudad de México de los Estados Unidos Mexicanos. Informe final, volumen 1. México: Agencia de Cooperación Internacional de Japón / Gobierno del Distrito Federal.

Ruíz-Gómez, M. (2006). El crecimiento de los asentamientos irregulares en áreas protegidas. La delegación Tlalpan. Investigaciones geográficas, (60), 83-109.

LA DIVULGACIÓN COMO PUENTE ENTRE LA COMUNICACIÓN DEL RIESGO Y LA PROTECCIÓN DEL SUELO

Ana María Lizeth Caballero García1*; Karina Elizabeth Cervantes de la Cruz1

¹Escuela Nacional de Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, *caballero@encit.unam.mx

RESUMEN

Una de las estrategias para mitigar el riesgo, es la concientización pública acerca de las amenazas, en lo cual, las campañas de divulgación son clave en formar y comunicar acerca de las amenazas y riesgos oportunamente a la sociedad, antes de que ocurra un evento que pueda afectar a la población. Por lo anterior, se organizó un taller de investigación con estudiantes de la carrera de Ciencias de la Tierra de la UNAM, cuyo objetivo fue desarrollar y analizar actividades enfocadas en la divulgación de las amenazas y riesgos geológicos, destacando aquellos relacionados con las características del suelo y su conservación. Los resultados principales fueron la generación de materiales audiovisuales en tres categorías: demostrativa, participativa y reflexiva. Las actividades y talleres realizados permitieron concientizar a la población de las causas y efectos que puede tener una amenaza geológica y dar a conocer estrategias de conservación del suelo y del ambiente, que pueden ayudar a mitigar sus efectos. Finalmente, se logró establecer un vínculo positivo con las personas que acudieron a los eventos donde se realizaron los talleres, creando una comunicación efectiva bidireccional, donde divulgadores y público participaron de las actividades y se retroalimentaron constantemente.

PALABRAS CLAVE: Amenaza; Comunicación; Preparación; Prevención

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la terminología propuesta por la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (2009), una amenaza natural es un fenómeno peligroso que puede generar desastres en la sociedad. La combinación de la probabilidad de que una amenaza afecte a la población, de manera conjunta con su vulnerabilidad, es lo que conocemos como riesgo. Una de las estrategias para mitigar el riesgo, es la concientización pública acerca de las amenazas, ya que el conocimiento de ellas permite generar actitudes o tomar acciones de manera individual, relacionadas con las amenazas presentes en una sociedad, es decir, abre el camino hacia una sociedad resiliente (Paton *et al.*, 2001). La resiliencia es la capacidad con la que cuenta un individuo o sociedad para reponerse ante una eventualidad, para lograr esto, es necesario que esa comunidad cuente con los recursos necesarios para organizarse antes, durante y después de la ocurrencia de un evento peligroso. Una de las herramientas fundamentales para aumentar la resiliencia ante las amenazas naturales son las campañas de divulgación, orientadas a comunicar las amenazas y riesgos oportunamente.

El presente trabajo se enfocó en: (1) desarrollar y analizar actividades diversas enfocadas en la divulgación de las amenazas y riesgos geológicos, muchos de los cuales están relacionados con las características del suelo y su conservación, como es el caso de

las inundaciones, los procesos de remoción en masa (deslizamientos o aludes) y los lahares (flujos de agua y rocas). (2) Identificar los problemas en la transmisión del conocimiento científico relacionado con las amenazas naturales.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se llevaron a cabo las siguientes actividades: 1) Entrevistas a la población que buscan entender la percepción de los fenómenos que la población percibe como riesgo. 2) Propuesta y desarrollo del taller de investigación: "Hacia una comunidad resiliente: Programa de educación de amenazas naturales (geológicas y del entorno espacial cercano a la Tierra) en la Ciudad de México" impartido a estudiantes de Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ciencias de la UNAM con el objetivo de desarrollar materiales de divulgación enfocados a peligros naturales, su relación con la conservación del suelo y la vegetación, así como medidas de autoprotección. 3) Búsqueda bibliográfica acerca de fenómenos geológicos e hidrometeorológicos que representan una amenaza en la Ciudad de México, causas, medidas de mitigación y planes de protección civil. 4) Elaboración de material audiovisual enfocado a dar a conocer las causas de los fenómenos geológicos e hidrometeorológicos que representan una amenaza, su relación con la conservación del suelo de ser el caso, y las medidas de protección y mitigación. 5) Presentación en el Encuentro con la Tierra (Instituto de Geología UNAM), Feria de Ciencias y Humanidades, Feria de Divulgación Científica del centro Faro de Oriente, y en la Facultad de Ciencias, entre los años 2018 y 2022. En cada evento se tuvo al menos la participación de 100 personas.

Entre los pasos 3, 4 y 5, después de cada exposición de actividades se realizó una autoevaluación grupal para poder analizar cuáles fueron los puntos clave de las actividades y qué se puede mejorar u optimizar en ellas para fortalecer el vínculo divulgador-receptor y lograr el objetivo de cada taller. Lo anterior, permitió el ajuste y rediseño de los contenidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las actividades de divulgación se desarrollaron en tres categorías: demostrativa, participativa y reflexiva. Las entrevistas de pregunta abierta dieron como resultado que la población jerarquiza los riesgos en función de su exposición al fenómeno, por lo tanto, gran parte de la población entrevistada considera los factores sociales, como la delincuencia, el factor de mayor riesgo, y no considera las amenazas naturales y su relación con el entorno y conservación de suelos un factor que pueda ocasionar daño. Con respecto a las amenazas naturales, el peligro con mayor mención fueron los sismos. En contraparte, los peligros que no se mencionaron fueron los procesos de remoción en masa.

Con relación al taller de resiliencia, los y las estudiantes involucrados mostraron un claro interés en el desarrollo de las actividades. Comprendieron la importancia de diseñar los mensajes con precisión técnica y lenguaje claro, basándose en las premisas de la comunicación efectiva "C": Mensajes cortos, claros, concisos, correctos y completos. Asimismo, que las actividades tuvieran como base una fuerte interacción con los asistentes, manteniendo siempre una relación horizontal entre los expositores y los

participantes. Los conceptos de cada actividad se mantuvieron cortos y en secuencia para asegurar la asimilación del mensaje central. Por ejemplo, en el caso de procesos de remoción en masa, erosión del suelo e inundaciones, se resaltó la importancia de la conservación del suelo y la cubierta vegetal para evitar y/o disminuir su ocurrencia.





Figura 1. Imágenes del video cuento "Juan Chulo" que habla de la relación entre la conservación del medio ambiente y el suelo y los procesos de remoción en masa.

Otro resultado importante fue que en cada taller desarrollado se produjeron fichas técnicas para que estos fueran reproducibles en casa y un video explicativo de cada actividad.



Figura 2. Estudiantes de Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ciencias UNAM que participaron en la conceptualización, diseño e implantación de los talleres. De izquierda a derecha: Fernando García Yáñez, Verónica Hernández Álvarez, Javier Morales Riech, Alfonso Alatorre García, Pamela Itzel Pedroza Rodríguez, Carlos Iván Pineda Santiago, Echéri Martínez Cabadilla. Al fondo, cartel diseñado por Alfonso Alatorre García para conmemorar los sismos del 19 de septiembre de 1985 y del 2017.

Dentro del Taller de Investigación se llevaron a cabo diferentes actividades en las cuales se abordaron los siguientes cuestionamientos: ¿Cómo ocurre un deslizamiento en masa? ¿Qué factores generan un deslizamiento? ¿Qué podemos hacer como sociedad? En primer lugar, se definieron los conceptos principales, tales como procesos de remoción en masa, resiliencia, etc. Posteriormente, se hicieron propuestas para representar los

fenómenos de deslizamiento por medio de maquetas y videos. Por ejemplo, un modelo que ejemplifica el impacto de la actividad antrópica en el medio ambiente es la inestabilidad de laderas causada por el cambio de uso de suelo y el corte de taludes en caminos y carreteras. Para documentar algunos ejemplos, en los periódicos se buscaron noticias acerca de procesos de remoción en masa, los cuales se generaron en época de lluvias torrenciales. Un ejemplo fue el deslizamiento de 2019 en la carretera México-Querétaro, en donde el colapso sepultó varios vehículos que transitaban y dejó bloqueada la vialidad durante varias horas. En este caso, se analizaron las modificaciones a las características naturales del terreno como causa de este proceso. Una forma de abordar el problema con el público en general fue hacer un modelo análogo que explicara la importancia de la cubierta superficial, suelo y vegetación, en la erosión y la estabilidad del terreno. En charolas del mismo tamaño se colocó tierra y se simuló un camino. En una pecera el camino cortaba de forma vertical el talud y no había suelo ni vegetación, en la segunda pecera, el camino cortaba en diferentes terrazas el terreno, y estas, estaban cubiertas por vegetación. Cuando se colocaba agua, hasta el punto de saturación del terreno, en la primera pecera ocurrían deslizamientos, mientras que, en la segunda pecera, el agua sólo se filtraba. Esta actividad permitió evidenciar la importancia de la conservación del medio ambiente, incluyendo su morfología y cubierta natural, para prevenir deslizamientos.

CONCLUSIONES

Las actividades de divulgación tienen diversos efectos en la población y mitigación de los riesgos, como son: (1) Concientizar a la población de las causas y efectos que puede tener una amenaza. (2) Generar un vínculo de confianza entre la academia y la población, e incluso, en otros actores fundamentales en la gestión del riesgo, lo cual es vital en momentos en los que se presenta una amenaza. (3) Favorecer la comunicación efectiva del riesgo. (4) Dar a conocer estrategias de conservación y mitigación de los efectos de las amenazas. (5) Visualizar que la protección de suelos está ligada a nuestra protección contra diferentes amenazas geológicas. (6) Establecer un vínculo positivo con las personas que acudieron a los eventos donde se realizaron los talleres, creando una comunicación efectiva bidireccional, donde divulgadores y público participaron de las actividades y se retroalimentaron constantemente.

AGRADECIMIENTOS

Un profundo agradecimiento a los estudiantes de Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ciencias quienes participaron de forma entusiasta en la elaboración y desarrollo de los talleres y videos: Echéri Martínez Cabadilla, Pamela Itzel Pedroza Rodríguez, Fernando García Yañez, Verónica Hérnandez Álvarez, Carlos Iván Pineda Santiago, Javier Morales Riech y Alfonso Alatorre García. A Violeta Ortiz Olvera quien apoyó en las entrevistas de percepción del riesgo.

BIBLIOGRAFÍA

UNISDR. (2009). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. Estrategia Internacional para la Reducción de Desa stres de las Naciones Unidas. Descargado de: www.unisdr.org/publications.

Paton, D. y Johnston, D. (2001). Disasters and communities: vulnerability, resilience and preparedness. Disaster Prevention and Management: An International Journal, 10(4), 270-277.

ELABORACIÓN DE TECNOSUELOS A PARTIR DE RESIDUOS MINEROS PARA LA RECUPERACIÓN DEL PAISAJE

<u>Daniel Emmanuel Amaro Ramírez¹;</u> Margarita Eugenia Gutiérrez Ruiz*¹; Agueda Elena Ceniceros Gómez¹; Alfredo Esaú Jiménez Ocampo¹; Francisco Martín Romero² y Luis Gerardo Martínez Jardines²

¹Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, México; ²Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, México. *ginny@unam.mx

RESUMEN

Actualmente la minería a cielo abierto genera enormes cantidades de residuos, especialmente descapote y jales, estos últimos se disponen en un depósito denominado "presa de jales". La legislación mexicana dispone que se debe de contar con un plan de cierre de estos depósitos, donde la actividad básica es el control del riesgo e integración del depósito al paisaje. El desarrollo de tecnosuelos, conforma una opción viable para lograr un cierre con la forestación en forma sustentable bajo las condiciones ambientales locales. Este estudio informa los resultados de un experimento de invernadero realizado para proponer un método de elaboración de tecnosuelos a partir de residuos mineros. Se concluyó que los jales estudiados son peligrosos por su capacidad para la generación potencial de drenaje ácido; pero no por su toxicidad (NOM-141). Los jales grises no oxidados son adecuados para elaborar tecnosuelos mediante la adición de artefactos para aumentar su fertilidad y controlar la acidificación potencial, los elementos tóxicos no se liberan a la solución. En el caso de los jales ácidos se requiere aumentar el pH mediante la adición de caliza u otros materiales y posteriormente tratarlos en forma similar a los jales grises.

PALABRAS CLAVE: Control de riesgo; forestación; jales; plan de cierre.

INTRODUCCIÓN

La minería en México ha sido una actividad importante desde la época virreinal, representa el 2.46% del PIB nacional y el 8.63% del PIB industrial y México se encuentra entre los 10 más importantes productores a nivel mundial para 16 metales (Camimex, 2023). Sin embargo, esta actividad impacta de manera importante el medio ambiente. Especialmente por el manejo de los altos volúmenes de residuos, particularmente los generados durante el descapote y la flotación (jales). Estos últimos se almacenan en depósitos denominados presas de jales que causan una reducción de los servicios ecológicos a la biota (Echavarria y Morel, 2015). La normatividad aplicable para el manejo de los jales está contenida en las normas, NOM-141-SEMARNAT-2003 y la NOM-157-SEMARNAT-2009. Los lineamientos que son la base de la elaboración del plan de manejo de la presa de jales y las actividades básicas son: (i) determinación de la peligrosidad de los jales, y (ii) el control del riesgo e integración al paisaje del depósito. El desarrollo de Tecnosuelos, es una opción viable para lograr la forestación en forma sustentable bajo las condiciones ambientales del sitio, el uso de tecnosuelos ha sido ampliamente evaluado

(Kalinski *et al.*, 2010; Nyssen y Vermeesch, 2010; Yellishetty *et al.*, 2013). En este estudio se llevó a cabo el desarrollo de un método para la elaboración de tecnosuelos con jales de una mina ubicada al norte del estado de Sonora. Específicamente las metas de esta investigación son: a) Planear e implementar una cubierta para la presa de jales con materiales que coadyuven al control del drenaje ácido y a la reducción de la solubilización de elementos potencialmente tóxicos (EPT´s), o permitan la implantación de vegetación que pertenezca a los ecosistemas locales, para lograr la integración al paisaje y b) Elaborar un tecnosuelo para cubrir la presa que permita establecer una capa vegetal que controlen los procesos de erosión eólica e hídrica, así como el arrastre mecánico de los jales. Si fuera el caso, integrar medidas complementarias de control a las antes señaladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se muestrearon jales (n=35), tepetates (n=2), caliza (n=1), suelo de descapote (n=1), fuentes de materia orgánica (n=2) y suelo de la región (n=1). Las muestras se caracterizaron determinando el pH y conductividad eléctrica (C.E.) con la norma ISO-10390:2005, las concentraciones totales de EPT's con un analizador portátil de fluorescencia de rayos X Olympus modelo DP-6000, método 6200 (USEPA, 2007). La concentración geodisponible de los EPT's se determinó mediante una digestión aplicando el método 3051A (USEPA, 2007b) y analizando mediante ICP-OES (Agilent Technologies modelo 5100), aplicando el método 6010C (USEPA, 2000). El azufre total se determinó en un analizador Leco modelo S-832 y la determinación de sulfatos se llevó a cabo con el método turbidímetro EPA-9038 (USEPA, 1986). Se calculó el balance ácido-base de acuerdo con la NOM-141-SEMARNAT-2003 y se determinó el perfil de fertilidad de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000. (%de carbono orgánico, N-NO₃, P disponible v K disponible). Con base en los resultados se seleccionaron los artefactos a utilizar (caliza, tepetate, estiércol/composta, suelo descapote) para preparar mezclas con jales (oxidado y reducido). Independientemente se evaluó al suelo de la región para tener un control de la fertilidad natural del sitio. Se diseñó un experimento factorial (31 ensayos con sus repeticiones), en total 71 muestras (macetas). Se utilizaron la hidrosiembra y el voleo, como métodos de sembrado. La densidad de siembra fue de 20 g/m². En el Cuadro 1 se presentan las composiciones de cada ensayo y la técnica de sembrado.

El experimento de invernadero se mantuvo durante 10 meses. Cada mes se midieron pH y C.E. Adicionalmente se evaluaron la clorofila y la germinación en escala cualitativa. Al final se midió la fertilidad con los métodos descritos en la NOM-021-RECNAT-2000, pH, C.E., bases intercambiables, capacidad de intercambio catiónico (CIC), elementos potencialmente tóxicos extraíbles en DTPA, P y N. Se aplicó a los resultados el análisis de componentes principales (ACP) (multivariado) considerando correlaciones de Spearman para pruebas no paramétricas. Asimismo, se obtuvieron los coeficientes de correlación lineales.

Cuadro 1. Composición de las matrices de Tecnosuelos en el experimento

Número de	Cantidad de material (g)					Técnica de	Peso				
ensayo	Jal oxidado	Jal reducido	Tepetate básico	Tepetate ácido	Caliza	Banco de préstamo	Suelo región	Estiércol	Composta	siembra	total
Ensayo 1	600	0	600	0	0	255	0	45	0	voleo	1500
Ensayo 4	600	0	600	0	0	255	0	45	0	hidro siembra	1500
Ensayo 6	0	600	0	600	136	119	0	45	0	hidrosiembra	1500
Ensayo 7	0	600	0	600	136	119	0	45	0	voleo	1500
Ensayo 8	0	600	600	0	0	255	0	45	0	hidrosiembra	1500
Ensayo 9	0	600	600	0	0	255	0	45	0	voleo	1500
Ensayo 10	0	600	600	0	0	255	0	0	45	hidrosiembra	1500
Ensayo 13	0	600	0	600	136	119	0	0	45	voleo	1500
Ensayo 14	0	600	600	0	0	255	0	0	45	hidro siembra	1500
Ensayo 15	0	600	600	0	0	255	0	0	45	voleo	1500
Ensayo 17	600	0	600	0	0	255	0	0	45	voleo	1500
Ensayo 18	600	0	600	0	0	255	0	0	45	hidrosiembra	1500
Ensayo 19	0	1455	0	0	0	0	0	45	0	voleo	1500
Ensayo 20	0	1455	0	0	0	0	0	45	0	hidrosiembra	1500
Ensayo 3	0	0	0	1455	0	0	0	45	0	voleo	1500
Ensayo 2	0	0	0	1455	0	0	0	45	0	hidro siembra	1500
Ensayo 5	0	0	1455	0	0	0	0	45	0	voleo	1500
Ensayo 12	0	0	1455	0	0	0	0	45	0	hidrosiembra	1500
Ensayo 16	0	0	0	0	0	0	1500	0	0	hidrosiembra	1500
Ensayo 21	0	0	0	0	0	0	1500	0	0	Sin siembra	1500
Ensayo 11	0	0	0	0	0	0	1500	0	0	voleo	1500
Ensayo 22	600	0	0	600	136	119	0	45	0	voleo	1500
Ensayo 23	600	0	0	600	136	119	0	45	0	hidrosiembra	1500
Ensayo 24	600	0	0	600	136	119	0	0	45	voleo	1500
Ensayo 25	600	0	0	600	136	119	0	0	45	hidrosiembra	1500
Ensayo 26	1455	0	0	0	0	0	0	45	0	voleo	1500
Ensayo 27	1455	0	0	0	0	0	0	45	0	voleo	1500
Ensayo 28	1455	0	0	0	0	0	0	0	0	hidrosiembra	1455
Ensayo 29	0	1455	0	0	0	0	0	0	0	hidrosiembra	1455
Ensayo 30	0	0	0	1455	0	0	0	0	0	hidrosiembra	1455
Ensayo 31	0	0	1455	0	0	0	0	0	0	hidrosiembra	1455

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los jales se clasificaron como peligrosos por su generación de acidez. La caliza cuenta con un potencial de neutralización (768 kg CO_3/t) adecuado para poder funcionar como neutralizante de la acidez generada por los jales. El % de MON es de 0.19% para el jal

oxidado y 0.29% para el jal reducido, valores congruentes con el carácter mineral de estos residuos. Presentaron niveles bajos de P=134 y 7.9 mg/L respectivamente, K =16 y 156 mg/L y N-NO₃ 11.2 y 3.9 mg/L. Se identificaron dos tipos de tepetates uno con pH= 2.9 y otro con pH= 11.99. La cantidad de MON del estiércol fue 25.8% y de la composta 21.9%. Esta última contiene más N soluble que el estiércol (4,737 vs 381 mg/L), aunque menos K (4,960 vs 10,382 mg/L) y P (ND vs 1044 mg/L). Los resultados del análisis indican una relación inversa de pH con C.E. (r=-0.8) y directa con grado de germinación (r=0.75) e inversa con la C.E. (r=-0.79), Cu (r=-0.74), Cd (r=-0.85), Fe (r=-0.68), Mn (r=-0.88), Ni (r=-0.88), y Zn (r=-0.84), y más débil con la clorofila (r=0.66). La germinación y la clorofila están relacionados inversamente al pH pues cuando disminuye, la fuerza iónica aumenta, evitando el crecimiento vegetal. Las semillas en las muestras sin adición de MON no germinaron.

La fitodisponibilidad es dependiente del pH. Debajo de un pH=5 los valores de todos los elementos disponibles fueron altos. El P está relacionado inversamente con el pH y directamente con Fe, Mn, Zn, Cd, Ni, Pb y C.E (Figura 1). La fitodisponibilidad del P y metales es mayor en las matrices más ácidas. La germinación está relacionada positivamente con el pH y con la clorofila; y en menor grado y en forma inversa, con la C.E. (Figura 1).

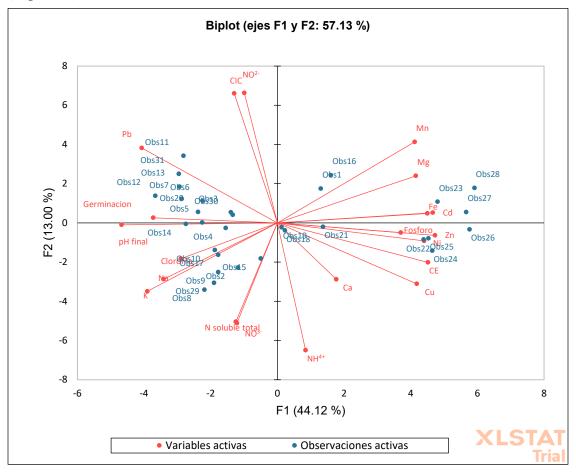


Figura 2. Gráfico biplot de análisis de componentes principales

Solamente se observó germinación en matrices con un pH \geq 5, lo que se debe a que se favorece la precipitación de sales, especialmente de Ca, con una importante disminución de C.E. En estos casos, la concentración de P fue adecuada y no se detectaron elementos tóxicos fitodisponibles. Los cationes extraíbles con DPTA están correlacionados entre sí y con la C.E. y el P disponible, posiblemente porque los minerales contienen fosfatos de metales. Los valores más altos de CIC y del total de bases intercambiables, se observan en las matrices fértiles a las que se les añadió MON, la cual es la principal responsable de la capacidad de intercambio. La concentración de N soluble fue bajo. En el jal reducido de carácter básico o neutro se observó una alta germinación añadiendo únicamente una fuente de materia orgánica (suelo, estiércol o composta). Sin embargo, se debe adicionar agente neutralizador en cantidades proporcionales al azufre oxidable, para prevenir la acidificación. La hidrosiembra aceleró la germinación, pero la cantidad de clorofila y tamaño y densidad de la vegetación a lo largo de 10 meses fue similar a las obtenidas en matrices en que se utilizó únicamente la técnica de voleo. La caliza per se no logró neutralizar a los jales oxidados posiblemente por su baja solubilidad. Es posible que en un mayor plazo pudiera aumentar su eficiencia, pero se pueden presentar otros fenómenos como la pasivación de la superficie de las partículas.

CONCLUSIONES

Los resultados del análisis de los jales y mejoradores permiten concluir que los jales estudiados son peligrosos por su capacidad para la generación potencial de drenaje ácido (presente y futura); pero no son peligrosos por su toxicidad. Para que los jales se puedan utilizar en la preparación de tecnosuelos se requiere de la adición de materiales neutralizadores que consuman la acidez actual y la que se pueda generar para lograr pH superiores a 5. A partir de todos los resultados se considera que se pueden preparar tecnosuelos a partir de jales reducidos u oxidados neutralizados adicionando materia orgánica en no más de un 3%. Se recomienda realizar un monitoreo periódico para prevenir la acidificación. Para los jales oxidados es necesario adicionar materia orgánica y tepetate con características básicas y únicamente si fuera necesario, por no contar con suficiente de este tepetate, adicionar una cantidad limitada de caliza.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Reyna Roldán Armas por su apoyo en los análisis realizados.

BIBLIOGRAFÍA

CAMIMEX (2023). Informe Anual 2023. Obtenido el 15 de agosto de 2023 de: https://www.camimex.org.mx/index.php/publicaciones/informe-anual/informe/104.

Echevarria, G., y Morel, J. (2015). Technosols of mining areas. Tôpicos em Ciência do Solo, 9, 92-111

Kalinski, M. E., Karem, W. A., & Little, L. M. (2010). Estimating hydrocompression potential of mine spoils from a site in eastern Kentucky using dry unit weight and moisture content. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 24(4), 350-362.

NOM-021. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT. (2000). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, muestreo y análisis.

NOM -141. Norma Oficial Mexicana 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

NOM-157. Norma Oficial Mexicana NOM-157-SEMARNAT (2009). Que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros.

Nyssen J., VermeeschD. (2010). Slope aspect affects geomorphic dynamics of coal mining spoil heaps in Belgium. Geomorphology; 123:109-21

USEPA (1986). EPA Method 9038 (SW-846): Sulfate (Turbidimetric). United States Environmental Protection Agency. Washington, D.C USA. 6 pp. September 1986

USEPA (2000). EPA Method 6010C (SW-846): Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry. Revision 3. United States Environmental Protection Agency. Washington, D.C. USA. 30 pp. November 2000.

USEPA (2007). EPA Method 6200: Field Portable X-Ray Fluorescence Spectrometry for the Deter-mination of Elemental Concentrations in Soil and Sediment. United States Environmental Protection Agency. Washington, D.C. USA. 32 pp. February 2007.

USEPA (2007b). EPA Test Method 3051A (SW-846): Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils. Revision 1, United States Environmental Protection Agency. Washington, D.C. USA. 30 pp. February 2007.

Yellishetty, M., Mudd, GM y Shukla, R. (2013). Predicción de la erosión del suelo procedente de vertederos de minas a cielo abierto y evaluación de sus impactos en el medio ambiente. Revista Internacional de Minería, Recuperación y Medio Ambiente, 27 (2), 88-102.

EVALUACIÓN DE LA INTERACCIÓN ENTRE MICORRIZACIÓN Y NODULACIÓN EN EL CRECIMIENTO VEGETAL DE FRIJOL

<u>Erika Camacho-Beltrán¹</u>,; Juan José Morales-Aguilar²; Melina López-Meyer³; Claudia María Ramírez-Douriet³; Gabriel Rincón-Enríquez¹; Evangelina Esmeralda Quiñones-Aguilar¹*

¹Laboratorio de Fitopatología, Biotecnología Vegetal, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. Camino Arenero 1227, El Bajío del Arenal, C.P. 45019, Zapopan, Jalisco, México. *equinones@ciatej.mx; ²Universidad Autónoma de Occidente Unidad Regional Guasave. Avenida Universidad S/N Colonia Villa Universidad, Guasave, Sinaloa, CP 81048, México; ³Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN, Unidad Sinaloa), Juan de Dios Bátiz Paredes 250, Guasave, Sinaloa. CP: 81101, México.

RESUMEN

La simbiosis micorrízica arbuscular es una asociación entre las raíces de la mayoría de las especies de plantas y un grupo de hongos del suelo. El hongo absorbe y transfiere fósforo y la planta le proporciona carbono. Por otra parte, las plantas leguminosas como el frijol forman una estrecha relación simbiótica con bacterias del género Rhizobium. En esta interacción, los rizobios inducen la formación de nódulos en la raíz de las plantas. Se sabe que el cultivo de frijol es la leguminosa más consumida en México debido a su gran aporte nutricional y bajo costo comercial. El objetivo fue evaluar la interacción entre la colonización micorrízica y la nodulación en el crecimiento vegetal de dos variedades comerciales de frijol (Azufrado Higuera y Azufrado Reyna). El experimento se desarrolló en invernadero, se evaluaron cinco tratamientos bajo un diseño completamente aleatorizado con cinco repeticiones. Se evaluaron las variables de crecimiento vegetal (número de nódulos, número de flores, número de botones y peso seco) y microbiológicas (colonización micorrízica). La inoculación con hongos micorrízicos arbusculares promovió mayor nodulación de rizobios y número de botones con respecto al testigo sin inocular en una de las variedades de frijol. Se concluye que la inoculación con los hongos micorrízicos arbusculares favorece la nodulación y el número de botones en el cultivo de frijol.

PALABRAS CLAVE: Hongos micorrízicos arbusculares; Phaseolus vulgaris; Nódulos.

INTRODUCCIÓN

La micorriza arbuscular es una simbiosis generada entre hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y la mayoría de las plantas terrestres, se estima que 90% de las especies generan una relación mutualista (Abdel *et al.*, 2017). Esta relación mutualista, mejora la capacidad de captación de agua y nutrientes (principalmente fosforo y nitrógeno), el incremento de esta captación se debe principalmente al aumento del área de contacto generado por la gran superficie del micelio del HMA (Abdel *et al.*, 2017; Bueno de Mesquita *et al.*, 2018).

Los beneficios de la interacción entre HMA y plantas varía entre especies de plantas, incluso entre variedades de la misma especie. Además de los HMA, las rizobacterias (ambos microorganismos de la rizosfera) pueden establecer relaciones mutualistas

preferentemente con las plantas leguminosas (Ibrahim *et al.*, 2019). La interacción simbiótica planta-rizobacteria da como resultado la generación de nódulos, estos crecen y se conectan con el sistema vascular (pelos radiculares), estos nódulos fijan nitrógeno atmosférico por lo que contribuyen con la nutrición de las plantas, disminuyendo la dependencia de la planta de una fuente externa de fosforo, como abonos o fertilizantes nitrogenados) (Menéndez *et al.*, 2016), por lo que las rizobacterias son utilizadas como bioinoculantes.

El frijol (*Phaseolus vulgaris*) en México es uno de los alimentos más consumidos y la segunda leguminosa de importancia comercial. En el norte de México se cultiva ampliamente la variedad Azufrado Higuera, recientemente una nueva variedad denominada Azufrado Reyna ha entrado al mercado, sin embargo, no se ha caracterizado, la interacción entre HMA, rizobacterias y las nuevas variedades de frijol. Por lo cual, el objetivo de este trabajo fue evaluar la interacción entre la colonización micorrízica y la nodulación en el crecimiento vegetal de dos variedades comerciales de frijol (Azufrado Higuera y Azufrado Reyna).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron cuatro inóculos de HMA, Funeliformes mosseae (Fm), Rizhophagus intraradices (Ri), consorcio micorrízico (CM) y Rhizophagus irregularis (RiM). Fm, Ri y CM fueron proporcionados por el Laboratorio de Fitopatología del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C (CIATEJ), mientras que RiM fue proporcionado por el Laboratorio de Interacción Microorganismo Planta del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa (CIIDIR-Sinaloa).

Para la determinación de la cantidad de esporas contenidas en el inóculo, se utilizó el método de tamizado húmedo modificado de Brundrett *et al.* (1996). La fijación y tinción de raíces se realizó con el método reportado por Phillips y Hayman (1970), y el porcentaje de colonización fue reportado con base en Giovannetti y Mosse (1980). El sustrato utilizado en el experimento fue 60% de suelo, 30% de arena y 10% de agroelita, esterilizado a 120°C, 1.05 kg cm⁻² por 6 h), inoculándose 300 esporas por planta a los 15 días posteriores a la germinación.

Diseño experimental

Se realizaron dos ensayos individuales para cada una de las variedades de frijol bajo un diseño completamente al azar. En cada experimento se evaluaron cinco tratamientos (Ri, Fm, CM, RiM y (-) Myc= sin HMA). Las unidades experimentales (UE) consistieron en una maceta de 2L con una planta de frijol con su respectivo tratamiento, se analizaron cinco repeticiones para cada tratamiento. Las variables analizadas fueron de crecimiento vegetal (número de botones, número de flores, número de nódulos, peso seco hoja); y microbiológicas (colonización micorrízica). Los datos de estas variables fueron analizados mediante un análisis de varianza y se determinaron las diferencias estadísticas entre tratamientos mediante una prueba de comparación de medias de Tukey ($p \le 0.05$). Los

análisis estadísticos se realizaron con el programa *StatGraphics Centurion* (Statgraphics, 2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación de la respuesta a los distintos tratamientos fue realizada 30 días posterior a la inoculación con los HMA. En la variedad de frijol Azufrado Reyna, el número de botones presento diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos CM en comparación con Ri (Figura 1B). Para la evaluación del número de flores, número de nódulos y el peso seco de la hoja no se observaron diferencias entre los tratamientos (Figura 1A, C, D). En la variedad de frijol Azufrado Higuera los resultados del número de flores, número de botones, número de nódulos y peso seco de la hoja no presentaron diferencias significativas entre tratamientos (Figura 2A, B, C, D).

Los porcentajes de micorrización de los distintos tratamientos en la variedad Azufrado Reyna fueron de 11.8%, 32.1%, 55.3% y 73.2%, correspondiente a los tratamientos Ri, Fm, CM, RiM, y para la variedad Azufrado Higuera fueron de 17.7%, 50.5%, 81.8% y 69.4%, respectivamente. Se observo que el tratamiento RiM fue el que obtuvo mayor porcentaje de micorrización para la variedad Azufrado Reyna y el tratamiento CM para la variedad Azufrado Higuera. La mayor nodulación se promovió por la inoculación con Fm en la variedad Azufrado Reyna, mientras que en la variedad Azufrado Higuera fue con la inoculación de RiM.

Se sabe que los HMA ayudan a la planta en la nutrición, estrés hídrico y favorecen el crecimiento vegetal, como el número de flores, peso fresco y número de frutos. También se ha observado el beneficio contra enfermedades fitopatógenas (Diagne *et al.*, 2020).

El frijol es la leguminosa más consumida en México, sin embargo, es necesario el aumento en la producción nacional, siendo necesario buscar alternativas que puedan mejorar los rendimientos de producción, que principalmente se ven afectados por sequías, plagas y acceso a nutrientes, por lo que el aumento en la producción y mejora de su rendimiento podría beneficiarse con los HMA, aunado a esto, la asociación del cultivo de frijol con bacterias del género *Rizobium*, podría ser benéfico.

La variedad de frijol Azufrado Reyna es nueva en el mercado, poco se sabe acerca de las características de la asociación de ésta con los hongos micorrízicos arbusculares y *Rhizobium*. En esta investigación se encontró que la interacción entre HMA y rizobios puede ser positiva y contribuir en el crecimiento vegetal dependiendo de la variedad de frijol. Resultados similares fueron reportados por Crespo-Flores *et al.* (2021), quienes encontraron que la inoculación de los HMA, solos o de manera combinada, con aislados de rizobios, favorece la generación de estructuras micorrízicas y la mayor colonización en *P. laevigata*.

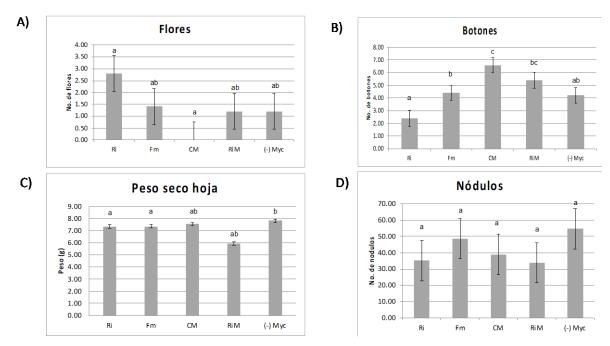


Figura 1. Evaluación de crecimiento vegetal de frijol Azufrado Reyna inoculados con diferentes inóculos de HMA en condiciones de invernadero. A) Número de flores B) Número de botones C) Pesos seco hoja D) Número de nódulos de rizobios. Ri: *Rhizophagus intraradices* (inóculo CIATEJ), Fm: *Funniliformis mosseae*, CM: consorcio Cerro del Metate, RiM: *R. irregularis* (inóculo CIIDIR), (-) Myc: sin HMA. Letras distintas en cada variable indica diferencias estadísticas de acuerdo con la prueba Tukey ($p \le 0.05$). Las barras indican \pm el error estándar.

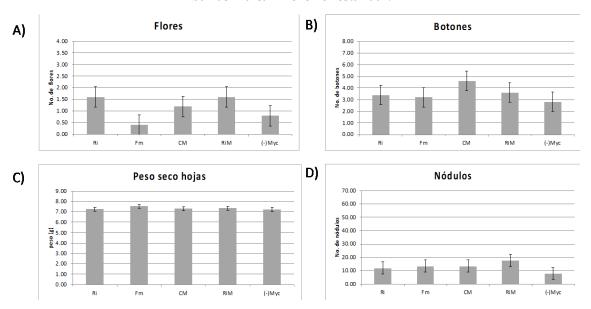


Figura 2. Evaluación de crecimiento vegetal de frijol Azufrado Higuera inoculados con diferentes inóculos de HMA en condiciones de invernadero. A) Número de flores B) Número de botones C) Peso seco hojas D) Número de nódulos de rizobios. Ri: *Rhizophagus intraradices* (inóculo CIATEJ), Fm: *Funniliformis mosseae*, CM: consorcio Cerro del Metate, RiM: *R. irregularis* (inóculo CIIDIR) (-) Myc: sin HMA. Letras distintas en cada variable indica diferencias estadísticas de acuerdo con la prueba Tukey ($p \le 0.05$). Las barras indican \pm el error estándar.

CONCLUSIONES

En frijol variedad Azufrado Reyna, la aplicación de los inóculos consorcio micorrízico y *Rhizophagus irregularis* favorecieron la generación de botones, mientras que la inoculación de *Funeliformes mosseae* favoreció la nodulación de rizobios. En la variedad Azufrado Higuera, no hubo diferencias significativas en la aplicación de hongos micorrízicos arbusculares con ningún inoculo en comparación con el control. La implementación de los hongos micorrízicos arbusculares y rizobacterias podrían aplicarse para promover el crecimiento vegetal como una opción a la innovación en nuevas variedades de frijol en Sinaloa.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue parcialmente financiado por proyectos del Laboratorio de Fitopatología del CIATEJ. E. Camacho-Beltrán agradece a CONAHCYT por la beca de estudios de doctorado.

BIBLIOGRAFÍA

Abdel-Salam, E., Alatar, A., El-Sheikh, M. A. (2017). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi alleviates harmful effects of drought stress on damask rose. Saudi Journal of Biological Sciences, 25(8), 1772–1780.

Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove, T., Malajczuk, N. (1996). Working with mycorrhizas in forestry and agriculture, Canberra, Australia.

Bueno de Mesquita, C. P., Sartwell, S. A., Schmidt, S. K. (2018). Patterns of root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes across a mostlyunvegetated, high-elevation landscape. Fungal Ecology, 36, 63–74.

Crespo Flores, G., Ramírez Tobias, H.M., Vallejo Pérez, M., Méndez Cortés, H. (2021). Coinoculación con rizobios y hongos micorrízicos arbusculares en plantas de Prosopis laevigata. Revista Méxicana de Ciencias Agrícolas. 12, 1249-1262.

Diagne, N., Ngom, M., Djighaly, I. P., Fall, D., Hocher, V., Svistoonoff, S. (2020). Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and performance: importance in biotic and abiotic stressed regulation. Diversity. 12, 2-25.

Giovannetti, M., Mosse, B. (1980). An evaluation of thechniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytol. 84, 489-500.

Ibrahim, M., Khaled, E., Mohamed, H.H., Ghulam, C. F. (2019). Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and mycorrhizae to improve the growth and nutrient utilization of common bean in a soil infected with white rot fungi. Ecotoxicology and Environmental Safety. 171, 539–548.

Lara-Flores, ML. (2015). El cultivo del frijol en México. Revista Digital Universitaria. 16, 1-11.

Menéndez, E., Díez-Méndez, A., Marcos-García, M., Celador-Lera, L., ... Mateos, P. F. (2016). Rhizobium symbiotic enzyme cellulase CelC2: Properties and applications. New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering: Microbial cellulase system properties and applications. Elsevier B.V.

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.

EXTRACTOS DE AXIHUITL CULTIVADO EN SUELOS DE BOSQUE DE PINO INHIBEN EL CRECIMIENTO DE Helicobacter pylori

<u>Marcela Ríos-Sandoval^{1,2}</u>; Evangelina Esmeralda Quiñones-Aguilar¹; Guillermo Alejandro Solís-Sánchez¹; Jorge Bravo-Madrigal²; Norma Velázquez-Guadarama³; Gabriel Rincon-Enriquez^{1*}

¹Laboratorio de Fitopatología, Biotecnología Vegetal, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Camino Arenero 1227, El Bajío del Arenal, Zapopan, Jalisco, México. C.P. 45019. *grincon@ciatej.mx; ²Biotecnología Farmacéutica y Médica, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Av. Normalistas 800, Colinas de la Normal, Guadalajara Jalisco, México. C.P. 44270; ³Unidad de Investigación en Enfermedades Infecciosas, Área de Genética Bacteriana, Hospital Infantil de México Federico Gómez, Dr. Márquez 162, Col. Doctores, Ciudad de México, México. C.P. 06720.

RESUMEN

La medicina tradicional en México es una práctica común entre la población de distintas regiones. En Tepoztlán, Morelos, se utilizan decocciones y extractos etanólicos de axihuitl (Eupatorium aschembornianum) para tratar problemas de gastritis y heridas cutáneas. Las plantas empleadas para este fin son silvestres, lo cual pone en riesgo su distribución y abundancia. La gastritis es ocasionada principalmente por la bacteria patógena humana Helicobacter pylori. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de extractos de axihuitl cultivado en suelos de pino sobre el crecimiento de Helicobacter pylori en condiciones in vitro. A partir de una parcela con características de suelo francoarenoso, ácido y con nutrición media se muestrearon plantas de axihuitl. Se realizó una extracción de los compuestos totales del axihuitl cultivado con acetona por 48 h. Posterior a la eliminación de la acetona, el extracto se disolvió en dimetilsulfóxido (30%). La cepa ATCC 43504 de Helicobacter pylori fue empleada para evaluar el efecto del axihuitl. El bioensayo se realizó en tapete bacteriano, colocando gotas del extracto sobre el tapete, seguido de medición del halo de inhibición. Los resultados mostraron inhibición del crecimiento de Helicobacter pylori. Por lo cual, mediante el uso de plantas cultivas de axihuitl en un suelo de pino es posible mantener la capacidad de inhibición de esta bacteria patógena.

PALABRAS CLAVE: Eupatorium aschembornianum; Gastritis; Recursos medicinales; Suelo forestal.

INTRODUCCIÓN

El género *Eupatorium* (tribu *Eupatorieae*, familia *asteraceae*) comprende cerca de 1200 especies distribuidas en las regiones tropicales de América, Europa, África y Asia; muchas especies de este género han sido usadas como antimalaricos, antimicrobianos, antiinflamatorios, anti ulcéricos y antioxidantes, debido al alto número de compuestos presentes, como lactonas sesquiterpénicas, flavonoides, terpenos, labdenos, entre otros (Hu *et al.*, 2023). *E. perfoliatum* ha sido usada como antiprotozoario y citotóxico, actividad que se le atribuye a compuestos sesquiterpénicos (Maas *et al.*, 2011). *E. cannabinum* y *E. cuneifolium* han demostrado tener actividad contra tumores y leucemia, debido a terpenos en sus extractos (Saito *et al.*, 2011). *E. lindleyanum* y *E. chinense* han presentado actividad

citotóxica en diversas líneas celulares tumorales (Yu et al., 2018). En la medicina tradicional China se ha utilizado E. lindleyanum como antihistamínico y antibacteriano (Ye et al., 2008). E. aschembornianum es una especie herbácea silvestre endémica del estado de Morelos, conocida como axihuitl o hierba del agua. En México, desde el siglo XVI se utilizaba para combatir dolores, infecciones, problemas gástricos y de la piel, para tratar anemia, como antinflamatorio y para el tratamiento de tumores (Argueta et al., 1994; Monroy y Castillo, 2000; Sánchez-Mendoza et al., 2010). Sin embargo, la información científica que avale estas propiedades es limitada. Sánchez-Mendoza et al. (2010) probaron que E. aschembornianum tuvo un efecto gastroprotector del 85.7% ± 4.8%; por otro lado, Navarro-García et al. (2003) evaluaron la actividad del axihuitl contra C. albicans, A. niger, T. mentagrophytes y T. rubrum, demostrando sus propiedades antifúngicas.

El suelo es un recurso importante para el desarrollo de la vida, la fertilidad de este es determinante para el crecimiento de las plantas, esta fertilidad depende principalmente de la concentración de macro y micronutrientes, materiales orgánicos e inorgánicos y agua (Tale y Ingole, 2015), por lo cual es importante conocer las condiciones fisicoquímicas del suelo, así como los requerimientos nutricionales de la planta que se desee cultivar para poder tener un buen desarrollo del cultivo.

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de extractos de axihuitl cultivado en suelos de pino sobre el crecimiento de *Helicobacter pylori* en condiciones in vitro.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta y preparación de plantas de axihuitl

El axihuitl fue colectado en una parcela ubicada en San Juan Tlacotengo, municipio de Tepoztlán, Morelos, México (Figura 1) y trasladadas al Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). Las partes aéreas de la planta (hojas, tallo, flor) fueron secadas en oscuridad y temperatura ambiente, se trituraron en un molino de cuchillas, y después en una licuadora industrial, con el fin de reducir el tamaño de partícula.



Figura 1. Plantas de axihuitl cultivadas un suelo de bosque de pino cercano a la localidad de San Juan Tlacotengo, Tepoztlán Morelos. (A) Aspecto general del cultivo de axihuitl; y (B) flores de axihuitl de la parcela cultivada.

El suelo donde se realizó la plantación de *E. aschembornianum* presentó una textura gruesa, clasificada como franco arenosa, pH ácido (4.67), contenido de materia orgánica alto (3.04%), conductividad eléctrica poco salina (1.08 ds m⁻¹), contenido de N, P, K, Ca y Mg de 7.5, 40, 80, 247 y 148 mg kg⁻¹, respectivamente. El análisis fisicoquímico del suelo fue realizado por el Laboratorio de Análisis Agrícola de la empresa de Servicios Analíticos Agroindustriales (SEANA, Tarímbaro, Mich.) de acuerdo con los procedimientos de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (NOM, 2002).

Preparación de los extractos de axihuitl

Se utilizaron 200 g de la planta molida y 800 mL de acetona al 100% (proporción 1:4), colocado todo en un matraz de 1 L, a 25°C en agitación constante con 200 rpm, protegido de la luz. El proceso se llevó al cabo durante 48 h, cambiando el solvente cada 24 h. Se realizó un filtrado y una posterior rotaevaporación. Una vez eliminado el solvente, las muestras fueron congeladas a -70°C para después ser liofilizadas. El liofilizado se almacenó en frascos sellados protegido de la luz a 4°C (Godínez, 2012).

Se realizó extracción del aceite esencial en hidrodestilador. Se pesaron 500 g de axihuitl molido y se colocó en un matraz con 5 L de agua destilada calentando hasta ebullición. La extracción se realizó durante 4 h. El aceite esencial fue almacenado en frascos estériles protegidos de la luz a 4°C. También se almacenó la parte acuosa (hidrosol).

Cepa bacteriana y medios de cultivo

La cepa bacteriana empleada de *H. pylori* en el presente estudio fue la ATCC 43504. Utilizando como medios de cultivo caldo Brucella (composición por litro: peptona de caseína 10 g, peptona de carne 10 g, cloruro de sodio 5 g, extracto de levadura 2 g, dextrosa 1 g, bisulfito de sodio 0.1 g) y agar Casman (composición por litro: agar 13.5 g, acido paminobenzoico 0.05 g, almidón de maíz 1 g, cloruro de sodio 5 g, dextrosa 0.5 g, extracto de carne 3 g, nicotinamida 0.05 g, 10 g peptona biotriptasa no. 10, polipeptona 10 g) suplementados con 10% de suero fetal bovino.

Evaluación de efectividad biológica de extractos de axihuitl en Helicobacter pylori

Se utilizó el método de tapete bacteriano, empleando a *Helicobacter pylori* en fase logarítmica para evaluar el efecto antimicrobiano, adicionando gotas de 5 µL de extracto acetónico diluido en DMSO en las concentraciones de 320, 160 y 80 mg mL-1, aceite esencial e hidrosol utilizando como control positivo espectinomicina y estreptonigrina a concentración de 10 µg mL-1 y como control negativo agua estéril. Se incubó a 37°C y 5% de CO₂ hasta la presencia de crecimiento bacteriano, después de lo cual se midieron los halos de inhibición.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Elaboración del extracto acetónico y del aceite esencial de axihuitl

Se lograron realizar los extractos con ambas metodologías empleadas, sin embargo, hubo una diferencia notable en su rendimiento. Para el extracto acetónico se obtuvo un rendimiento del 2.57% (2.57 g de extracto/100 g de axihuitl), mientras que para el aceite

esencial su rendimiento fue de solo el 0.2% (200 µL de aceite/100 g de axihuitl) (Figura 2).

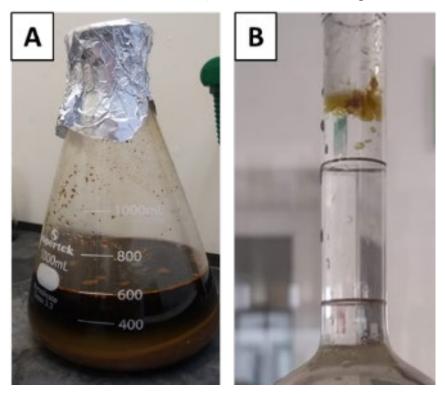


Figura 2. Aspecto general de los extractos de axihuitl. (A) extracto acetónico después del tiempo de maceración; (B) separación del aceite esencial en el hidrodestilador.

El extracto de axihuitl inhibe el crecimiento bacteriano de Helicobacter pylori

El extracto acetónico a una concentración de 320 mg mL⁻¹ presentó un halo de inhibición de 27 mm, a concentración de 160 mg mL⁻¹ mostró un halo de inhibición de 20 mm, y a concentración de 80 mg mL⁻¹ mostró un halo de inhibición de 18 mm; en cuanto al aceite esencial, se obtuvo un halo de inhibición de 30 mm, por su parte, el hidrosol no presentó efecto inhibitorio.

En cuanto a los antibióticos, se obtuvieron halos de 15 y 37 mm para espectinomicina y estreptonigrina, respectivamente. Siendo de esta manera el aceite esencial el tratamiento que mostró un mayor efecto inhibitorio, seguido del extracto acetónico a mayor concentración (Figura 3). Por lo cual, el extracto acetónico de axihuitl cultivado en un suelo de bosque de pino es la mejor opción por emplear debido a los altos rendimientos observados.

A pesar de no cumplir con todas las características ideales, el suelo de bosque de pino mostró tener la capacidad de sostener el cultivo de axihuitl. La textura gruesa del suelo indica una baja capacidad para retener nutrientes y agua, sin embargo, este tipo de suelo facilita el desarrollo del sistema radicular, los suelos con pH ácido (4.67) pueden ser tóxicos y afectar al rendimiento de los cultivos, no obstante el axihuitl presenta buen crecimiento, indicando tolerancia a dicho nivel de pH, por otro lado, el contenido de materia orgánica alto (3.04%) y la conductividad eléctrica (1.086 ds m-1), presentaron

niveles aceptables para el desarrollo del cultivo del axihuitl (Castellanos, 2000).

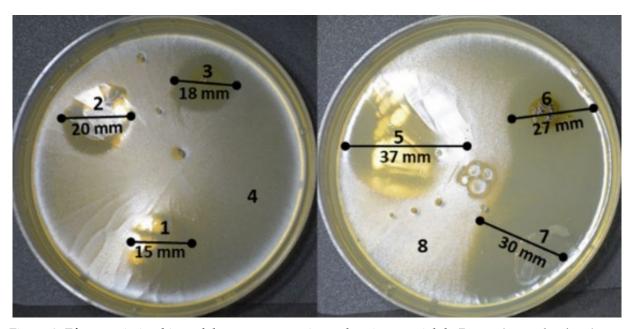


Figura 3. Efecto antimicrobiano del extracto acetónico y el aceite esencial de *Eupatorium aschembornianum* (axihuitl) contra *Helicobacter pylori* (agente causal de gastritis en el estómago de humanos). 1: espectinomicina, 2: extracto acetónico 160 mg mL⁻¹, 3: extracto acetónico 80 mg mL⁻¹, 4: agua estéril, 5: estreptonigrina, 6: extracto acetónico 320 mg mL⁻¹, 7: aceite esencial, 8: hidrosol.

CONCLUSIONES

El extracto acetónico y el aceite esencial de axihuitl (*Eupatorium aschembornianum*), cultivado en suelos de bosque de pino, poseen actividad inhibitoria del crecimiento de la bacteria patógena *Helicobacter pylori* en condiciones *in vitro*.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue parcialmente financiado por proyectos del Laboratorio de Fitopatología del CIATEJ; el FOMIX-Morelos CONAHCyT (MOR-2009-C02-120296). M. Ríos-Sandoval agradece a CONAHCYT por la beca para estudios doctorales.

BIBLIOGRAFÍA

Argueta, A., Cano, L., Rodarte, M. (1994). Atlas de las plantas de la Medicina Tradicional Mexicana. Instituto Nacional Indigenista, 1ª Edición, México D.F. 1786 pp.

Castellanos, J. (2000). Manual de Interpretación de Análisis de Suelos, Aguas. Ed. Intagri. Gto., México. 186 p Extraído de https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas

Godínez, V. (2012). Efecto antimicrobiano *in vitro* de los extractos de *Eupatorium aschembornianum* sobre *Pseudomonas siryngae* pv. *phaseolicola*. Tesis profesional para obtener el título de químico farmacobiólogo, CUCEI-UdeG, Guadalajara, Jalisco.

Hu, Y., Saito, Y., Okamoto, Y., Matsuo, Y., Gong, X., Tanaka, T. (2023). Chemical compositions of *Eupatorium heterophyllum* leaf samples from Yunnan and Sichuan provinces of China — isolation of 13 new sesquiterpene lactones. Molecules. 28: 5107. Doi: 10.3390/molecules28135107.

Maas, M., Hensel, A., Batista de la Costa, F., Brun, R., Kaiser, M. (2011). An unusual dimeric guaianolide with antiprotozoal activity and furter sesquiterpene lactones from *Eupatorium perfoliatum*. Pytochemistry 72: 635-644. Doi: 10.1016/j.phytochem.2011.01.025

Monroy, O. C., Castillo, P. (2000). Plantas medicinales utilizadas en el Estado de Morelos. Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, 1ª Edición, México, 400 pp.

Navarro-García, V. M., González, A., Fuentes, M., Avilés, M., Rios, M. Y., Zepeda, G., Rojas, M. G. (2003). Antifungal activities of nine traditional Mexican medicinal plants. Journal of Ethnopharmacology 87: 85-88. Doi: 10.1016/s0378-8741(03)00114-4

NOM-021-RECNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana). (2002). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. SEMARNAT. México, D. F. http://diariooficial.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002 (Recuperado: junio, 2023).

Saito, Y., Matsuo, S., Sutoyo, S., Tori, M. (2011). Nine new norllabdane diterpenoids from the leaves of *Austroeupatorium inulifolium*. Helvetica Chimica Acta, 94, 313-326.

Sánchez-Mendoza, M. E., Reyes-Trejo, B., Sanchéz-Gómez, P., Rodríguez-Silverio, J., Castillo-Henkel, C., Cervantes-Cuevas, H., Arrieta, J. (2010). Bioassay-guided isolation of an anti-ulcer chromene from *Eupatorium aschenbornianum*: Role of nitric oxide, prostaglandins and sulfydryls. Fitoterapia 81: 66-71. Doi: 10.1016/j.fitote.2009.07.009

Tale, S., Ingole, S. (2015). A review on role of physico-chemical properties in soil quality. Chemical Science Review and Letters 4(13): 57-66. ISSN: 2278-6783.

Ye, G., Huang, X. Y., Li, Z. X., Fan, M. S., Huang, C. G. (2008). A new cadinane type sesquiterpene from *Eupatorium lindleyanum* (Compositae). Biochemical systematic and ecology. 36: 741-744.

Yu, X., Zhang, Q., Tian, L., Guo, Z., Liu, C., Chen, J., Ebrahim, W., Liu, Z., Proksch, P., Zou, K. (2018). Germacrane-type sesquiterpenoids with antiproliferative activities from *Eupatorium chinense*. Journal of Natural Products 81: 85–91. Doi: 10.1021/acs.jnatprod.7b0069

FACTORES TOPO-EDÁFICOS Y LA COMUNIDAD ARBÓREA MOLDEAN LOS ATRIBUTOS COMUNITARIOS DE LAS LIANAS EN UN BOSQUE HÚMEDO NEOTROPICAL

<u>Iván Leonardo Ek Rodríguez^{1*}</u>; Armando Navarrete Segueda¹; Guillermo Ibarra Manríquez¹; Christina Siebe Grabach²; Jorge A. Meave³; Gilberto Vela Correa⁴

¹Laboratorio de Ecología y Sistemática Vegetal, Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM unidad Morelia, Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. San José de La Huerta, 58190, Morelia, Michoacán, México. *ekrodriguez@iies.unam.mx; ²Departamento de Ciencias Ambientales y del Suelo, Instituto de Geología, UNAM Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, Ciudad de México, México; ³Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, Ciudad de México, México; ⁴Departamento de El Hombre y Su Ambiente, UAM unidad Xochimilco, Calzada del Hueso 1100, Coyoacán, Ciudad de México, México.

RESUMEN

El efecto de la variación topo-edáfica sobre los atributos comunitarios de la vegetación es un tema central en la ecología. Sin embargo, la inclusión de las lianas en estudios ecológicos ha desafiado el entendimiento de esta interacción debido a su naturaleza multifactorial. En este estudio se evaluó la importancia relativa del suelo, la topografía y la vegetación arbórea sobre los atributos comunitarios de las lianas del bosque tropical perennifolio de la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas (EBT), Veracruz, México. Se censaron 6055 individuos de lianas con tallos ≥ 1 cm de diámetro pertenecientes a 110 especies en 15 sitios (7.5 ha) con condiciones topo-edáficas contrastantes. Se elaboró un modelo digital de elevación del área de estudio, se determinaron las propiedades fisicoquímicas del suelo y se incluyó información de los árboles con un diámetro ≥ 10 cm por parcela. A partir de técnicas estadísticas multivariadas, se encontró un efecto significativo de los gradientes topo-edáficos sobre la composición y la abundancia de las lianas, los cuales están definidos principalmente por la pedregosidad del suelo, la pendiente y la elevación. Sin embargo, este efecto está mediado por la estructura de la vegetación arbórea (e.g., densidad, área basal y diámetro) y una gran proporción de la varianza (80 %) no fue explicada, destacando la necesidad de explorar otras variables. Este trabajo contribuye al entendimiento de los factores que determinan el ensamblaje de las lianas en los bosques tropicales húmedos.

PALABRAS CLAVE: Heterogeneidad geo-pedológica; Ecología de comunidades; Selva húmeda; Plantas trepadoras.

INTRODUCCIÓN

La topografía y el suelo son factores cuyo efecto sobre los atributos de la vegetación (e.g., densidad, área basal o diversidad) ha sido ampliamente documentado (Baldeck et al., 2013; John et al., 2007). Dichos factores covarían y en conjunto determinan diversos aspectos del desempeño de las plantas, como su establecimiento y supervivencia, en los ecosistemas terrestres, particularmente en regiones tropicales con geomorfología compleja y heterogeneidad edáfica (Hulshof y Spasojevic, 2020). Sin embargo, en los

bosques tropicales húmedos las plantas presentan diversas estrategias de crecimiento que pueden responder diferencialmente a la heterogeneidad ambiental.

El papel de la variación topo-edáfica sobre las comunidades vegetales en bosques tropicales se ha enfocado principalmente en los árboles, mientras que la respuesta de las comunidades de lianas a dicha variación ha sido poco documentada. Las lianas son el segundo grupo de plantas leñosas más importantes en los bosques tropicales, abarcando cerca del 40 % de los tallos y más del 20 % de la riqueza total (Schnitzer, 2018). Se ha probado que las lianas tienen mejor desempeño que los árboles cuando la disponibilidad de agua en el suelo es limitada y tienden a reciclar nutrientes de una manera más eficaz debido a su mayor eficiencia fisiológica y a una mayor asignación de biomasa al tejido fotosintético que al de soporte (Medina-Vega *et al.*, 2022; Schnitzer, 2018; Wyka *et al.*, 2013). Además, las lianas son mecánicamente dependientes de los árboles, por lo que el efecto de la variación topo-edáfica sobre estas puede estar mediado por los atributos de la comunidad arbórea. Sin embargo, pocos estudios han explorado el efecto conjunto de la topografía, el suelo y la vegetación arbórea sobre los atributos comunitarios de las lianas.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la importancia relativa del suelo, la topografía y la vegetación arbórea en los atributos comunitarios de las lianas de un bosque tropical perennifolio, en el sureste de México. Se puso a prueba la hipótesis de que dichos factores actúan de forma sinérgica sobre la comunidad de lianas debido a que cada uno influye en el desempeño individual de las especies. Debido a que estos factores pueden explicar, en conjunto, una importante proporción de la variación en los atributos comunitarios de las lianas fue necesaria una perspectiva de partición de la varianza para entender el efecto directo e indirecto de cada conjunto de datos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio fue realizado en la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas (EBT), localizada al sur del estado de Veracruz, México. En esta reserva los suelos son jóvenes, el material parental es de tipo volcánico y presentan un alto contenido de materia orgánica. Sin embargo, la heterogeneidad geo-pedológica promueve la presencia de distintos tipos de suelo a lo largo de las 640 ha de la EBT (Flores-Delgadillo *et al.*, 1999; Navarrete-Segueda *et al.*, 2021; Nelson y Gonzalez-Caver, 1992; Verma *et al.*, 1993). La elevación del área de estudio oscila entre los 100 y los 650 m s.n.m. y la pendiente entre los 6 ° a más de 30 °.

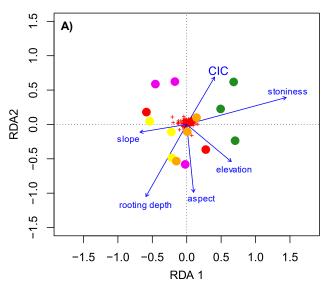
El muestreo se estratificó a partir de la propuesta de Navarrete-Segueda *et al.* (2021), en la cual se delinearon unidades del paisaje con base en características geo-pedológicas contrastantes. En cinco de estas unidades se establecieron tres parcelas de 0.5 ha (7.5 ha en total), para censar e identificar las lianas con tallos desde 1 cm de diámetro. En cada parcela se estimó la pendiente y la altitud promedio con base en un modelo digital de elevación, se describió el perfil de suelo y se tomaron muestras de cada horizonte para estimar carbono orgánico, pH, pedregosidad, profundidad fisiológica, textura y capacidad de intercambio catiónico. Para analizar el efecto de estas variables sobre la

distribución de las lianas, se realizó un análisis discriminante de redundancia parcial (pRDA), tomando en cuenta el efecto mediador de los árboles con troncos \geq 10 cm de diámetro que fueron muestreados en las mismas parcelas. Para determinar el efecto relativo de cada factor se realizó un análisis de partición de la varianza. Se verificó la no colinealidad entre las variables y se evaluó la significancia de cada modelo a partir de un análisis de varianza por permutaciones (Borcard $et\ al.$, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variables topo-edáficas explicaron un 27 % de la inercia total del pRDA después de excluir el efecto de la comunidad arbórea, con un efecto significativo (R^2 = 0.15, p < 0.05). El primer eje del pRDA representó un gradiente de pedregosidad y pendiente el cual a la vez se relaciona con la disponibilidad de agua y de nutrientes (Figura 1A). El efecto de estos factores en el desempeño individual de las lianas ha sido previamente documentado (Manzané-Pinzón *et al.*, 2018; Medina-Vega *et al.*, 2022). El segundo eje estuvo definido principalmente por la elevación, lo que coincide con estudios previos que han señalado la importancia de esta variable topográfica sobre las comunidades de lianas (Addo-Fordjour *et al.* 2014; Fadrique y Homeier, 2016; Liu *et al.*, 2021). El análisis de partición de la varianza indica que cada conjunto de datos (*i.e.*, topografía, suelo y vegetación arbórea) tiene un efecto importante sobre la distribución de las lianas en la EBT (Figura 1B) y en conjunto explican el 23 % la variación total.

Los resultados demuestran que el suelo y la topografía regulan de forma importante la variación en los atributos comunitarios de las lianas. Estudios previos no han logrado establecer una relación clara entre las lianas y la variación topo-edáfica (Bai *et al.*, 2022; Liu *et al.*, 2021; Manzané-Pinzón *et al.*, 2018; Powers, 2015), por lo que este estudio contribuye al entendimiento de los factores que influyen sobre el ensamblaje de las comunidades de lianas en bosques tropicales. La dependencia que tienen las lianas de los árboles para su establecimiento y supervivencia en el bosque se ha documentado, lo que ha llevado a subestimar el papel de la variación topo-edáfica en el ensamblaje de las comunidades de lianas (Schnitzer, 2018). Aunque los árboles tuvieron el mayor efecto individual, los resultados sugieren que este depende de las propiedades fisicoquímicas del suelo y la topografía (Baldeck *et al.*, 2013; John *et al.*, 2007), por lo que el efecto de estas últimas sobre las lianas puede ser directo e indirecto. Sin embargo, los análisis muestran una alta proporción de varianza no explicada (~80 %), lo que resalta la necesidad de más estudios al respecto que incluyen diferentes conjuntos de variables explicativas.



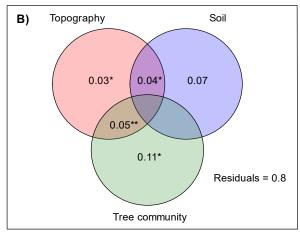


Figura 1. A) Análisis de redundancia parcial (pRDA) entre las variables topo-edáficas y la comunidad de lianas que incluye el efecto condicionante de la comunidad arbórea con diámetro ≥ 10 cm. Los puntos de color indican la unidad a la que pertenece cada parcela: Amarillo, piedemonte; guinda, pendientes medias de baja elevación; naranja, pendientes medias de alta elevación; rojo, pendientes abruptas; verde, flujos lávicos. B) Análisis de partición de la varianza que incluye todas las variables incluidas en el pRDA. Los valores dentro de los círculos indican la R^2 (sólo los mayores a 0) de cada conjunto de datos y los asteriscos indican el nivel de significancia estadística: * p < 0.05, ** p < 0.005.

CONCLUSIONES

Se determinó la importancia relativa del suelo, la topografía y la comunidad arbórea en el ensamblaje de las comunidades de lianas, mostrando un efecto bajo, aunque significativo. Los resultados enfatizan la complejidad de la interacción entre las lianas con su ambiente, destacando el papel de la elevación, la pendiente y la capacidad de almacenamiento de agua del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

Addo-Fordjour, P., Rahmad, Z., y Shahrul, A. (2014). Environmental factors influencing liana community diversity, structure and habitat associations in a tropical hill forest, Malaysia. Plant Ecology & Diversity, 7(4), 485–496.

Bai, X., Liu, Q., Mohandass, D., Cao, M., Wen, H., Chen, Y., Gupta, S. K., Lin, L., y Zhang, J. (2022). Spatial autocorrelation shapes liana distribution better than topography and host tree properties in a subtropical evergreen broadleaved forest in SW China. *Biotropica*, 54(2), 301–308.

Baldeck, C., Harms, K., Yavitt, J., John, R., Turner, B., Valencia, R., Navarrete, H., Davies, S., Chuyong, G., Kenfack, D., Thomas, D., Madawala, S., Gunatilleke, N., Gunatilleke, S., Bunyavejchewin, S., Kiratiprayoon, S., Yaacob, A., Supardi, M., y Dalling, J. (2013). Soil resources and topography shape local tree community structure in tropical forests. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1753), 20122532.

Borcard, D., Gillet, F., y Legendre, P. (2018). Numerical ecology with R. Springer Science+Business Media.

Fadrique, B., y Homeier, J. (2016). Elevation and topography influence community structure, biomass, and host tree interactions of lianas in tropical montane forests of southern Ecuador. Journal of Vegetation Science, 27(5), 958–968

Flores-Delgadillo, L., Irene, S., Alcalá-Martínez, J., y Álvarez-Sánchez, J. (1999). Estudio morfogenético de algunos suelos de la Región de Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 16(1), 81–88.

Hulshof, C., y Spasojevic, M. (2020). The edaphic control of plant diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 29(10), 1634–1650.

John, R., Dalling, J., Harms, K., Yavitt, J., Stallard, R., Mirabello, M., Hubbell, S., Valencia, R., Navarrete, H., Vallejo, M., y Foster, R. (2007). Soil nutrients influence spatial distributions of tropical tree species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(3), 864–869.

Liu, Q., Sterck, F., Medina-Vega, J., Sha, L., Cao, M., Bongers, F., Zhang, J., y Poorter, L. (2021). Soil nutrients, canopy gaps and topography affect liana distribution in a tropical seasonal rain forest in southwestern China. *Journal of Vegetation Science*, 32(1).

Manzané-Pinzón, E., Goldstein, G., y Schnitzer, S. (2018). Does soil moisture availability explain liana seedling distribution across a tropical rainfall gradient? *Biotropica*, 50(2), 215–224.

Medina-Vega, J., Wright, S., Bongers, F., Schnitzer, S., y Sterck, F. (2022). Vegetative phenologies of lianas and trees in two Neotropical forests with contrasting rainfall regimes. New Phytologist, 235(2), 457–471.

Navarrete-Segueda, A., Cortés-Flores, J., Cornejo-Tenorio, G., González-Arqueros, M., Torres-García, M., y Ibarra-Manríquez, G. (2021). Timber and non-timber forest products in the northernmost Neotropical rainforest: Ecological factors unravel their landscape distribution. *Journal of Environmental Management*, 279, 111819.

Nelson, S., y Gonzalez-Caver, E. (1992). Geology and K-Ar dating of the Tuxtla Volcanic Field, Veracruz, Mexico. *Bulletin of Volcanology*, 55(1–2), 85–96.

Powers, J. (2015). Reciprocal interactions between lianas and forest soil. In S. A. Schnitzer, F. Bongers, R. J. Burnham, & F. E. Putz (Eds.), *Ecology of Lianas* (pp. 175–187). Wiley-Blackwell.

Schnitzer, S. (2018). Testing ecological theory with lianas. New Phytologist, 220, 366–380.

Verma, S., Salazar V., Negendak, J., Milán, M., Navarro, I., y Besch, T. (1993). Características petrográficas y geoquímicas de los elementos mayores del Campo Volcánico de Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Geofísica Internacional*, 32(2), 237–248.

Wyka, T., Oleksyn, J., Karolewski, P., y Schnitzer, S. (2013). Phenotypic correlates of the lianescent growth form: A review. *Annals of Botany*, 112(9), 1667–1681.

FERTILIZACIÓN FOLIAR Y CONTROL BIOLÓGICO CON DRONES

Jorge Luis Fares Vásquez^{1*}; Moisés Isaí Martínez Evadista¹

¹Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural, 9700, Ciudad de México, México. *Jorgeluissss1997@gmail.com

RESUMEN

La agricultura ha tenido una constante evolución, se ha realizado una transición desde el laboreo con animales, hasta el uso de drones que cuentan con inteligencia artificial e innumerables sensores que hacen diversas tareas de manera precisa, optimizando recursos y tiempo. Por ende, el comprender las aspersiones de bioplaguicidas y fertilizantes foliares mediante un dron DJI modelo Agras T30, es fundamental para conocer las diversas tecnologías que se relacionan a las nuevas metodologías de prevención de plagas y/o enfermedades, así como deficiencias nutrimentales del Suelo de Conservación (SC). Al verificar una zona y detectar los factores bióticos y abióticos que generan una posible merma en rendimiento, se asperjan bioestimulantes o bioplaguicidas con un dron de 30 litros de capacidad usado por la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (CORENADR), la cual ha atendido 1,607.36 ha en cuatro alcaldías, Milpa Alta, Tlalpan, Tláhuac y Xochimilco de la Ciudad de México en el periodo de 2022 a agosto de 2023 combatiendo plagas como: Mancha Negra (*Pseudocercospora opuntiae*), Grana Cochinilla (*Dactylopius indicus*), Gusano Cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y Gusano soldado (*Mythimna unipuncta*).

PALABRAS CLAVE: Aspersión; Plagas; Tecnología; Agricultura 4.0.

INTRODUCCIÓN

La agricultura ha tenido una constante evolución durante el paso de los años. Se ha pasado del laboreo con animales (agricultura 1.0) hasta precisas máquinas geoposicionadas que reducen al mínimo el error humano. Hoy en día gracias a los avances en materia de ciencia y tecnología estamos ante un cambio en la forma de producir alimentos, la agricultura 4.0 es una revolución asociada a la inteligencia artificial y la Big data para establecer un escalamiento tecnológico agrícola. La Implementación de la tecnología enfocada a la producción sostenible busca ser más productiva y que haga cara a aquellos desafíos como la seguridad alimentaria que se presenta de forma tanto local, regional y global (Best y Vargas, 2020). El hardware que más domina en este tipo de agricultura engloba drones con sensores que hacen que la labor que ejerzan sea precisa y optimice recursos (Mooney y Grupo ETC, 2019). Un ejemplo del uso de drones en la agricultura es la forma en la que se asperjan los campos de cultivo del Suelo de Conservación (SC).

La constante aplicación de plaguicidas de carácter químico y el excesivo consumo de agua (200 a 400 L / ha), representan no solo un problema local en SC, sino que es un tema de importancia mundial. Ya que el uso irracional de plaguicidas aplicados al medio ambiente, contaminan acuíferos, suelos, suelen ser nocivos para fauna no objetivo, crean resistencia de plagas y ocasionan problemas de salud a la población que los aplica (García

y Rodríguez, 2012). Aunado a ello los cultivos no solo están limitados por estos factores, los problemas abióticos y las características del suelo físicas, complejidad de ingreso y pendiente de los terrenos, hacen que maquinarias y personas no puedan realizar de manera correcta y eficaz la aplicación de insumos relacionados al manejo del cultivo. Ante esta situación el uso de insumos agroecológicos como bioplaguicidas y el uso de bioestimulantes son una alternativa en SC.

El uso de drones agrícolas, ayudan a la aspersión de cualquier área sin importar las condiciones físicas del suelo ya que este se posiciona sobre el cultivo realizando una aspersión mediante el efecto *downwash* el cual permite la distribución uniforme de los productos líquidos sobre los cultivos, asegurando una cobertura homogénea y eficiente, mejorando la efectividad de la aplicación (Yang *et al.*, 2022).

Por ende, es fundamental comprender las aspersiones de bioplaguicidas y bioestimulantes mediante un dron DJI modelo Agras T30, para la prevención y control de diversas plagas y enfermedades, de tal manera que se genere información sobre nuevas formas de aplicación de estas nuevas tecnologías que son novedosas en la Ciudad De México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las aspersiones se realizaron en cuatro alcaldías de la Ciudad de México: Milpa Alta, Tlalpan, Tláhuac y Xochimilco bajo la supervisión de la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (CORENADR) ubicada en Av. Año de Juárez 9700 Quirino Mendoza, Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco, Ciudad de México.

Para la aspersión se usó un dron agrícola de la marca DJI modelo Agras T30, este equipo se seleccionó por que cuenta con diversas características las cuales son (DJI, consultado el 24 de agosto de 2023):

- Tanque de rociado de 30 litros
- Radar esférico para detección de obstáculos
- 16 boquillas de rociado
- Control remoto para una planificación de vuelo
- Caudalímetro electromagnético de dos canales, con error +/- 2%
- Indicador de nivel para la detección de carga de producto para aplicar y con predicción inteligente de suministro.
 - Ancho de rociado de 9 metros de cobertura
- Rociado de 7.2 L/min. (boquillas XR11001) y 8 L/min (boquillas TK-VK04, para aplicación en árboles)
- El AGRAS T30 tiene una velocidad máxima en funcionamiento de vuelo de 7 m/s (25.2 km/h).

A su vez se realizó una georreferenciación de cada predio asperjado mediante un equipo de Sistema de Posicionamiento Global (*GPS*).

Marca Trimble modelo Nomad 900

Los Insumos de bioplaguicidas fueron a partir de extractos botánicos y en el caso de los fertilizantes foliares fueron aminoácidos y algas marinas, los diversos insumos usados fueron:

- Extracto de Neem (Azadirachta indica) 80 %. Insecticida / acaricida.
- Extracto de ajo (*Allium sativum*) 25 %, chili picante (*Capsicum frutescens*) 25 % y canela (*Cinnamomun zeylanicum*) (10 %). Insecticida.
 - Extracto de gobernadora (*Larrea tridentata*) 95 %. Fungicida / Bactericida.
- L-aminoácidos 40 %, concentrados de algas marinas 20 % y extractos vegetales 10 %. Bioestimulante.
 - Sales potásicas de ácidos grasos 40 %. Adherente.

Cada vez que se realizaba una aspersión se georreferenció el predio mediante el control del dron y el equipo *GPS* para crear un plan de vuelo.

Plan de vuelo: el primer paso en las planificaciones de vuelos fue el recorrido de las unidades productivas para delimitar la zona de aplicación de los productos. Esto nos permitió identificar obstáculos u objetos que perjudicaran el vuelo sobre la unidad productiva, así como visualizar el estado fenológico, problemas fitosanitarios y nutricionales de los cultivos. Además, se realizaron valoraciones de la pendiente del terreno, puesto que el dron (AGRAS T30) tiene un sensor para el seguimiento del mismo, contemplando el límite del 35% de pendiente para realizar el seguimiento; en este sentido, se valoraba si la operación se automatizaba o se recurría a un vuelo manual para la aplicación.

Preparación de insumos a asperjar: una vez obtenida la información sobre las plagas, enfermedades y factores nutricionales, se realizaba la formulación de los bioplaguicidas, fertilizantes y adherente en razón a el tipo de información recolectada. El primer paso es llenar un recipiente con capacidad de 20 litros, el cual era llenado con 15 litros de agua, para posteriormente agregar primero los bioplaguicidas en el siguiente orden: soluciones concentradas, emulsiones concentradas, líquidos solubles, abonos foliares y coadyuvantes. Es importante mencionar que cada vez que se agregaba un producto, se agitaba para integrar cada insumo y una vez lista la mezcla se procedía a llenar el tanque del dron.

Consideraciones de altura, velocidad y caudal: es importante mencionar que, tanto en la realización de vuelos automatizados o manuales se debía tomar en cuenta parámetros, tales como altura de vuelo, velocidad a la que se estaría aplicando el producto y además de considerar el caudal o litros de rociado por minuto. Cabe mencionar, que la velocidad y el líquido rociado estaba en función de la superficie y la forma del terreno, en cambio, la altura de vuelo dependía del tipo de cultivo y del nivel de crecimiento de este.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la aspersión realizada se asperjaron 1,607.36 ha en alcaldías como: Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan y Xochimilco; esto ha permitido fertilizar 709.36 ha, así como la aplicación de bioplaguicidas en 566.86 ha, además de 331.14 ha de producto combinado (ambos insumos), beneficiando a 446 productores. En la región de Milpa Alta se atendieron problemas de plagas como: Grana Cochinilla (Dactylopius indicus) y Mancha Negra (Pseudocercospora opuntiae). Por el caso contrario en la alcaldía Tláhuac se atendió principalmente Gusano Cogollero (Spodoptera, frugiperda) y Gusano Soldado (Mythimna unipuncta). En el caso de Tlalpan se combatió Gusano Cogollero (S. frugiperda) y Frailecillo (Macrodactylus spp). Finalmente, en la región de Xochimilco la principal plaga combatida fue el Chapulín (Sphenarium spp). Al usar un dron, el movimiento descendente del aire que se ocasiona por un rotor hace que se genere un cambio de dirección de este, ocasionando que las partículas de agua bajen de forma giratoria recorriendo todos los espacios aéreos de la planta, de tal manera que estas quedan inmersas por el bioplaguicida o fertilizante foliar, asegurando que el insumo llegue a espacios de difícil acceso para otros equipos de aspersión (Yang et al., 2022). Aunado a ello, Navia (2019), comenta que la aplicación y consumo de un agroquímico es más efectiva con un tamaño de gota aproximado de 100 µm. Por lo que al tener una boquilla SX11001 se logra un tamaño de gota de los 130 a 250 µm generando más gotas por cm² y que al usar extractos botánicos los cuales han sido cuantificados se puede tener un control de las poblaciones de plaga objetivo, ya que estos disminuyen la supervivencia, evitan el desarrollo y la taza de reproducción (Nava et al., 2012).

CONCLUSIÓN

En el uso de nuevas tecnologías en el manejo integrado de plagas y fertilización foliar se debe adoptar con la finalidad de que las instituciones brinden apoyo al campo mexicano para enseñar nuevas formas de aplicación, y concientizar a la población sobre el uso de agua, la aspersión de plaguicidas y el cuidado del medio ambiente. Ya que usar un dron representa un ahorro de hasta el 90% de agua como se observó en las distintas aplicaciones, en el suelo de conservación. Asimismo, garantiza una baja exposición del personal a los insumos que necesitan los cultivos.

BIBLIOGRAFÍA

AGRAS T30. (2023). Un nuevo dispositivo de referencia digital para la agricultura.

Best, E y Vargas, P. (2020). Aplicación de la agricultura tecnológica 4.0. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago de Chile. Chile. 148. Pág. 1.

Yang, F., Zhou, H., Chen, Q., Zhou, L. (2022). A Method to Study the Influnce of the Pesticide Load on the Detailed Distribution Law of Downwash for Multi-Rotor UAV. Application of UAVs in Precision Agriculture. China. Pág. 1.

García, C., Rodriguez, G. (2012). Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. Universidad Autónoma Indígena de México. 8, (3). Sinaloa. México. Pág. 1.

Nava, E., García, C., Camacho, J., Vázquez, E. (2012). Bioplaguicidas una opción para el control biológico de plagas. Universidad Autónoma Indígena de México. México. 8. (3b). Pág.19.

Mooney y Grupo ETC. (2019). La insostenible agricultura 4.0 digitalización y poder corporativo en la cadena alimentaria. Grupo ETC. Ciudad de México. Pág. 15.

HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES: PROMOTORES DEL CRECIMIENTO EN ESPECIES VEGETALES DE INTERÉS AGRÍCOLA BAJO CONDICIONES ALTAMENTE SALINAS

<u>José Anatolio Félix Ruiz 1*</u>; Fernando Amílcar Solís-Domínguez 1; Ma. del Carmen González Chávez²; Aseneth Herrera Martinez¹; Rogelio Carrillo González², Jaime Alonso Reyes López³; Jorge Ramírez Hernández³; Angélica López Izquierdo¹.

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali 21280, Baja California, México; ²Laboratorio de Química Ambiental, Programa de Edafología, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Campus Montecillo, Texcoco, México 56230, México; ³Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali 21280, Baja California, México.

*jose.felix91@uabc.edu.mx

RESUMEN

Los problemas agrícolas producidos por la salinidad conllevan a la búsqueda de soluciones amigables con el ambiente y de costo accesible. Los hongos micorrízicos arbusculares son organismos microscópicos que viven en una relación simbiótica obligada con 80% de las plantas terrestres y son una solución alternativa a los problemas de salinidad en suelos agrícolas, ya que aportan a las plantas beneficios que les permiten soportar las condiciones asociadas al estrés salino (sequia, pH alcalino elevado, escases de nutrientes, concentraciones elevadas de sales en el suelo). El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial de dos consorcios de hongos micorrízicos arbusculares como inoculantes micorrízicos (HMA1 y HMA2), obtenidos del suelo rizosférico de especies vegetales nativas del municipio de Mexicali, Baja California, adaptadas a suelos salinos. Los inoculantes se aplicaron en zanahoria y lechuga crecidas en un sustrato altamente salino (60 y 120 mM de NaCl). Las mejores características observadas en el crecimiento de las plantas se obtuvieron con el inoculante HMA2, el cual es una alternativa para reducir el estrés vegetal bajo condiciones de salinidad.

PALABRAS CLAVE: Desierto; Estrés salino; Micorriza arbuscular; Salinidad.

INTRODUCCIÓN

Es importante entender como sobreviven algunas plantas en los ambientes salinos y altas temperaturas cuando se asocian con hongos micorrízicos arbusculares (HMA). Los suelos del Valle de Mexicali tienen alta concentración por sales desde el año 1960 (Ward, 2001) y la problemática se intensifica debido a los cambios ambientales extremos de la región, los cuales provocan aumentos drásticos en las temperaturas anualmente, produciendo una aceleración en la acumulación salina y la pérdida de cultivos. La diversidad de HMA asociados a las raíces de las plantas adaptadas en los suelos salinos de Mexicali se desconoce; sin embargo, estos hongos podrían tener potencial para mitigar los efectos de la salinidad en los cultivos de interés para la región. Hasta el momento no se cuenta con un inoculante micorrízico que se pueda utilizar en cultivos de la región o para la adaptación de plantas en ambientes salinos.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial, como inoculantes micorrízicos, de dos consorcios de hongos micorrízicos arbusculares (HMA1 y HMA2) obtenidos del suelo

rizosférico de especies vegetales nativas del municipio de Mexicali, Baja California adaptadas a suelos salinos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Como una fuente de inóculo nativo de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se estudiaron los suelos rizosféricos de cinco especies vegetales nativas y adaptadas a las condiciones áridas y salinas del municipio de Mexicali (*Prosopis* spp., *Lycium andersonii*, *Pluchea sericea*, *Larrea tridentata* y *Haplopappus* sp.). El sitio de estudio se localiza entre los paralelos 31°23′00′′ y 32°39′00′′ latitud norte y los meridianos 115°02′00′′ y 115°59′00′′ de longitud oeste. A estos suelos se le realizó análisis físicos y químicos (determinación de pH, conductividad eléctrica, porcentaje de humedad, textura de suelos, cationes solubles, cationes solubles (Anderson e Ingram, 1993; NOM-021-RECNAT-2000, 2002), materia orgánica (Walkley y Black, 1934), nitrógeno total (Kjeldahl, 1883) y fósforo disponible (Olsen *et al.*, 1954)) para determinar las condiciones a las cuales estaban adaptadas estas plantas y los HMA que las colonizan.

Las esporas y esporocarpos de las muestras de campo se propagaron en macetas utilizando una mezcla de arena estéril: suelo rizosférico de cada especie vegetal (1:1). *Lactuca sativa* L. var. Longifolia (lechuga romana) se utilizó como planta trampa. Después de 6 meses se analizó el porcentaje de colonización micorrízica, la biomasa seca y el número de esporas y esporocarpos (datos no presentados).

Por su infectividad y efectividad los inoculantes micorrízicos que se seleccionaron fueron: El consorcio de esporas y esporocarpos provenientes de la rizósfera de *Prosopis* spp (HMA1), mismo que tuvo 12 morfotipos; y el consorcio micorrízico proveniente de la rizósfera de *Lycium andersonii* (HMA2) con 13 morfotipos.

Los experimentos de efectividad de estos consorcios en plantas de interés agrícola se realizaron en condiciones de invernadero (temperatura promedio de 29 °C). Los consorcios HMA1 y HMA2 se inocularon (2000 propágulos por planta) en *Daucus carota* (zanahoria) y lechuga. Durante el experimento las plantas se regaron con solución de *Long-Ashton* baja en fosfatos (11 mg L-1 de P) (Biermann y Linderman, 1983) y con concentraciones de NaCl (0, 60 y 120 mM). Las plantas se cosecharon a los 40 días y se determinó la colonización micorrízica, altura, longitud de raíces, biomasa seca y contenido de clorofila de las plantas (Lichtenthaler, 1987; Yan *et al.*, 2021), pH y conductividad eléctrica (CE) del sustrato.

El experimento se realizó con un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza y comparación de medias (Tukey, α =0.05) con el software *Minitab* 2018.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El suelo rizosférico de las cinco especies vegetales estudiadas en campo y de donde se obtuvieron los inoculantes tuvieron textura arenosa, pH alcalino en un intervalo entre 7.82 a 8.60, la CE correspondió a un suelo de ligeramente a fuertemente salino (1.17 y 6.76 dS m⁻¹), el contenido de materia orgánica fue moderado (entre 2.1 a 3.1%). La humedad

del suelo fue muy baja (entre 0.17 y 1.50%). La concentración de fósforo fue de mediana a elevada (12 a 61 mg kg⁻¹), mientras que la concentración de nitrógeno fue baja (entre $2.33 \text{ y } 43.17 \text{ mg kg}^{-1}$), al igual que la CIC (de $1.9 \text{ a } 10.93 \text{ cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$).

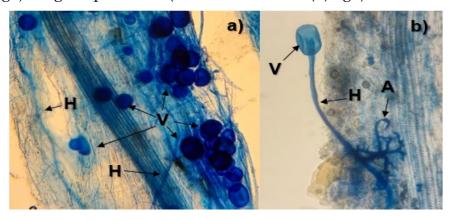


Figura 1. Colonización micorrízica en plantas de lechuga y zanahoria inoculadas con HMA1 y HMA2. a) raíces de lechuga, objetivo 40x, b) raíces de zanahoria colonizadas por HMA1 con NaCl. Imágenes tomadas con un microscopio compuesto *Carl Zeiss* con el objetivo 40x, respectivamente. H=hifas; V=vesículas; A=arbúsculos.

El inoculante HMA2 mostró significativamente mayor porcentaje de colonización micorrízica que lo observado con HMA1, tanto en zanahoria (intervalo de 82.67± 3.06 a 96.6±5.77%), como en lechuga (intervalo de 80.3±29.8 a 98±2%). Las concentraciones de NaCl (60 y 120 mM) no tuvieron influencia en el porcentaje de colonización. Entre los tratamientos inoculados con HMA1 no hubo diferencia significativa (p>0.05) en la colonización micorrízica. Las plantas de zanahoria presentaron un intervalo de colonización de 36±12 a 79.33± 4.04% y en las plantas de lechuga de 45.17±15.09 a 65±24%. A pesar de las condiciones fuertemente salinas en que crecieron las plantas, la colonización micorrízica no se inhibió (Figura 1).

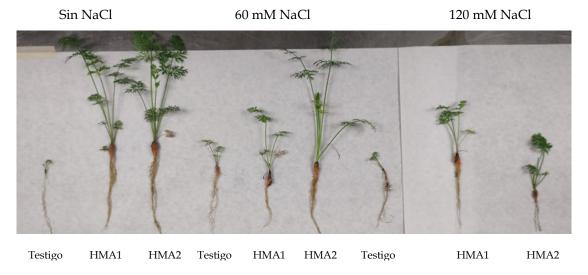


Figura 2. Efecto del NaCl e inoculación con dos consorcios micorrízicos en el crecimiento de zanahoria.

Cuadro 1. Altura, longitud de las raíces y conductividad eléctrica en zanahoria y lechuga.

	Parte aérea		Longitud de la Raíz			CE final	
Tratamiento	Zanahoria	Lechuga	Zanahoria	Lechuga	CE inicial	Zanahoria	Lechuga
Testigo sin	1.2 ± 1.0	2.7 ± 0.9	4.50 ± 4.3	1.2 ± 0.0	0.8	2.09 ± 0.2	1.95 ± 0.1
HMA	d	b	b	c		e	e
HMA1	8.97 ± 4.9	4.2 ± 1.1	$10 \pm 4.6ab$	4.83 ± 1.8	0.88	1.93 ± 0.1	2.43 ± 0.3
	abc	b		bc		e	e
HMA2	15.2 ± 3.8	8.7 ± 3.78	14.33 ± 2.08	13.33 ± 3.54	0.75	2.11 ± 0.23	1.95 ± 0.38
	A	a	a	a		e	e
Testigo + 60	$4.3 \pm .6$	2.1 ± 1.44	7.83 ± 1.76	0.7 ± 1.21	6.39	5.18 ± 0.10	5.94 ± 0.14
mM NaCl	Bcd	b	ab	b		С	С
60 mM	6.3 ± 0.6	2.8 ± 1.91	11.38 ± 0.76	3.83 ± 0.29	6.39	4.38 ± 0.10	4.93 ± 0.41
NaCl + HMA1	Bcd	b	ab	bc		d	d
60 mM	11 ± 3.5	2.5 ± 1.32	11.67 ± 2.89	8.47 ± 3.01	6.39	4.05 ± 0.61	4.34 ± 0.02
NaCl + HMA2	Ab	b	ab	ab		d	d
Testigo	2.6 ± 1.6	2.7 ± 0.93	11.17 ± 3.82	5.4 ± 1.04	12.78	$11.28 \pm 0.08a$	11.72 ± 0.12
+120 mM NaCl	cd	b	ab	bc			a
120 mM	7.2 ± 0.76	1.5 ± 0.93	12.33 ± 2.89	3.5 ± 0.87	12.78	9.33 ± 0.10	11.73 ± 0.02
NaCl + HMA1	bcd	b	ab	bc		b	a
120 mM	$8.50 \pm .50$	5.7 ± 2.51	11.83 ± 0.57	7.20 ± 3.30	12.78	8.82 ± 0.06	9.78 ± 0.13
NaCl + HMA2	bc	b	ab	b		b	b

Los datos representan el promedio \pm desviación estándar (n = 3). Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, p<0.05.

Las plantas de zanahoria inoculadas con HMA2 y sin NaCl tuvieron significativamente mayor altura (15.2±3.81 cm), longitud de raíces (14.33±2.08 cm), biomasa seca (0.24±0.05 g) y contenido de clorofila (22.16±6.99 mg ml-¹) en comparación con las plantas sin inocular y sin NaCl (1.2±1.04 cm; 4.50±4.27 cm; 0.006± 0.005 g y 0 mg ml-¹, respectivamente. No se observó diferencia significativa (p>0.05) en el crecimiento de las plantas al comparar entre HMA1 y HMA2 en los tratamientos sin la adición de NaCl. Sin embargo, cuando se aplicó 60 mM de NaCl se observó mayor tolerancia a la salinidad en las plantas inoculadas con HMA2 (Figura 2). La aplicación de 120 mM de NaCl afectó el crecimiento de las plantas micorrizadas con ambos inoculantes; sin embargo, el crecimiento de las plantas inoculadas fue mayor que el de plantas no inoculadas (Cuadro 1).

Las plantas de lechuga que crecieron sin NaCl e inoculadas con HMA2 tuvieron los valores más altos de las variables medidas con respecto a las plantas de lechuga inoculadas con HMA1 y las plantas de lechuga sin inocular (Tabla 1). Cuando se aplicó 60 mM de NaCl, la inoculación con HMA2 permitió significativamente mejor crecimiento

de las plantas de lechuga con respecto a aquellas plantas inoculadas con HMA1 y plantas sin inocular. Con 120 mM de NaCl, las plantas de lechuga con cualquier inoculante fueron más tolerantes a la salinidad con respecto a aquellas plantas que no se inocularon. El inoculante HMA2 también redujo significativamente la CE en la rizósfera de las plantas de zanahoria, de 6.39 dS m⁻¹ al inicio del experimento, hasta 4.05±0.60 dS m⁻¹ al final del experimento en el tratamiento con 60 mM; y de 12.78 dS m⁻¹ hasta 8.82±0.06 dS m⁻¹ en el tratamiento con 120 mM de NaCl. En lechuga se observó un comportamiento similar.

El estrés salino afecta el crecimiento y la nutrición vegetal causando cambios fisiológicos. Bajo estrés salino la simbiosis micorrízica arbuscular regula el crecimiento vegetal, la captación de nutrientes, y varios procesos fisiológicos (Dar *et al.*, 2023). Por lo tanto, los efectos negativos del estrés salino en el crecimiento de las plantas pueden reducirse con la inoculación de estos hongos.

CONCLUSIONES

Las plantas de zanahoria y lechuga presentaron crecimiento saludable cuando estuvieron colonizadas por el consorcio micorrízico HMA2 sin la adición de NaCl (CE en el sustrato de 2.09±0.18 dSm⁻¹). Bajo concentraciones elevadas de NaCl, las plantas mostraron mayor tolerancia cuando estuvieron colonizadas por el inoculante HMA2, por lo que este inoculante podría usarse para mejorar el crecimiento de algunos cultivos como la zanahoria y la lechuga en los suelos salinos de Mexicali, Baja California.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al CONAHCYT por la beca otorgada para realizar los estudios de maestría. Esta investigación se financió con recursos procedentes de la 22ª convocatoria interna de apoyo a proyectos de investigación de la Universidad Autónoma de Baja California. Clave del proyecto105/6/C/41/22.

BIBLIOGRAFÍA

Anderson, J. M., Ingram, J. S. I. (1993). Tropical soil biology and fertility — A handbook of methods (2da ed.). CAB International.

Biermann, B., Linderman, R. G. (1983). Effect of container plant growth medium and fertilizer phosphorus on establishment and host growth response to vesicular–arbuscular mycorrhizae. Journal of the American Society for Horticultural Science, 108(6), 962–971.

Dar, M. H., Razvi S. M., Singh N., Mushtaq A., Dar S., Hussein S. (2023). Arbuscular mycorrhizal fungi for salinity stress: Anti-stress role and mechanisms. Pedosphere 33, 212-224.

Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. En Methods in Enzymology 148, 350–382. Academic Press.

Kjeldahl, J. (1883). A new method for the determination of nitrogen in organic matter. Zeitschrift für Analytische Chemie, 22(1), 366–382.

NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. (2002). Diario Oficial de la Federación, 73.

Walkley, A. J., Black, I. A. (1934). Estimation of soil organic carbon by the chromic acid tritation method. Soil Sci, 37, 29–38.

Ward, E. (2001). Salt of the River, Salt of the Earth: Politics, Science and Ecological Diplomacy in the Mexicali Valley (1961-1965). Frontera Norte, 13(26), Article 26.

Yan, Z., Ma, T., Guo, S., Liu, R., Li, M. (2021). Leaf anatomy, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of lettuce as influenced by arbuscular mycorrhizal fungi under high temperature stress. Scientia Horticulturae, 280, 8.

INFLUENCIA DEL MANEJO AGROFORESTAL SOBRE LA COMUNIDAD DE LA FAUNA DEL SUELO EN CULTIVOS DE PITAHAYA

<u>Yesica Daniela Rodríguez Beltrán¹;</u> Wilber de Jesús Nafate González¹; Miguel Prado López¹*

¹Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Villa Corzo 30520, Chiapas, México.

*miguel.prado@unicach.mx

RESUMEN

La fauna edáfica juega un papel preponderante en la provisión de servicios ecosistémicos en los agroecosistemas. Este estudio se enfocó en analizar el efecto sobre la fauna edáfica de los árboles dispersos en cultivos de pitahaya bajo maneo agroforestal. Se evaluó la diversidad de la fauna del suelo bajo condiciones de sol y sombra y se evaluó la variación en la abundancia de gremios tróficos, como depredadores, herbívoros, detritívoros y nectarívoros en temporada de lluvia y secas. No se encontraron diferencias significativas de abundancia de organismos entre sol y sombra, sin embargo, la diversidad de familias (Índice de Shannon), sí presentó diferencias significativas entre temporadas y entre condiciones de sol y sombra.

PALABRAS CLAVE: Agroecología; Biodiversidad en agroecosistemas; Gremios tróficos; Hylocereus undatus; Servicios ecosistémicos del suelo.

INTRODUCCIÓN

La macrofauna del suelo es un componente fundamental para el mantenimiento y la provisión de servicios ecosistémicos del suelo, como la producción de alimentos, infiltración y purificación del agua, ciclo de nutrientes y hábitat para la biodiversidad, entre otros. Estos grupos ayudan en la formación de su microestructura del suelo con sus aportes de deyecciones, excreciones, secreciones y con sus propios cadáveres (Socarras, 2013). El papel de la fauna del suelo en la provisión de estos servicios ecosistémicos está asociado a las características funcionales de alimentación, formas de vida y movimiento en la matriz del suelo. De esta manera, la fauna edáfica puede clasificarse, según su hábito alimenticio, en gremios tróficos como detritívoros, herbívoros, depredadores y nectarívoros (Cabrera Dávila, 2017), y según su forma de movilidad en epigeos y endógenos.

En sistemas agroforestales la distribución y abundancia de la fauna del suelo está determinada por la disponibilidad de nutrientes, alimento, la textura y la porosidad del suelo, la retención de agua y la presencia y abundancia de depredadores y parásitos (Díaz-Porres *et al.*, 2014). Todo esto, fomenta una mayor riqueza y abundancia de invertebrados con respecto a otros tipos de manejo que no incluyen árboles. Esto se debe al aporte de hojarasca de las especies arbóreas que crea un microclima y aumenta la disponibilidad de recurso para su mantenimiento (Suárez-Salazar *et al.*, 2015). Además, algunos árboles pueden tener simbiosis mutualistas con microorganismos del suelo, como micorrizas, que mejoran la disponibilidad de nutrientes para la fauna del suelo.

La presencia de árboles en sistemas agroforestales también puede modificar el microclima local a través de la sombra, reducen la radiación solar directa y regulan la temperatura y la humedad del suelo. Estas condiciones micro climáticas pueden favorecer a ciertas especies de fauna del suelo que son sensibles a la temperatura y la desecación, y pueden afectar negativamente a otras especies que prefieren condiciones más cálidas y secas. Por otro lado, ciertas especies de árboles pueden atraer a organismos que, a su vez, sirven como alimento para depredadores del suelo, lo que afecta la estructura y la dinámica de la comunidad de la fauna del suelo. El objetivo de este trabajo fue evaluar el manejo agroforestal sobre la composición de la comunidad de la fauna del suelo en cultivos de *Hylocereus undatus* en Suchiapa, Chiapas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Rancho "El Brasil" en el municipio de Suchiapa, Chiapas (16°36′′0,8″N, 93°05′53″W). El clima en esta región es cálido húmedo con lluvias en verano, precipitación media anual de 800 - 1 500 mm y temperatura media anual de 20 – 26°C. Los tipos de suelos son principalmente Lepsol, Vertisol y Luvisol (INEGI, 2010). El sistema agroforestal tiene una extensión de tres hectáreas y está compuesto por tutores vivos de Bursera simaruba como soporte de las pitahayas (Hylocereus undatus). Con una densidad de más de 2000 plantas de pitahayas. Además de los árboles tutores, también hay 167 árboles nativos dispersos en toda la plantación y que fueron tolerados por los productores para la provisión de algunos bienes y servicios.

Para describir la comunidad de la macrofauna del suelo se establecieron 10 transectos de 15 m cada uno siguiendo un patrón de zigzag a lo largo de toda la plantación. En cada transecto se establecieron tres trampas de caída y tres monolitos separados entre sí por cinco metros. Cuando los monolitos o las trampas de caída estuvieron bajo la influencia del dosel de algunos de los árboles dispersos, se registró la especie de árbol. La sombra que proyectan los árboles dispersos es de >= 25.73 m², con un rango de área de cobertura de 2.01 a 136.34 m² medido a las 11:00 horas ± 2. El muestreo se llevó a cabo en temporada de lluvia y estiaje. Los organismos colectados se identificaron hasta nivel familia y para el análisis de datos se utilizó el Modelo Lineal Generalizado (GLM). Se calculó el índice de Shannon usando los valores de riqueza y abundancia de familias para comparar la diversidad entre los dos tratamientos y las temporadas de estiaje y lluvia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se colectaron un total de 561 organismos pertenecientes a 18 órdenes y 33 familias, de las cuales, las más abundantes fueron la familia formicidae, mutillidae y lumbricidae. Durante la temporada de estiaje, se observaron diferencias significativas de diversidad entre las condiciones de sol y sombra. En cambio, durante la temporada de lluvias, no hay diferencias de diversidad (Cuadro 1). La temporada de estiaje puede presentar condiciones más desafiantes para la fauna del suelo, con menores niveles de humedad y mayor temperatura. En estas condiciones, los árboles son un elemento fundamental para la fauna del suelo, ya que constituyen un espacio de mayor humedad, menor temperatura y mayor cantidad de recursos.

	Sol	Sombra
Estiaje	0.503	1.764
Lluvia	1.566	1.473

En cuanto a las variaciones de abundancia asociadas con la estacionalidad, es común observar que la mayor cantidad de organismos se encuentra durante la temporada de lluvias debido al aumento de la humedad y la disponibilidad de recursos alimenticios, lo que proporciona un entorno más propicio para la vida y la reproducción de los invertebrados del suelo. En el estudio de Castro y Espinosa (2016) se encontró mayor abundancia en época de estiaje, con 389 organismos y en temporada de lluvia 172 organismos. Esto puede estar explicado por la gran cantidad de organismos de la familia formicidae, debido a que se encuentran más activas en la temporada de estiaje.

En cuanto al efecto de los árboles dispersos sobre la abundancia de organismos se encontró que sí existen diferencias significativas, en sombra se encontraron 183 organismos, mientras que en sol se encontraron 378. Algunas especies de fauna del suelo pueden estar adaptadas a estas condiciones y tener una mayor actividad y reproducción en áreas más soleadas. Además, la mayor temperatura en el área expuesta al sol puede acelerar los procesos metabólicos de los organismos del suelo, lo que puede contribuir a su mayor abundancia (Escobar-Montenegro et al., 2017). Considerando el efecto de los árboles sobre los gremios tróficos, no se encontraron diferencias significativas en la abundancia de estos grupos funcionales en relación con la exposición a la luz solar o la sombra (F=0.61, gl=3 p=0.551). En este sentido, los detritívoros son el único gremio trófico que presentó una tendencia de mayor abundancia en condiciones de sombra con respecto a condiciones de sol (Figura 1). Esto puede ser debido a que éstos organismos especializados en la descomposición de materia orgánica son mayormente sensibles a las variaciones de temperatura y humedad y más sensibles a la exposición de la radiación solar, por lo que en áreas sombreadas, puede haber más invertebrados que se alimentan de material vegetal, como hojas o raíces (Barreto-García et al., 2018; Durán-Bautista y Suárez-Salazar, 2013).

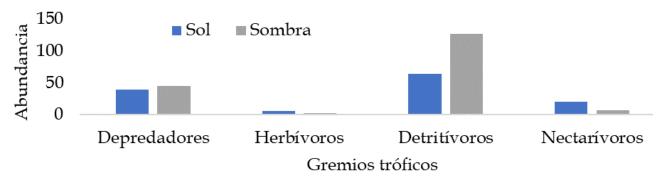


Figura 1. Efecto sol y sombra sobre la abundancia de los grupos funcionales de fauna del suelo

CONCLUSIÓN

La dinámica de la fauna del suelo en el sistema agroforestal de pitahayas responde a las variaciones estacionales y la influencia de los ambientes de sombra y sol. A pesar de las variaciones estacionales en la abundancia total, los gremios tróficos mantuvieron una estructura similar en ambos ambientes estudiados. Esto sugiere que, a nivel trófico, los factores ambientales estudiados no ejercieron un efecto diferencial significativo en la comunidad de la fauna del suelo.

Estos hallazgos sugieren una notable resiliencia o adaptabilidad de los grupos funcionales de invertebrados en estudio a las variaciones en las condiciones de luz y sombra. La ausencia de diferencias significativas podría indicar que otros factores ambientales o interacciones ecológicas pueden estar ejerciendo una influencia más fuerte en la abundancia de estos grupos. Además, estos resultados destacan la importancia de considerar la complejidad de los sistemas ecológicos y la posible interacción de múltiples variables en la determinación de la dinámica de las poblaciones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos profundamente la colaboración de la Lic. Naima Jazibi Cárcamo Toalá directora general del "Rancho El Brasil" por otorgarnos las facilidades para la realización de este estudio y a CONAHCYT por la beca otorgada con el No. 1272556 para seguir contribuyendo al avance de la ciencia en nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

Barreto-García, O. A., Guevara-Gutiérrez, R. D., Olguín-López, J. L., Mancilla-Villa, O. R., Medina-Valdovinos, E. K., Murillo-Hernández, J. E. (2018). Macroinvertebrados de hojarasca y suelo en selva baja caducifolia y zonas perturbadas. Idesia (Arica), 36(1), 105–113. https://doi.org/10.4067/S0718-34292018000100105

Castro, A., & Espinosa, C. I. (2016). Dinámica estacional de invertebrados y su relación con variables climáticas en un gradiente altitudinal de matorral seco tropical. Revista Ecosistemas, 25(2), 35–45.

Díaz-Porres, M., Rionda, M. H., Duhour, A. E., Momo, F. R. (2014). Artrópodos del suelo: Relaciones entre la composición faunística y la intensificación agropecuaria. Ecología Austral, 24(3), 327–334. https://doi.org/10.25260/ea.15.24.3.0.10

Durán-Bautista, H., Suárez-Salazar, J. C. (2013). Fauna del suelo y hojarasca en arreglos agroforestales de la Amazonia Colombiana. Momentos de Ciencia, 10(1), 59–66.

Escobar-Montenegro, A. D. C., Filella, J. B., González-Valdivia, N. A. (2017). Estudio comparativo macrofauna del suelo en sistema agroforestal, potrero tradicional y bosque latifoliado en microcuenca del trópico seco, Tomabú, Nicaragua. Revista Científica de FAREM-Estelí, 22, 39–49. https://doi.org/10.5377/farem.v0i22.4520

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010 Suchiapa. En Instituto Nacional de Estadistica y Geografía.

Socarras, A. (2013). Mesofauna edáfica: indicador biológico de la calidad del suelo. Pastos y Forrajes, 36(1), 5–13.

Suárez-Salazar, J. C., Duran-Bautista, E. H., Patiño, G. R. (2015). Macrofauna edáfica asociada con sistemas agroforestales en la Amazonía Colombiana. Acta Agronomica, 64(3), 214–2020. https://doi.org/10.15446/acag.v64n3.38033

LA CONSERVACIÓN DEL AGROECOSISTEMA CHINAMPERO COMO UN SISTEMA SOCIOAMBIENTAL COMPLEJO

Tanya M. González Martínez^{1,2*}; Daniel Mandujano García¹

¹Dirección Ejecutiva de la Zona Patrimonio Mundial, Natural y Cultural de la Humanidad en Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta, Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural. Dirección: Av. Año de Juárez 9700, Col. Quirino Mendoza, San Luis Tlaxialtemalco, Alcaldía Xochimilco, C. P. 16610, Ciudad de México, México. *tanyamgm.cdr@gmail.com; ²Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Dirección: Circuito de la Investigación Científica, Ciudad Universitaria, Coyoacán, C. P. 04510, Ciudad de México, México.

RESUMEN

El objeto de conservación de la Zona Patrimonio Mundial, Natural y Cultural de la Humanidad en Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta es el paisaje chinampero, un agroecosistema único que representa el último relicto de la forma de vida de las sociedades que poblaron la Cuenca de México originalmente. En un extraordinario ejercicio de entendimiento y apropiación de los elementos del sistema ambiental, estos pueblos desarrollaron un sistema agrícola altamente productivo, ligado intrínsecamente a su organización social y cultural, que persiste hasta nuestros días y prevalece como un elemento fuertemente identitario. Este sistema, sin embargo, se ve amenazado por la dinámica urbana y social actual, que impacta en la estructura y función de los ecosistemas y en su capacidad para proporcionar beneficios ambientales y mantener su riqueza agrícola, lo que pone en riesgo la continuidad del legado chinampero. A través del programa Altépetl se han ejecutado acciones concretas para conservar los elementos del paisaje chinampero en la Zona Patrimonio y sus áreas de influencia, que incluyen la promoción tanto de los procesos ambientales, tales como la formación y retención de suelo, la polinización, la reforestación con especies nativas y el mantenimiento de la cubierta forestal; como de los procesos sociales que fomentan la participación, apropiación y corresponsabilidad social en el territorio. Así, la rehabilitación y mantenimiento de los beneficios del sistema socioambiental y la comprensión de sus dinámicas socioambientales, contribuye a garantizar el derecho a un medio ambiente sano.

PALABRAS CLAVE: Chinampas; Paisaje; Sistema socioecológico; Sistema complejo.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de incorporar los aspectos sociales en las acciones de conservación a través de la aplicación de marcos conceptuales y acciones transdisciplinarias que acepten la interdependencia entre naturaleza y sociedad ha sido ampliamente reconocida (Folke, 2006). El enfoque de sistemas socioecológicos integra las relaciones entre los diferentes elementos, tratando de mostrar sus interacciones y enfatizando las numerosas variables que intervienen en la compleja dinámica de estos sistemas (Berkes *et al.*, 1998; Ostrom, 2009). Los sistemas agrícolas tradicionales son altamente complejos, resguardan una gran riqueza y diversidad de interacciones y conocimientos históricamente acumulados que se cristalizan en labores cotidianas a través de procesos de producción y sustento que, en

conjunto, van modelando el entorno y configurando un paisaje específico, generalmente irreproducible. Suelen ser también sistemas vulnerables con riesgos importantes para su conservación, expuestos a procesos que degradan los componentes ecológicos y sociales del sistema.

El paisaje considera la interrelación entre una unidad de terreno con elementos naturales (geofísicos y bióticos), que varían a través del tiempo y el espacio, pero que son sujetos de la intervención humana modeladora (Zonneveld, 1989). El concepto sintetiza la complejidad de un espacio en el que ha quedado la huella de las actividades humanas haciendo uso de los elementos de la naturaleza, donde lo social detona procesos modeladores de espacios en momentos determinados que transforman el sistema biofísico en un paisaje cultural (Moss, 2000). En el paisaje, los componentes se interrelacionan de modos complejos hasta el punto de ser indisolubles y adquirir características funcionales propias, que le otorgan una dinámica identitaria (Van der Zee y Zonneveld, 2001). Para las sociedades nahuas del centro de México esta concepción quedaba plasmada en el concepto de *altépetl*, y abarcaba la complejidad de la entidad territorial indígena, por lo que resultaba fundamental para entender la organización espacial, ecológica, económica, social y estética del territorio (Fernández-Christlieb y Ramírez-Ruiz, 2006).

Pocos sistemas agroecológicos, con más de mil años de antigüedad han perdurado hasta nuestros días, el sistema de producción chinampera de la Ciudad de México es un ejemplo destacado de adaptación a un medio natural de un lago somero, un reflejo del espíritu creador del ser humano para aprovechar de manera racional y armoniosa los elementos y procesos de la naturaleza, particularmente aquellos que tienen que ver con el suelo y el agua. El sur de la Cuenca de México estuvo originalmente dominado por un sistema lacustre en combinación con entorno montañoso (Rojas Rabiela, 1998). Los poblados se establecieron en las márgenes de los lagos y realizaron intervenciones hidráulicas que modificaron el paisaje.

La poca profundidad de las aguas dulces, aunque algo salobres y ricas en vegetación acuática, derivó en el diseño gradual de un sistema agrícola de pequeñas isletas artificiales que se construyeron en las zonas más someras, cuyos límites se mantenían a través de incrustaciones de varas de ahuejote para utilizarlas como superficies de cultivo que, recubiertas con tierra y limo obtenido del fondo del lago, conformaban la estructura de un suelo que resultó en un sistema agrícola altamente productivo: las chinampas (Rojas Rabiela, 1990). Con el tiempo se formó un paisaje chinampero de características únicas que aprovechaba al máximo el espacio lacustre para producir una gran cantidad de alimentos y plantas de ornato. Esta forma productiva, que entrelazaba de manera muy estrecha los elementos naturales y sociales del socioecosistema, se arraigó profundamente en cultura de los pueblos habitantes de la cuenca y persistió a través del tiempo (si bien con muchas afectaciones y modificaciones) hasta la actualidad. Hoy en día constituye un objeto de conservación patrimonial para la humanidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El paisaje chinampero del sistema lacustre de Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta (Figura 1), es el último relicto que atestiguó la forma de vida de las sociedades originales antes de la llegada de los españoles, y continúa existiendo como testimonio vivo que sintetiza cultura y naturaleza en un entorno productivo (López de Juambelz *et al.*, s/f). Hablar de la chinampa no sólo se reduce a los aspectos agrícolas, sino que hay un entramado de ritos y simbolismos, heredados de generación en generación.

Los elementos clave del paisaje chinampero son el trinomio agua-suelo-planta, sustentados por la cultura en el sentido más original de la palabra, y relacionado con el cultivo de alimentos. El conjunto de acciones necesarias para producir alimento a partir de fragmentos de suelo fértil construidos por el ser humano, constituyeron prácticas que requirieron el establecimiento de relaciones biofísicas particulares y moldearon las maneras de vivir y pensar de la civilización que habitó estos territorios.

RESULTADOS

El paisaje chinampero fue inscrito en la Lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO el 11 de diciembre de 1987 como "ejemplo extraordinario de un asentamiento humano tradicional, donde la forma de uso del territorio representa a la cultura y muestra la interacción humana con el ambiente; que es vulnerable ante los cambios irreversibles y debe ser protegida" (López de Juambelz *et al.*, s/f). Hoy en día su autenticidad e integridad se ven amenazados por los drásticos y numerosos cambios ambientales y sociales, incluyendo el cambio de uso de suelo, el crecimiento urbano, la degradación ambiental, la pérdida de biodiversidad, los efectos provocados por el cambio climático, el cambio en los modos de vida de la población y la falta de valoración de las actividades productivas primarias, entre otros. Todo esto repercute negativamente no sólo en la estructura del ecosistema, sino en sus funciones ecológicas y, por tanto, en su capacidad de proporcionar beneficios ambientales a la Ciudad de México" (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2019).

A 35 años de la declaratoria como Zona Patrimonio (ZP) de la Humanidad por la UNESCO, es de vital importancia conservar el paisaje chinampero y promover su restauración. Actualmente, la Dirección Ejecutiva de la Zona Patrimonio (DEZP) Mundial, Natural y Cultural de la Humanidad en Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta (ZPMNCH-XTMA) forma parte de la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (CORENADR) de la CDMX. Su objetivo es coordinar, junto con organismos locales, nacionales e internacionales, las estrategias y acciones necesarias para la conservación de los bienes patrimoniales naturales y culturales de esta zona (SEDEMA, 2023).

El territorio es complejo y su gestión y administración implican un esfuerzo de gran magnitud. La figura 1 muestra los decretos, nombramientos y declaratorias que se encuentran dentro de la ZP, junto con sus 12 pueblos originarios, y ofrece una buena idea de la complejidad de este territorio rural donde aún se producen alimentos y plantas de ornato, hoy inmerso en la mancha urbana cuyas dinámicas tienden a desplazar las formas de vida rurales.

El programa Altépetl es una estrategia de gobierno para la recuperación del Suelo de Conservación (SC) de la Ciudad de México que integra el apoyo a la producción agropecuaria con la protección, rescate, vigilancia y conservación del patrimonio natural y cultural (tangible e intangible), mediante el fomento de acciones comunitarias, la retribución por servicios ambientales y el apoyo a las actividades productivas.

El componente Nelhuayotl de la estrategia de conservación del Programa Altépetl se ha enfocado en ejecutar acciones concretas que repercuten en la conservación de los elementos del paisaje chinampero en la ZP y sus áreas de influencia (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2019) con un enfoque sistémico. A la fecha se han invertido cerca de \$830 millones de pesos en apoyos específicos que conservan el patrimonio natural y cultural, tangible e intangible. Se han realizado una gran cantidad de acciones que atendieron tanto a cuerpos de agua, vegetación y biodiversidad, como a organizaciones sociales comunitarias, colectivos, productores, etc.

Los apoyos a las actividades productivas incluyen la capitalización de las unidades de producción, capacitación técnica para la mejora productiva y las buenas prácticas, recuperación de suelos ociosos, impulso a cultivos nativos, transformación de productos y el fortalecimiento a microempresas, entre otros. Además, las actividades de documentación, vinculación, difusión y divulgación de las diferentes manifestaciones de las formas de conocimiento se consideran esenciales para el proceso de apropiación y corresponsabilidad del sistema socioambiental que, a su vez, favorece la sustentabilidad general del proyecto a mediano y largo plazo.

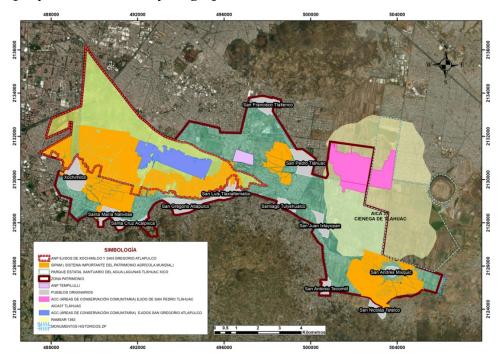


Figura 1. Decretos, nombramientos y declaratorias comprendidos dentro de la poligonal de la Zona Patrimonio Mundial, Natural y Cultural de la Humanidad en Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta. Se muestran también los nombres y ubicaciones de los 12 pueblos originarios. Elaboró: Yokinori Raymundo Arredondo, DEZP, CORENADR, 2023.

CONCLUSIÓN

En conclusión, el paisaje que conforma el agroecosistema chinampero es un sistema socioambiental muy complejo cuya conservación requiere atención integral. Las acciones operadas a través del Programa Altépetl contribuyen a preservar este patrimonio de México para la humanidad, garantizan el derecho a un medio ambiente sano, promueven a la implementación de prácticas que disminuyen el impacto ambiental en suelos y agua, mantienen su riqueza biológica y agrícola, contienen el crecimiento de la mancha urbana sobre zonas de importancia ecológica que proporcionan importantes beneficios ambientales y culturales, y recuperan el valor socialmente asignado a los procesos productivos del medio rural. Es necesario, sin embargo, asegurar la continuidad de estas acciones de conservación a mediano y largo plazos y promover la integración de los diversos actores que modelan el complejo sistema que representa este paisaje chinampero.

BIBLIOGRAFÍA

Berkes, F., Folke, C., Colding, J. (1998). Linking Social and Ecological Systems: management practices and social mechanisms for building resilience. Cambridge University Press, Cambridge, Inglaterra.

Fernández-Christlieb, F., García Zambrano, A. J. (2006). Territorialidad y paisaje en el altépetl del siglo XVI, FCE, Instituto de Geografía-UNAM, México.

Folke, C. (2006). Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological system analyses. Glob. Environ. Change, 16, 253-267.

Gaceta Oficial de la Ciudad de México. (2019). Reglas de Operación del "Programa Altépetl" para el Ejercicio Fiscal 2019. Tomo II, núm. 22, pags. 32-35.

Moss, M. R. (2000). Interdisciplinarity, landscape ecology and the "Transformation of Agricultural Landscapes". Landscape Ecology 15(3), 303-311.

Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social ecological systems. Science 325, 419-422.

López de Juambelz, R., Cabeza Pérez, A., Tudela Rivadeneira, E., Tadeo, Sánchez, F., Parada Betancourt, D. A., Ríos Martínez, A., Peyret García, M., Lucio Lozada, Á., Reyes Cortés, J. L., Noh García, B., Hernández Peralta, O. (s/f). Zona Patrimonio Mundial Cultural y Natural de la Humanidad. Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta. Documento Plan Maestro. Laboratorio de Conservación del Patrimonio Natural y Cultural, Posgrado en Arquitectura, UNAM, México.

Rojas Rabiela, T. (1990). Agricultura indígena: pasado y presente. Centro de Investigaciones y Estudios Sup. en Antropología Social, Ed Casa Chata, Méx.

Rojas Rabiela, T. (1998). La cosecha de agua en la Cuenca de México. Centro de Investigaciones y Estudios Sup. en Antropología Social, 2ª ed., Méx., 122 pp.

SEDEMA (Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México). (2023). Dirección Ejecutiva de la Zona Patrimonio Mundial, Natural y Cultural en Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta. https://sedema.cdmx.gob.mx/secretaria/estructura/248

Van der Zee, D., Zonneveld, I. (2001). Landscape ecology applied in land evaluation, development and conservation. ITC Publications NO. 81/IALE publication MM-1. Enschede, Holanda.

Zonneveld, I. (1989). Scope and concepts of landscape ecology as an emerging science. En: I. Zonneveld y R. Forman (Eds.), Changing Landscape and Ecological Perspective. Springer Verlag, Nueva York, Estados Unidos.

LAS COLECCIONES DE SUELOS Y SU IMPORTANCIA EN LA DIFUSIÓN DE LA CIENCIA DEL SUELO EN MÉXICO

Patricio Sánchez Guzmán^{1*}

¹Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco. 56230. Texcoco, Estado de México. *sanchezp@colpos.mx

RESUMEN

En el presente trabajo se presenta una breve recopilación acerca de la importancia y uso de las colecciones de suelos en la difusión de la ciencia del suelo en nuestro país. El Colegio de Postgraduados durante más de 30 años ha instruido a estudiantes de Postgrado en la preparación de ejemplares conocidos como monolitos de suelo y cuya finalidad es mostrar suelos de distinta naturaleza en su ambiente natural. En la actualidad, el Museo Nacional de Suelos en México es la única instancia a nivel nacional que se encarga de realizar exposiciones de suelos colectados en distintas regiones de México y se pretende a través de éstas concientizar al público (estudiantes de distintos niveles educativos y población en general), en la importancia de la conservación del suelo y el papel de éstos en la producción agrícola, pecuaria, forestal y de la conservación del medio ambiente.

PALABRAS CLAVE: Exposiciones; Monolitos de suelo; Museo Nacional de Suelos.

INTRODUCCIÓN

Un monolito de suelo se define como un perfil del suelo preservado en sus condiciones naturales y se puede emplear como un apoyo visual en la enseñanza y divulgación de la ciencia del suelo. A través de ellos es posible identificar no solo los horizontes que constituyen a ese suelo en particular, sino también se pueden observar otras características como color, la forma y tamaño de los agregados (estructura) y el tamaño de partículas (textura). Estas características primarias, se relacionan con los procesos de formación de suelos y también es posible reconocer los horizontes de diagnóstico que ocurren en cada suelo, tanto en su superficie, como en el interior del perfil.

Por otra parte, la variabilidad espacial desde el punto de vista edafológico, que se presenta en una región en particular (Ejido, Comunidad, Municipio, etc.), puede ser observada a través de una colección de suelos, cuyo principal objetivo es el resaltar y comprender las diferencias entre los distintos individuos que ocurren al interior. En superficies grandes se evalúan grupos de suelos de manera frecuente, mientras que a mayor detalle es posible observar peculiaridades entre suelos que correspondan a un mismo grupo y donde tanto los calificadores primarios como secundarios pueden relacionarse con las características observadas en la descripción del perfil del suelo.

A nivel global el Museo Internacional de Suelos con sede en Wageningen, en los Países Bajos, alberga el mayor número de ejemplares de "monolitos de suelos", colectados en los cinco continentes. El objetivo primordial de este museo es mostrar la variación edafológica que existe a nivel mundial y el arreglo de la exposición está determinada por

la influencia de los factores formadores del suelo (geología, clima, relieve, vegetación y tiempo). La exposición consta de 100 ejemplares, pero el acervo sobrepasa las 600 unidades (S. Mantel, comunicación personal, 8 septiembre del 2022).

El objetivo del presente es mostrar la importancia de las distintas colecciones de suelos en la difusión de la ciencia del suelo en nuestro país.

MATERIALES Y MÉTODOS

En México se han elaborado monolitos de suelos desde la mitad de la década de los años ochenta del siglo pasado. El Dr. Carlos Alberto Ortiz Solorio, profesor del Postgrado en Edafología del Colegio de Postgraduados, asistió a capacitación al ISRIC de Wageningen, donde aprendió la técnica y posteriormente la replicó en nuestro país y a través de la creación del curso EDA-635 "Colecciones de suelos" en el postgrado de Edafología (Batjes *et al.*, 1995). En la actualidad, los titulares del curso actualidad son el mismo Dr. Ortiz-Solorio y la Dra. Ma. Del Carmen Gutiérrez-Castorena (Espinosa-Victoria, 2003), quienes han colectado suelos de distintas partes de la República Mexicana durante más de tres décadas, a la par que han instruido a más de 200 estudiantes de postgrado en el arte de la preparación de monolitos de suelo.

La creación del museo nacional de suelos en el 2020 en el Colegio de Postgraduados ha permitido colaborar con otras instituciones en exposiciones de distinta índole en donde el uso de los materiales cumple objetivos diversos.

RESULTADOS

Se desconoce la cantidad de ejemplares de suelos que existen en exposición en nuestro país. En el año 2005 se obsequiaron por parte del Postgrado en Edafología al Museo de Historia Natural de la Ciudad de México 35 ejemplares, mismos que estuvieron en exposición en el pasaje del metro Pino Suarez en ese mismo año (C. Ortiz, comunicación personal, 20 junio 2018). En el 2018 se colectó y entregó una colección de 6 ejemplares a los productores de café en la comunidad de "La Sombra" del municipio de Chiconquiaco, del estado de Veracruz, que se utilizó para mostrar las características edáficas positivas y problemáticas para la producción del cultivo. En el 2022 se entregaron 10 ejemplares a la UMDI-Juriquilla de la UNAM sobre suelos de zonas áridas y semiáridas del norte de México (Cuatrociénegas-Querétaro) y que en primera instancia se expusieron durante el VI Congreso Internacional de Clasificación de Suelos con sede en Juriquilla, México, en abril del 2022 (García-Calderón y Gutiérrez-Castorena, 2022).

El Museo Nacional de Suelos de México abrió sus puertas en el año 2020 en las Instalaciones del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados. Actualmente se encuentran en exposición 40 ejemplares, la mayoría de la zona centro de nuestro país; en cada uno de ellos no solamente se incluye la información morfológica del suelo (descripción), misma que se complementa con análisis fisicoquímicos que permiten analizar la información de manera integral. Es común la visita de grupos de estudiantes de distintos niveles educativos (Licenciatura y Postgrado), quienes acuden a observar los distintos procesos formadores que se presentan en los suelos de distintas áreas

geográficas, así como su relación con los factores formadores de suelos; también es de interés el uso potencial que se le puede dar al recurso desde el punto de vista agrícola, pecuario, forestal, o bien para la conservación de especies de flora y fauna. Por otra parte, grupos de campesinos acuden con la intención de conocer suelos diferentes de la región y asociarlos con los rendimientos de distintos cultivos, principalmente.

Recientemente, en los años 2022 y 2023 se ha impartido al público en general en las instalaciones del Colegio de Postgraduados el 1er y 2º Curso Nacional de Descripción de Suelos y Elaboración de Monolitos, en donde básicamente se explica el proceso de la preparación de los ejemplares para las exposiciones; se parte de la descripción detallada del perfil del suelo, es decir de la colecta de toda la información de campo, para posteriormente ser completada con los análisis de laboratorio y la clasificación de los suelos. Finalmente se explica el proceso de endurecimiento de los ejemplares y el acabado final para una exposición (Museo Nacional de Suelos, 2022).

Durante el año 2023 se está trabajando en la colecta de los suelos de importancia económica del Estado de México, iniciativa de profesores del Colegio de Postgraduados y del INIFAP. Esta colección consta de 15 ejemplares y con ella se pretende tener un panorama general de la diversidad edáfica del Centro de México, en donde existen condiciones de geología, clima, vegetación y uso del suelo contrastantes. El objetivo del trabajo es generar información para concientizar al público en general sobre la importancia de la conservación del recurso suelo y evitar su degradación, desde la clase política hasta el usuario del recurso.

Por otra parte, a nivel local y en el Municipio de Temascalcingo, Estado de México, se realizó la colecta de siete ejemplares que nos muestran la riqueza del recurso. Este trabajo pretende hacer conciencia en la importancia de la conservación del recurso suelo, no solo desde el punto de vista de la producción de alimentos, sino en los beneficios ambientales que se derivan del cuidado y conservación de éste. Finalmente, en la comunidad de Coatlinchán, perteneciente al municipio de Texcoco, se colectaron cuatro ejemplares con la finalidad de generar un plan de manejo agroforestal y para identificar áreas idóneas para el establecimiento de huertos frutícolas y áreas en donde la agricultura protegida y las actividades recreativas puedan desarrollarse de manera exitosa.

CONCLUSIONES

A manera de conclusión se puede decir que la importancia de las colecciones de suelos (monolitos) en la difusión de la ciencia del suelo tiene un impacto positivo en distintos sectores de la sociedad. En el aspecto académico, se relaciona con la capacitación de estudiantes de distintos niveles educativos; mientras que en el aspecto social se relacionada con los usos potenciales de la tierra en distintos escenarios: nivel estatal, regional, municipal o a nivel comunidad.

BIBLIOGRAFÍA

Batjes, N., Kauffman, J. y Spaargaren O. (Eds.) (1995). Abstracts for international workshop on national soil reference collections and databases. ISRIC. Wageningen. The Netherlands.

Espinosa-Victoria, D. (2003). La ciencia del suelo en el colegio de postgraduados. México.

García-Calderón, N.y Gutiérrez-Castorena, Ma. del C. (Eds.) (2022). Field workshop guide Cuatrociénegas to Querétaro. Universidad Nacional Autónoma de México, Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma de Nuevo León, INEGI, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. México.

Museo Nacional de Suelos. (2022). Primer curso Nacional de Descripción de Suelos y Elaboración de Monolitos (VIDEO). https://www.facebook.com/MuseoSuelosMx/videos/1037838243579304).

LAS PROPIEDADES DEL SUELO EN ZONAS CON RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DENTRO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA

Fernanda Naomi Shimizu Romero^{1*}; Mariana Vallejo Ramos²; Ramiro Ríos Gómez³

¹ Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Batalla 5 de mayo S/N, Ejército de Oriente Zona Peñón, Iztapalapa, C.P. 09230, Ciudad de México, México. *naomi.shimizu98@comunidad.unam.mx; ² Jardín Botánico del Instituto de Biología, IB-UNAM. Tercer Circuito exterior, S/N, Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510 Ciudad de México, México; ³ Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Batalla 5 de Mayo S/N, Ejército de Oriente Zona Peñón, Iztapalapa, C.P. 09230, Ciudad de México, México.

RESUMEN

Las zonas núcleo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM) son lugares de gran importancia para la conservación, pero a pesar de estar sujetas a protección, en el año de 2015 tuvo lugar una operación a gran escala de tala ilegal dentro del santuario Sierra Chincua (Zona Núcleo) de la RBMM. Ante este hecho, en el año de 2016 se inició un trabajo de Restauración Ecológica. El presente proyecto se enfocó en describir los cambios en las propiedades del suelo entre las zonas de Restauración Ecológica Activa, Restauración Ecológica Pasiva y un sitio conservado con la finalidad de describir las propiedades actuales del suelo para estimar su calidad utilizando indicadores físicos y químicos. La alteración sobre la cobertura forestal mostró cambios significativos ligados a la Materia Orgánica del Suelo y también sobre el Nitrógeno total.

PALABRAS CLAVE: Calidad de suelo; Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca; Restauración ecológica.

INTRODUCCIÓN

La Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca (RBMM), representa un sitio de gran importancia debido a la diversidad biológica y cultural que albergan sus bosques, pero a pesar de que está catalogada como Reserva de la Biósfera, existen espacios que han sido perturbados y alterados por acción del hombre, dejando grandes extensiones de bosque sin cobertura forestal. Un evento de suma relevancia, por su impacto negativo a varios niveles, tuvo lugar durante el año 2015 en el que se llevó a cabo una operación de tala ilegal a gran escala dentro de la zona núcleo del santuario Sierra Chincua en el municipio de Angangueo, en la parte noroeste de la Reserva. Brower et al. (2016), compararon imágenes satelitales de antes y después de la tala para delimitar y cuantificar la zona afectada. Fue así que se reportaron un total de 10 ha de bosque taladas. En el reporte técnico de Sáenz-Romero et al. (2016) se sugirió zonificar las áreas perturbadas por la tala en tres tipos: Zona 1: "Claro total con suelo expuesto", Zona 2: "Claro con abundantes arbustos remanentes", Zona 3: "Claro parcial y áreas de borde" (López-Sánchez, 2018). Para el año de 2016, basándose en la condición de perturbación se llevó a cabo una estrategia de Restauración Ecológica. En dicha estrategia se realizó una Restauración Ecológica Activa (REA) en las zonas de "Claro total con suelo expuesto" lo que involucró reforestaciones con las especies Abies religiosa y Pinus pseudostrobus. Por otro lado, en las

zonas de "Claro con abundantes arbustos remanentes" se optó por asistir la sucesión ecológica de forma natural, permitiendo la regeneración del bosque, (ya que esta zona conservó algunas especies vegetales originales), únicamente se intervino cercando el área para evitar pastoreos o actividades que afecten la regeneración.

Los efectos que marca la deforestación sobre los ecosistemas van desde la pérdida de la biodiversidad, hasta la desaparición de los servicios ecosistémicos. Existen cambios que ocurren de forma discreta bajo nuestros pies, pues al eliminar o alterar la cubierta vegetal se modifican las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, de esta forma se ven comprometidos los procesos ecológicos y las funciones que puede realizar un suelo. El suelo dentro de la zona núcleo de la RBMM es de suma importancia para mantener los servicios ecosistémicos de soporte, regulación y provisión que brinda la reserva, por este motivo, es importante evaluar la calidad del suelo a través de indicadores físicos y químicos, con la finalidad de describir el desarrollo de las restauraciones a través de las propiedades del suelo.

Hasta hoy en día, los únicos estudios o monitoreos que se han hecho del trabajo de restauración ecológica, se han concentrado en el estudio de la vegetación, por lo que el presente trabajo se planteó como objetivo describir las propiedades del suelo bajo dos condiciones de Restauración Ecológica y del bosque conservado en una zona núcleo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca con la finalidad de caracterizar su estado actual y contrastar las diferencias entre los trabajos de restauración para evaluar el desarrollo que han tenido.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

La RBMM se localiza en el Eje Neovolcánico, entre el Estado de México y Michoacán, posee una superficie de 56,259 ha y está conformada por tres zonas núcleo (13,551 ha) rodeadas por una zona de amortiguamiento (42,707 ha). Los paisajes se caracterizan por valles y montañas, con altitudes entre 2,400 y 3,600 msnm, el clima dominante es templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw), con temperaturas medias anuales entre 8 y 22°C y precipitaciones promedio entre 700 y 1,250 mm.

El presente trabajo tomó como referencia el tipo de Restauración Ecológica realizado en cada zona dependiendo de su nivel de perturbación, resultando así en tres zonas: 1) Zona 1: "Restauración Ecológica Activa" (REA); 2) Zona 2: "Restauración Ecológica Pasiva" (REP); y 3) Zona 3: "Bosque Conservado". Para seleccionar los sitios específicos de muestreo en cada zona, se realizaron recorridos por el área de estudio buscando puntos homogéneos tomando en cuenta la pendiente, altitud, vegetación y material parental.

Metodología

Clasificación de los tipos de suelo: Se realizó la apertura de un perfil de suelo en cada zona, mismos que fueron descritos con base en el manual de Cuanalo de la Cerda (1975) In situ. Se clasificaron según la WRB versión 2018.

Desfronde: Se colocaron 15 trampas de tela de malla de un metro cuadrado en cada zona. La hojarasca fue recolectada individualmente. Las muestras se secaron a temperatura ambiente y se separaron sus componentes en: hojas, ramas y corteza, órganos para la reproducción (semillas), y miscelánea (partes difíciles de ser separadas por su grado de descomposición). Se registró la masa de cada uno de los componentes de las trampas y se sacaron promedios de cada zona.

Suelo: Se tomaron muestras simples por cada horizonte genético de los tres perfiles para su caracterización física y química en el laboratorio. Asimismo, se tomaron tres muestras compuestas, conformadas por 5 submuestras de cinco puntos dentro del sitio de los primeros 20 cm de suelo. Se secaron a temperatura ambiente, extendiéndolas sobre una charola de papel periódico, se molieron los terrones más grandes y se retiraron las gravas, raíces y hojas entre otros. Una vez seco el suelo, se pasó por un tamiz con malla de acero inoxidable de 2 mm de diámetro, se reservó y almacenó el tamizado del suelo mineral y se desechó el excedente. La caracterización de la calidad del suelo se basó en indicadores físicos y químicos que permiten explicar a partir de sus resultados, procesos integrales que ocurren en el suelo. De esta forma se tomaron en cuenta las siguientes propiedades: El pH se determinó en seco con 10 g de suelo en 20 mL de agua desmineralizada; la textura se estableció por el método del hidrómetro de Bouyoucos, con 50 g de suelo; la materia orgánica se calculó por el método de Walkley y Black, con 0.5 g de suelo; el nitrógeno total mediante el método Kjeldahl con 0.5 g y por último el fósforo total por digestión ácida en H₂SO₄ concentrado con el método Kjeldahl con 0.5 g de suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El aporte por desfronde de la vegetación en cada zona modifica las propiedades del suelo como la materia orgánica, el nitrógeno total y el pH. Se encontró que el mayor aporte de hojas se localiza en la Zona 2, en esta zona la diversidad de plantas está compuesta por los tres estratos vegetales, lo que ofrece un aporte elevado y diverso para la MOS. Por otro lado, en la Zona 3, dominada por especies arbóreas, predomina el aporte de ramas y corteza, debido a que el estrato dominante en la zona es el arbóreo, su degradación es más lenta. El porcentaje de misceláneo más elevado se encuentra en la Zona 2, la cual posee la mayor diversidad de vegetación y por ende es capaz de mantener una mayor cantidad de microorganismos que se encargan de degradar dicha materia orgánica aportada por desfronde (Figura 1).

Al carecer de un estrato arbóreo dominante, el aporte por desfronde se vio interrumpido en las zonas de REA y REP lo que ocasionó la rápida biodegradación de la materia orgánica acumulada. Dicha biodegradación ocasionó el movimiento de la MOS a horizontes subsuperficiales, siendo más evidente en la zona 1 donde el valor más bajo se encuentra en el horizonte A (Cuadro 2) mientras que los valores más altos se manifiestan en el horizonte de transición B2t y hasta el C donde se acumula y detiene el movimiento. En la zona de REP existe una dominancia por vegetación herbácea y arbustiva, siendo estas la principal fuente de hojarasca se considera su aporte diverso y altamente transformable. Entre más biodiversidad existe, las tasas de descomposición son más rápidas, pues conforme existe una mayor diversidad de residuos, un mayor número de

organismos descomponedores acaparan el trabajo, lo cual a su vez deriva en una composición química más diversa y de mejor calidad en el hummus. Esto explica porque el porcentaje de MOS en el horizonte A1 de la zona de REP es mayor que en el horizonte A de la zona de REA. El horizonte A1 de la Zona Conservada posee el mayor porcentaje de MOS alcanzando 6.6%. En esta zona la vegetación dominante es el estrato arbóreo, con las especies de *Abies religiosa* y *Pinus pseudostrobus*, el desfronde que aporta está constituido por hojas y otras partes de la planta que contienen resinas, por lo que su descomposición y mineralización es más lenta.

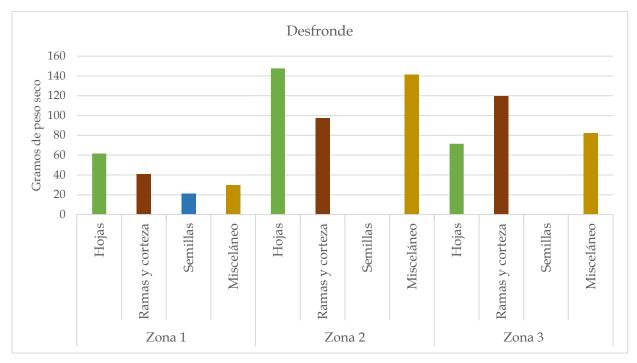


Figura 1. Promedio de componentes del desfronde.

Cuadro 2. Resultados de las propiedades del suelo, por horizonte genético.

Zona	Perfil	Clasificación de Suelo	Horizonte	рН	MOS (%)	Nitrógeno Total (%)	Fósforo Total (%)
Restauración		Andic Fragic	A	5.8	2.89	0.374	0.0795
Activa	1	Cambisols (densic, humic)	B1	5.9	5.32	0.321	0.048
			B2t	6.0	5.71	0.157	0.048
			C	6.0	5.52	0.089	0.0345
Restauración		Skeletic Pantoumbric	A1	5.9	4.04	0.518	0.0585
Pasiva		Aluandic Andosols	A2	5.7	5.42	0.497	0.0375
	2	(arenic, colluvic,	C1	5.7	5.61	0.05	0.0825
		fulvic)	C2	5.7	4.92	0.037	0.045
Zona		Dystric Anoumbric	A1	5.5	6.6	0.194	0.06
Conservada	3	Andosols (arenic, sideralic)	A2	6.6	3.25	0.178	0.0435
			C1	5.5	4.63	0.045	0.036

El mayor contenido de Nitrógeno Total se determinó en los primeros dos horizontes superiores de la Zona de REP (A1 y A2), alcanzando un porcentaje de 0.497 a 0.518. Estos valores se explican ya que existe un importante aporte de desfronde además de la presencia de plantas relacionadas al ciclo del Nitrógeno como leguminosas, *Luppinus* y algunos tréboles. Por otro lado, en la zona 3, el tipo de desfronde aportado produce una acidificación del suelo y la fijación de N se da a partir del pH 6, y en los horizontes A1 y A2 se encuentran valores inferiores de 5.5 y 5.6.

CONCLUSIONES

La pérdida de la cobertura vegetal durante la deforestación y su transición a la restauración ecológica provocó cambios en la dinámica de la MOS a lo largo de los horizontes.

Los valores altos de nitrógeno total en la zona de Restauración Pasiva señalan un buen avance en la restauración pues se promueve la biodiversidad de organismos, lo que aumenta el nitrógeno en el suelo, el cuál es importante porque es el nutrimento que promueve el crecimiento vegetal, es por esto que este sistema se va a restaurar de forma más rápida. La cobertura vegetal arbórea evita el paso de luz y evita que se establezcan junto con el espesor de mantillo muy grueso. No tiene posibilidades de prosperar en el Zona Conservada. Tenemos vegetación dominante de bosque de Pino y la hoja de pino tienen muchas resinas que inhiben la biodegradación.

AGRADECIMIENTOS

A Mariana Vallejo Ramos: por guiar este proyecto, por abrirme las puertas de su laboratorio y aceptarme como aprendiz. A Monarch Butterfly Fund: por otorgarme el honor de recibir el Premio Lincoln P. Brower 2023, e inspirarme para compartir lo aprendido en la Reserva.

BIBLIOGRAFÍA

Brower, L., Slayback, D., Jaramillo-López, P., Ramírez, I., Oberhauser, K., Williams, E. y Fink, L. (2016). Illegal Logging of 10 Hectares of Forest in the Sierra Chincua Monarch Butterfly Overwintering Area in Mexico, American Entomologist, 62,(2): 92–97.

Cuanalo de la Cerda, H. (1975). Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. Colegio de Postgraduados. Centro de Edafología.

IUSS Working Group WRB. (2018). 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.

López-Sánchez, J.G. (2018). Uso de imágenes provenientes de vehículos aéreos no tripulados para cuantificar el impacto de tala ilegal. Escuela Nacional de Estudios Superiores, UNAM.

Sáenz-Romero, C., Ramírez, I., Blanco-García, A. (2016). Reporte de la visita al paraje El Tepozán, Propiedad Estatal de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Reporte Interno.

LOS NANOTUBOS DE CARBONO DE PARED MÚLTIPLE INCREMENTAN LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA EN SUELO DE CULTIVO CON TOMATE SALADETTE

Nayelli Azucena Sigala-Aguilar^{1*}; Julián Delgadillo-Martínez²; Mercedes Guadalupe López-Pérez³; Fabián Fernández-Luqueño¹

¹Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Cinvestav Saltillo. Posgrado en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energías; ³Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Cinvestav Irapuato. Posgrado en Biotecnología de plantas; ²Microbiología de Suelos, Postgrado en Edafología, Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km. 36.5, Montecillo, CP 56230, Texcoco, Estado de México. *nayelli.sigala@cinvestav.mx

RESUMEN

Los nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT's) representan los nanomateriales a base de carbono con mayor estudio, aplicación y demanda en la producción agrícola. No obstante, los impactos secundarios que estos puedan ocasionar en los recursos naturales implicados directamente en la agricultura aún continúan en estudio. En esta investigación, se estudió el efecto de la aplicación directa al suelo de 0.25, 0.50, 1.0 y 2.0 mg L-1 de MWCNT's, más un tratamiento control, sobre la actividad de enzimas extracelulares, absorción de nutrientes y crecimiento de plántulas de tomate. El tratamiento 1 MW (1.0 mg L-1 de MWCNT's) incrementó la actividad de deshidrogenasa en el suelo, peso fresco de la planta, longitud de raíz y absorción de calcio (Ca²⁺) y hierro (Fe²⁺), en comparación con el tratamiento control. El tratamiento 2 MW (2.0 mg L-1 de MWCNT's) mejoró la actividad de deshidrogenasa y fosfatasa en suelos, adicionalmente incrementó la absorción de fósforo (P). Los otros tratamientos no mostraron ningún efecto.

PALABRAS CLAVE: Calidad biológica del suelo; Enzimas extracelulares; Nanotubos de carbono multicapa; Nutrición de cultivos.

INTRODUCCIÓN

Los nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT's) son estructuras cilíndricas de grafeno en disposición hexagonal, tienen propiedades mecánicas, catalíticas, térmicas y ópticas con aplicación en diversas áreas científicas, incluyendo la agricultura (Chandel et al., 2022). En la agricultura los MWCNT's han sido utilizados como reguladores de crecimiento, fertilizantes y estimulantes para potenciar el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas (Gohari et al., 2020; Ioannou et al., 2020). No obstante, la mayoría de los estudios se han realizado en condiciones controladas de laboratorio o hidroponía, sin considerar los efectos colaterales que el potencial uso de MWNCT's pueda ocasionar en el ambiente, lo cual, inevitablemente podría tener repercusiones en la disponibilidad y estabilidad alimentaria, así como en el consumidor. Por lo cual, es indispensable realizar más investigación que evalúe los efectos de los MWCNT's sobre procesos agrícolas, bajo condiciones agrícolas más reales, considerando los impactos secundarios que los MWCNT's tendrían sobre ecosistemas implicados directamente en la agricultura, principalmente en el suelo (Wu et al., 2021).

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de diferentes concentraciones de MWCNT's, aplicadas directamente al suelo, sobre indicadores biológicos sensibles sobre la calidad del mismo, como la actividad de enzimas extracelulares, ya que están estrechamente relacionadas con la conservación de los suelos (Zhao *et al.*, 2021). A su vez se analizó el efecto de MWCNT's sobre parámetros de crecimiento y absorción de nutrientes en plantas de tomate.

MATERIALES Y MÉTODOS

Desarrollo experimental

Como material vegetativo se emplearon plántulas de tomate variedad *Pony Exprés* marca *Harris Moran*, las cuales se trasplantaron en macetas con 3.3 kg⁻¹ de suelo seco (SCO), previamente muestreado en el municipio de General Cepeda, Coahuila. Las unidades experimentales se establecieron en un invernadero ubicado en Cinvestav Unidad Saltillo, bajo un diseño de bloques completos al azar, considerando una maceta como unidad experimental y tres repeticiones por tratamiento. La nutrición fue aplicada manualmente utilizando solución Steiner (Steiner, 1961).

Propiedades fisicoquímicas del suelo

Con base en la clasificación Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB), el suelo empleado como sustrato fue Luvisol, tenía textura limosa (13.54% partículas de arcilla, 79.75% limo y 6.69% arena), 7.6% de materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE) de 0.726 dS m-1 y potencial de hidrógeno (pH) de 7.6. Los análisis fisicoquímicos fueron realizados en el Cinvestav Unidad Saltillo; la textura del suelo fue determinada mediante un analizador de distribución de tamaño de partículas por dispersión láser LA-95 (Horiba), el contenido de MO fue determinado por el método de calcinación, el pH y CE del suelo fueron analizados utilizando potenciómetros de escritorio (Schulte & Hopkins, 1996).

Descripción de tratamientos

Los MWCNT's se obtuvieron de Sigma Aldrich, tenían diámetro de 6-13 nm, longitud de 2.5-20 µm y pureza del 98%. La longitud y morfología de los MWCNT's fue verificada mediante microscopia electrónica de transmisión (TEM). La pureza fue medida mediante microscopia electrónica de barrido de emisión de campo (SED) MEB emisión termiónica philips xl30 ESEM. Como tratamientos se utilizaron cuatro concentraciones de MWCNT's 0.25, 0.50, 1.0 y 2.0 mg L-1, más un tratamiento control (sin MWCNT's), los cuales son identificados como 0.25 MW, 0.50 MW, 1.0 MW y 2.0 MW, respectivamente. Los tratamientos fueron aplicados solo una vez, a los 20 días después del trasplante (DT).

Actividad enzimática del suelo

La actividad de enzimas extracelulares se realizó por espectrofotometría UV-VIS. La actividad de deshidrogenasa y fosfatasa ácida se cuantificó siguiendo las metodologías descritas por Zhao *et al.* (2021).

Parámetros de crecimiento y nutrientes de plantas de tomate

Los parámetros de crecimiento de las plantas de tomate fueron medidos a los 40 DT, los cuáles incluyeron: altura, peso fresco, peso seco, longitud de raíz, peso fresco y peso seco de raíz. El análisis elemental se realizó mediante un equipo de absorción atómica-espectrómetro de emisión por plasma (AA-ICP; Marca Perkin Elmer).

Análisis estadístico

Los datos se analizaron utilizando el paquete estadístico INFOSTAT, empleando la prueba estadística de LSD Fisher (p < 0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los MWCNT's incrementaron la actividad de enzimas extracelulares en suelo y con ello la absorción de agua y algunos nutrientes en plántulas de tomate de manera dependiente de la concentración. El tratamiento 1.0 MW incrementó la actividad de deshidrogenasa con 93.75% en comparación con el suelo control (Figura 1a). También favoreció el peso fresco de la planta y longitud de raíz en 12.45 y 5.31%, respectivamente, en comparación con las plantas control (Tabla 1). A su vez, 1.0 MW favoreció el contenido calcio (Ca²+) y hierro (Fe²+) con 5.30 y 25.96%, respectivamente, en comparación las plantas sin MWCNT's (Tabla 1). El tratamiento 2.0 MW mejoró la actividad de deshidrogenasa y fosfatasa con 81.25 y 41.86%, respectivamente (Figuras 1a y 1b), en comparación con el suelo sin MWCNT's. Adicionalmente, el contenido de fósforo (P) incrementó con el tratamiento 2.0 MW en 23% (Cuadro 1), lo cual puede ser el resultado de la mayor actividad de fosfatasa, ya que la enzima transforma el fósforo orgánico en formas inorgánicas más asimilables por las plantas.

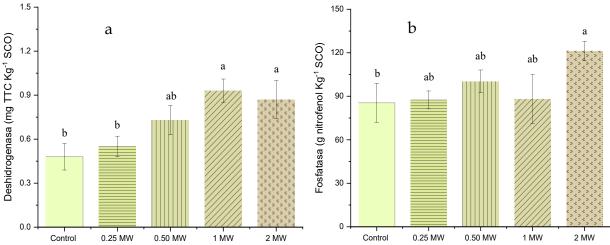


Figura 1. Actividad enzimática en suelos de cultivo con tomate y tratados con MWCNT's. a) Actividad enzimática en suelo de deshidrogenasa, b) Actividad enzimática de fosfatasa ácida en suelo. Letras diferentes entre los tratamientos indican una diferencia significativa basada en la prueba estadística LSD Fisher (p < 0,05). Los datos son el promedio de 3 repeticiones \pm error estándar. 0.25 MW, 0.50 MW, 1.0 MW y 2.0 MW, corresponden a los tratamientos con 0.25, 0.50, 1.0 y 2.0 mg de MWCNT's L-1 y plantas control.

Resultados similares fueron obtenidos por Zhao et al. (2021), donde los tratamientos con 50, 100 y 200 mg de nanopartículas de carbono Kg-1 SCO favorecieron la actividad de deshidrogenasas y fosfatasas en suelos agrícolas cultivados con maíz (Zea mays L.) de manera dependiente a la concentración. La mejora en la actividad de enzimas extracelulares, puede ser el resultado a la iteración directa entre MWCNT'smicroorganismos en el suelo, ya que las enzimas extracelulares son producidas y liberadas durante el metabolismo y ruptura celular. Hipotéticamente, las cargas superficiales de los MWCNT's interfieren en la trasferencia de electrones transmembranales de los microorganismos, logrando penetrar la membrana, provocando la liberación del material citoplasmático. No obstante, imágenes de microscopia electrónica han demostrado que los MWCNT's pueden translocarse en la membrana de raíces y semillas, donde tienen la capacidad de actuar como canales de iones y agua, favoreciendo la asimilación y absorción agua y nutrientes (Luo et al., 2022). Adicionalmente, la configuración electrónica sp² y grupos funcionales de los MWCNT's, les brinda la capacidad de adherir moléculas de agua y iones en la estructura, facilitando el movimiento (Gohari et al., 2020). Por otra parte, las propiedades eléctricas y catalíticas los MWCNT's translocados en los cloroplastos, tienen la capacidad de acelerar la transferencia de electrones del fotosistema II al I, favoreciendo los procesos fotosintéticos (Lu et al., 2020). Por lo tanto, el incremento de Ca²⁺ y Fe²⁺ en las plantas de tomate puede estar relacionado con los efectos positivos que el tratamiento 1.0 MW causó sobre los procesos fotosintéticos en las plantas, ya que ambos nutrientes (Ca²⁺ y Fe²⁺) son absorbidos durante la fotosíntesis.

Cuadro 1. Parámetros de crecimiento y nutrientes de plantas de tomate cultivadas en invernadero y tratadas con nanotubos de carbono de pared múltiple.

Variables			Tratamientos		
_	Control	0.25 MW	0.50 MW	1.0 MW	2.0 MW
Parámetros de c	recimiento				
AL (cm)	40.83±0.60 a	38.83±2.62 a	39.50±1.26 a	39.33±0.33 a	37.50±1.80 a
PF(g)	19.24±0.96 ab	16.63±2.19 ab	19.74±2.08 ab	21.64±0.51 a	14.76±3.27b
PS (g)	3.42±0.23 a	2.57±0.36 a	3.86±0.46 a	4.04±0.55 a	3.57±0.83 a
LR (cm)	31.33±0.33 ab	29.0±0.58 b	31.0±1.73 ab	33.0±1.53 a	32.33±1.20 a
PF-R (g)	0.80±0.13 a	1.50±0.48 a	1.02±0.20 a	1.09±0.18 a	0.98±0.01 a
PS-R (g)	2.53±0.22 a	1.74±0.26 a	2.31±0.63 a	2.47±0.40 a	1.81±0.30 a
Nutrientes					
P	1.18±0.03 b	1.27±0.03 ab	1.24±0.12 ab	1.30±0.05 ab	1.46±0.10 a
Mg^{2+}	9.24±0.51 a	9.54±0.42 a	8.73±0.25 a	9.14±0.55 a	8.89±0.31 a
Ca ²⁺	49.6±1.69 ab	50.6±0.17 ab	50.5±2.21 ab	52.30±0.70 a	44.4±4.54 b
Fe ²⁺	0.19±0.02 b	0.20±0.01 ab	0.20±0.01 ab	0.24±0.01 a	0.18±0.01 b

Al, Altura; PF, Peso fresco; PS, peso seco; LR, longitud de la raíz; PF-R, peso fresco de raíz; PS-R, peso seco de la raíz; P, fósforo; Mg^{2+} , magnesio; Ca^{2+} , calcio; Fe^{2+} , hierro. Letras diferentes entre los tratamientos indican una diferencia significativa basada en la prueba estadística LSD Fisher (p < 0,05). Los datos son el promedio de 3 repeticiones \pm error estándar. 0.25 MW, 0.50 MW, 1.0 MW y 2.0 MW, corresponden a los tratamientos con 0.25, 0.50, 1.0 y 2.0 mg de MWCNT's L-1 y plantas control.

CONCLUSIONES

La adición directamente al suelo de concentraciones específicas de MWCNT's, puede actuar como catalizador y acelerar la actividad de enzimas extracelulares en suelos con cultivos, mejorar los procesos de óxido reducción de la materia orgánica y la mineralización de nutrientes, favoreciendo así la absorción de nutrientes en plantas. No obstante, los efectos de MWCNT's sobre organismos vivos como microorganismo y plantas, está en función de diversos factores, por lo cual es indispensable realizar más investigación, ya que el potencial uso de MWCNT's en la agricultura podría tener efectos secundarios y dañar el medioambiente.

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-P, J D-M y F F-L recibieron apoyo del SNII.

BIBLIOGRAFÍA

Gohari, G., Safai, F., Panahirad, S., Akbari, A., Rasouli, F., Reza, M., y Fotopoulos, V. (2020). Modified multiwall carbon nanotubes display either phytotoxic or growth promoting and stress protecting activity in *Ocimum basilicum* L. in a concentration-dependent manner. *Chemosphere*, 249, 126171.

Lu, K., Shen, D., Dong, S., Chen, C., Lin, S., Lu, S., Xing, B., y Mao, L. (2020). Uptake of graphene enhanced the photophosphorylation performed by chloroplasts in rice plants. *Nano Research*, 13(12), 3198–3205.

Luo, Y., Zeng, W., Lei, G., Hou, Y., Ao, C., Chen, H., Gaiser, T., y Srivastava, A. (2022). The effects of multiwalled carbon nanotubes and Bacillus subtilis treatments on the salt tolerance of maize seedlings. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1093529.

Schulte, E., y Hopkins, B. (1996). Estimation of soil organic matter by weight loss-on-ignition. *Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation*, 46, 21–31.

Steiner, A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil*, 15(2), 134–154.

Wu, F., Jiao, S., Hu, J., Wu, X., Wang, B., Shen, G., Yang, Y., Tao, S., y Wang, X. (2021). Stronger impacts of long-term relative to short-term exposure to carbon nanomaterials on soil bacterial communities. *Journal of Hazardous Materials*, 410, 124550.

Zhao, F., Xin, X., Cao, Y., Su, D., Ji, P., Zhu, Z., y He, Z. (2021). Use of carbon nanoparticles to improve soil fertility, crop growth and nutrient uptake by corn (*Zea mays* L.). *Nanomaterials*, 11(10), 2717.

MANEJO INTEGRAL DE HUMEDALES EN EL SUELO DE CONSERVACIÓN DE LA CIUDAD DE MÉXICO: TLÁHUAC

Yazmin Vaca Anaya¹

¹Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural. Av. Año de Juárez 9700, Col. Quirino Mendoza, San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco, C.P. 16610, Ciudad de México, México.

RESUMEN

La Ciudad de México cuenta aún con una gran riqueza de ecosistemas, climas, flora y fauna que alberga el Suelo de Conservación, la alcaldía Tláhuac, perteneciente a este territorio tiene un magnifica red canalera y humedales que proporcionan beneficios ambientales a la metrópoli tales como: la producción de agua, regulación del clima, retención del suelo, captura de carbono, producción agrícola y pecuaria y paisajismo. Estos humedales se mantienen a pesar de las grandes problemáticas existentes en la zona, que han provocado su deterioro y así su desaparición: el crecimiento de la mancha urbana, la desecación de las fuentes naturales que la alimentan, la contaminación del cuerpo de agua con desechos agrícolas, el cambio de uso de suelo, la sobreexplotación de los acuíferos entre otras. Con un manejo integral adecuado de los humedales de Tláhuac para su restauración y conservación, se han generado diversas estrategias, limpieza de canales por medio de actividades de chaponeo, limpieza de espejo y desazolve para así recuperar el cauce natural del agua. También es de gran importancia mencionar que en esta tarea tan importante deben participar diferentes actores sociales e institucionales para obtener mejores resultados y generar un beneficio para la sociedad y el ambiente.

PALABRAS CLAVE: Conservación; Humedales; Limpieza de canales; Manejo integral; Restauración.

INTRODUCCIÓN

Los humedales son ecosistemas claves para lograr la reducción de emisiones, la adaptación a los efectos del cambio climático y para frenar la pérdida de la diversidad. Pese a sus importantes funciones, son los ambientes más amenazados del planeta y se estima que desde 1970 se perdió un 35% de su extensión a nivel mundial, lo que significa que están desapareciendo tres veces más rápido que los bosques y que más de un cuarto de las especies que habitan allí están en peligro de extinción.

Los humedales de Tláhuac se ubican en el Suelo de Conservación de la Ciudad de México, en la planicie lacustre de Chalco, incluye parte de la Alcaldía de Tláhuac y del Municipio de Valle de Chalco Solidaridad, Estado de México, los humedales forman parte del territorio que fue declarado Patrimonio Mundial, Natural y Cultural de la Humanidad por la UNESCO en el año de 1987, de aquí la gran importancia de su restauración y conservación. Estos humedales albergan un sinfín de especies de flora y fauna silvestre característicos de la zona, como el caso del pato mexicano (*Anas platyrhynchos diazi*), mexclapique (*Girardinichthys viviparus*). El humedal de Tláhuac también es considerado "Área de Importancia para la Conservación de las Aves", donde descansen e invernan

aves migratorias. Existen una serie de problemáticas que afectan directamente a los humedales y red canalera de la alcaldía Tláhuac, durante muchos años se han practicado.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente apartado muestra la metodología utilizada en el manejo integral de las actividades realizadas en zonas lacustres de la alcaldía Tláhuac, las cuales guían la restauración integral de las mismas. Existen conjuntos de trabajos que forman parte de un sistema agroecológico, tales como el saneamiento forestal de árboles que se encuentran principalmente en las zonas de canales, limpieza de material orgánico proveniente de los procesos naturales, los cuales son utilizados, muchas de las veces, en los procesos productivos. Esto quiere decir que se integran los procesos de saneamiento a los procesos económicos y sociales. Por otro lado, también existen procesos naturales que se ven beneficiados por los trabajos de saneamiento, tales como la aparición de fauna, control de plagas y mejoramiento de suelos y aguas, lo cual, también impacta de manera beneficiosa en el territorio, tanto a los sistemas económicos, sociales, y culturales, así como a los sistemas ambientales.

El área de estudio se encuentra localizada dentro de la alcaldía de Tláhuac, la cual, tiene dentro de sus límites gran parte del suelo de conservación de la Ciudad de México. El clima, la flora, la fauna y los procesos productivos son diferentes dentro de cada uno de los territorios del suelo de conservación de Tláhuac. Tiene un tipo de clima templado subhúmedo con lluvias en verano – otoño, con una temperatura que varía entre los 8.3° a los 15.7°C y puede llegar cerca de los 23°C – 30°C en los meses más calurosos (abril y mayo); Con un tipo de vegetación predominante de pastizal, y una fisiología correspondiente a la parte del vaso lacustre (SEDEMA, 2014).

En el saneamiento integran se pueden focalizar diferentes actores claves que fungen como equipos de trabajo que operan en conjunto y tienen la función de ser parte de los métodos operativos para dichos saneamientos. Estos pueden ser actores institucionales, gubernamentales, productivos, entre otros. Cada equipo de trabajo cuenta con materiales y herramientas que permiten el saneamiento de las zonas lacustres, tales como herramientas de limpieza, trasporte y maquinaria. Para poder realizar estos trabajos fue necesario seguir ciertos lineamientos de investigación documental, tales como los manuales de saneamiento forestal de CONAFORT y la Norma Ambiental para la Ciudad de México (NACDMX-002-RNAT). A partir de ello, se realizó una búsqueda de documentación relacionada con el tema, y posteriormente se hizo un análisis sistemático, crítico y analítico con base en los trabajos realizados en los humedales.

Por medio del programa Altépetl Bienestar hacia sus beneficiarios, se realizaron trabajos de chaponeo selectivo; retiro de materia orgánica, como es tule, lirio, paraguilla, lentejilla; y retiro de materia inorgánica, principalmente basura plástica, llantas y residuos hospitalarios. Se realizaron recorridos de identificación de crecimiento de maleza y se emitió una interpretación, así como una serie de acciones para mejorar la revegetación selectiva. Y se realizaron capacitaciones a diferentes actores para mejorar los métodos de saneamiento y recuperación de la zona lacustre, mejoramiento y fortalecimiento de

especies herbáceas, melíferas y forestales. Cabe mencionar, que estas metodologías son cambiantes entorno a las especificidades de cada territorio del suelo de conservación. Y el resultado de estas metodologías son analizadas espacial, social y ambientalmente, apoyándose en herramientas como son la cartografía y las bases de datos históricas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las distintas líneas de estudio que se desarrollan en la zona lacustre apuntan a conocer más acerca del funcionamiento de estos ambientes, abarcando análisis de los sistemas fluviales y de sistemas con aporte de lluvias, aspectos de la biología de la conservación, control biológico, manejo de especies invasoras exóticas, análisis de riesgos de inundaciones entre otros

El manejo integral de la zona lacustre nos ha permitido conservar y aprovechar de manera sustentable estos ecosistemas, han aportado también a nivel cultural social y económico al reactivar estos sistemas.

Se aprecian indicadores biológicos al realizar las labores de restauración de la zona lacustre como son patos nacionales y patos que llegan en temporadas de migración en la temporada de invierno, también encontramos diversas especies de ranas, serpientes y otro tipo de aves que llegan al lugar para alimentarse y refugiarse.

CONCLUSIONES

Se están registrando evidencias de cambios en las condiciones naturales de los ambientes vinculados a zonas urbanas o periurbanas. Para poder proteger y conservar los humedales es necesario seguir educándonos ambientalmente, continuar las líneas de investigación que permitan conocer el funcionamiento y la dinámica de estos sistemas tan particulares y, de esta manera, valorarlos. las distintas acciones que se lleven a cabo desde las instituciones gubernamentales, no gubernamentales, académicas y desde cada ciudadano para uso racional y adecuado de los humedales.

Tenemos que trabajar de manera conjunta para lograr la articulación del sector productivo con el académico y científico, para conservar los humedales y el ambiente, en general. Las políticas públicas adecuadas y las líneas de investigación que colaboren en la toma de decisiones para la solución de los problemas que puedan presentarse en el desarrollo de alguna actividad productiva favorecerán el cuidado de los humedales.

BIBLIOGRAFÍA

Ayala, V., Arce, N. y Carmona. (2013). Distribución de espaciotemporal de aves acuáticas invernantes en la Ciénega de Tláhuac, planicie lacustre de Chalco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. vol.84 no.1.

Maimone-Celorio, M., Aliphat, M., Martínez-Carrera, D., Ramírez-Valverde, B., Valdéz-Hernández, J. I., y Macías-Laylle, A. (2006). Manejo tradicional de humedales tropicales y su análisis mediante sistemas de información geográfica (SIGs): el caso de la comunidad Maya-Chontal de Quintín Arauz, Centla, Tabasco. *Universidad y Ciencia*, 22(1), 27-49.

SEDEMA. (2014). Atlas de Peligros y Riesgos de la Ciudad de México, actualización de los Mapas de riesgo, Tláhuac. CDMX.

MANEJO INTEGRAL DE TIERRAS, INTERVENCIÓN UNIVERSITARIA Y PARTICIPACIÓN SOCIAL, EN EL ALTO MEZQUITAL, HIDALGO

<u>Francisco López Galindo</u>^{1*}; Micaela González Delgado²; Lauro Pérez Escamilla¹; Fernando Ayala Niño¹; Ana María Muñoz Flores¹; José López García³

¹Facultad de Estudios Superiores Iztacala-UNAM. Av. De los Barrios #1. Los Reyes Iztacala, C.P. 54090 Tlalnepantla de Baz, EDOMEX. México; ²Facultad de Estudios Superiores Acatlán. Av. Jardines de San Mateo S/N, C.P. 53150. Naucalpan de Juárez, EDOMEX, México; ³Instituto de Geografía-UNAM. Circuito de la investigación Científica, C.P. 04510, Ciudad de México, CDMX, México.

*granitopomez2014@gmail.com

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es dar a conocer las experiencias logradas de investigación-docencia-servicios comunitarios, logrados en el aprovechamiento, usos de recursos de la tierra y contribuciones al desarrollo rural comunitario en la zona, a lo largo de 27 años. Con la implementación del "Programa de Aprovechamiento Integral de Tierras, Desarrollo Rural y Sustentabilidad en el Dexthí-San Juanico, y áreas de influencia, Ixmiquilpan, Hgo. (PROGDEXTHI) que pretende detener, reducir y controlar de manera significativa la degradación del tierras, a través de la promoción de un uso múltiple de recursos y la aplicación de tecnologías que contribuyan a la recuperación de áreas degradadas y aumentar la productividad local y del "Programa de Servicio Social Comunitario Interdisciplinario en Desarrollo Rural Sustentable y Conservación Ambiental, en el Alto Mezquital, Hidalgo", dirigido a incorporar prestadores de servicios y tesistas de diferentes disciplinas científicas o distintas áreas de desempeño profesional, en los trabajos de investigación-docencia y servicios comunitarios. Para ello se realizaron: una evaluación de los recursos, la conformación de equipos de investigadores con productores, planeación participativa, elaboración y gestión de proyectos estratégicos con diversos temas de manejo de tierras y suelos, resumidos en 11 líneas de acción, al momento se han beneficiado 7000 habitantes, los logros sobresalientes han sido los proyectos de construcción de obras para conservación de suelos y captación de agua, mejoramiento de prácticas agrícolas e incremento de fertilidad de suelos, capacitación en restauración de suelos, difusión en varios foros, la formación de estudiosos del suelo, contribución al bienestar humano.

PALABRAS CLAVE: Investigación adaptativa; Práctica profesional; Sistema adaptativo; Sustentabilidad; Transdisciplina.

INTRODUCCIÓN

La tierra es un recurso esencial tanto para la sobrevivencia y la prosperidad de la humanidad como para el mantenimiento de todo el ecosistema. La tierra y los recursos de la tierra se refieren a un área definible de la superficie terrestre de la Tierra, abarcando todos los atributos de la biosfera inmediatamente por arriba y por debajo de esa superficie, incluyendo aquellos atributos climáticos cercanos a la superficie, el suelo y las formas del terreno, la superficie hidrológica, las capas sedimentarias cercanas a la

superficie y el agua subterránea asociada y las reservas geohidrológicas, las poblaciones animales y vegetales, los tipos de asentamientos humanos y, los resultados físicos de la actividad humana pasada y presente -terrazas, estructuras para drenaje o almacenamiento de agua, caminos, edificios y otros- (FAO/UNEP, 1997). El uso de la tierra se caracteriza por los arreglos, las actividades y los insumos de la población para producir, cambiar o mantener un cierto tipo de cobertura de la tierra (Di Gregorio y Jansen, 1998; FAO, 2017). El uso de la tierra definido de esta manera establece un vínculo directo entre la tierra y las asociaciones de la población en su ambiente. La planificación del uso de la tierra, definido por FAO (1993), "es la evaluación sistemática del potencial de la tierra y del agua, de las alternativas para el uso de la tierra y las condiciones sociales y económicas, a modo de seleccionar y adoptar las mejores opciones de uso. Su propósito es el de seleccionar y poner en práctica aquellos usos que mejor satisfarán las necesidades de la población y al mismo tiempo salvaguardan los recursos para el futuro." De tal forma que es una estrategia ideal para gestionar el manejo adecuado y sustentable de los recursos existentes, impulso de los servicios ambientales y elevar la productividad, para promover una mejor calidad de vida.

Por otra parte, el Alto Mezquital presenta problemas de deterioro ecológico, como lo son: el proceso de desertificación, la pérdida de biodiversidad, particularmente de especies de importancia biogeográfica, la extracción de flora y fauna, que van alterando constantemente los procesos naturales, disminuyendo el poder de amortiguamiento de los ecosistemas, manifestándose en una reducción de la productividad de la zona; contribuyendo al empobrecimiento y marginación de las comunidades, provocando una desarticulación social muy importante. Por lo que es necesario planear, aplicar acciones y estrategias de manejo integral de la tierra en el marco de los objetivos del desarrollo sustentable, encaminados a la resolución o mitigación de la degradación de la tierra y otros recursos, conjuntando la participación activa de del laboratorio de Edafología de la FESI, educandos de otras instancias de la UNAM, los sectores institucionales y organizaciones ñha ñhus de base. El objetivo del presente trabajo es dar a conocer las experiencias logradas de investigación-docencia-servicios comunitarios, logrados en el aprovechamiento, usos de recursos de la tierra y contribuciones al desarrollo rural comunitario en la zona, a lo largo de 27 años.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se localiza en la porción Oeste-Suroeste del Estado de Hidalgo, entre los paralelos 20° 30′ y 20° 41′ de Latitud Norte y los meridianos 99° 00′ y 99° 20′ de Longitud Oeste. La extensión de la zona es de 70,644 ha. La zona de estudio pertenece a las provincias fisiográficas del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Oriental. La secuencia metodológica incluyó: delimitación, el ámbito espaciotemporal, empleada para diseñar y aplicar el modelo de sistema de aprovechamiento y manejo de recursos y valorada como un socioecosistema o sistema de aprovechamiento de la tierra (FAO, 1994; López *et al.*, 1999). Se efectuó una evaluación de los recursos naturales y un diagnóstico socioambiental comunitario. Se elaboró una propuesta de ordenamiento ecológico territorial comunitario, la formulación de líneas de acción y proyectos estratégicos de

manejo, conservación de recursos y desarrollo sustentable, con la participación directa de la población y conjuntados en un programa de aprovechamiento y manejo de recursos locales, fomentando el proceso de investigación-acción, investigación participativa y trabajo colaborativo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Alto Mezquital, por su propia naturaleza presenta un gran potencial productivo, ecológico y cultural. Los principales recursos identificados dos son: ocho sistemas ecogeográficos, tres recursos mineros no metálicos, siete Grupos Mayores de suelos, 11,242 ha de bosques, 26,532 ha de matorrales, 17 tipos de vegetación, una riqueza florística de 7,577 familias y 410 especies, 38 familias de aves, anfibios, reptiles y mamíferos10 agroecosistemas 25,685 ha presentan diferentes grados de erosión, se proponen 21,400 ha para restauración y 28,119 ha para desarrollo y aprovechamiento sustentable. Se tienen 52,000 ha con aptitud agrícola de temporal, 27,000 ha con aptitud pecuaria y 4,900 ha con capacidad forestal.

El "Programa de Aprovechamiento Integral de Tierras, Desarrollo Rural y Sustentabilidad en el Dexthí-San Juanico, y áreas de influencia, Ixmiquilpan, Hgo. (PROGDEXTHI), tiene como objetivo establecer estrategias y acciones dirigidas a elevar el desarrollo de la comunidad y las condiciones de vida de los pobladores y áreas aledañas; así como, detener, reducir y controlar de manera significativa la degradación del ambiente, a través de la promoción de un uso múltiple de recursos y la aplicación de tecnologías que contribuyan a la recuperación de áreas degradadas y aumentar la productividad local, con la participación directa de la población, en cooperación con el cuerpo técnico de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala de la UNAM. Diseñando proyectos autogestivos dirigidos a fomentar la producción y productividad del sitio y de los beneficiarios. El programa lleva una duración de 27 años. Dicho programa fue creado desde 1996 y sigue operando como instrumento gestivo hasta la fecha.

Por el carácter multifuncional, multi escalar y multidisciplinario, y cumpliendo con los postulados de la UNAM en lo referido a su papel ante la sociedad, requirió contar con personal de distintas disciplinas; por lo que se creó como instrumento de apoyo para desarrollar investigación científica el "Programa de Servicio Social Comunitario Interdisciplinario en Desarrollo Rural Sustentable y Conservación Ambiental, en el Alto Mezquital, Hidalgo", dirigido a insertar prestadores de servicios y tesistas de diferentes disciplinas científicas o distintas áreas de desempeño profesional, en los trabajos de investigación-docencia y servicio comunitario, que las instituciones participantes realizan en la zona. Generando líneas de trabajo importantes para los habitantes de la zona.

Se diseñaron y aplicaron actividades de servicio social, en el marco de los objetivos del desarrollo sustentable, en un total de 21 comunidades indígenas, que abarcan una superficie aproximada de 30,000 ha, con una población cercana a los 7,000 habitantes. Para ello se han incorporado cerca de 140 prestadores de servicio social, de 18 carreras científicas y humanísticas, desde la creación de programa a la fecha, provenientes de 10 escuelas y facultades de la UNAM y una externa (ENAH) Los beneficios logrados han

incluido: estímulo económico para la incorporación de nuevos prospectos de servidores de diversas disciplinas, mejoramiento de las condiciones de trabajo de los prestadores de servicios, y a la postre, mayor formación profesional en trabajo interdisciplinario, continuidad y fortalecimiento del programa propuesto; aumento de recursos humanos y elevación de la calidad académica en trabajo comunitario; mayor vinculación entre el quehacer académico y las necesidades sociales; ampliación del campo de acción y nuevas oportunidades de desarrollo profesional.

En el ámbito académico se ha incrementado la eficacia de la enseñanza y finalmente, una contribución a la elevación de la calidad de vida. Proyectos estratégicos: A continuación, se enmarcan las líneas de acción y sus proyectos estratégicos derivados: Línea de acción 1. Reactivación y eficientización de la productividad agrícola y seguridad alimenticia. Proyecto a. Incremento de la fertilidad de suelos a través del empleo de residuos orgánicos de plantas nativas. Proyecto b. Manejo y diversificación específica de huertos familiares. Línea de acción 2. Conservación de suelos y captación de agua de escurrimiento. Proyecto a. Introducción y mejoramiento de prácticas de conservación de suelos y sistemas de captación de agua de escurrimiento. Línea de acción 3. Desarrollo forestal integral. Proyecto a. Establecimiento de Sistemas Agroforestales y recursos maderables y no maderables. Línea de acción 4. Incorporación de sistemas productivos sustentables alternativos. Proyecto a. Sistemas hortícolas en pequeña escala bajo microirrigación rústica. Línea de acción 5. Manejo sustentable de biodiversidad y conservación del capital ecológico. Proyecto a. Colecta, propagación y reintroducción de plantas silvestres multifuncionales. Línea de acción 6. Restauración ambiental y lucha contra la desertificación. Proyecto a. Reforestación y revegetación con Lechuguilla (Agave lechuguilla Torr.). Línea de acción 7. Desarrollo Rural Comunitario. Proyecto a. Determinación del nivel de calidad de la fibra de lechuguilla. Línea de acción 8. Desarrollo social y fortalecimiento de las organizaciones civiles de base. Proyecto a. Fortalecimiento de las estructuras organizativas. Línea 9. Desarrollo urbano y eficientización de espacios comunitarios. Proyecto a. Ordenamiento territorial urbano y arquitectura del paisaje. Línea de acción 10. Desarrollo educativo, reivindicación cultural y capacitación técnica. Proyecto a. Programa de educación ambiental y Capacitación comunitaria. Proyecto b. Elaboración de materiales didácticos de apoyo con temáticas ambientales a nivel básico. Proyecto c. Conocimiento tradicional rescate de tecnologías locales. Línea 11. Investigación científica y tecnológica. Proyecto a. Diseño y construcción de un vivero comunitario. Proyecto b. Conservación de biodiversidad y capital natural.

La instrumentación del presente programa permite obtener beneficios, a corto, mediano y largo plazo, que podemos agrupar en diferentes rubros: a). La sustentabilidad humana, mediante la ejecución de proyectos productivos autogestivos; b). fortalecimiento de la organización civil, por medio de la capacitación y de la gestión participativa; c). sustentabilidad ambiental y recuperación de los servicios ecológicos. d). sustentabilidad económica, a través del establecimiento de un modelo económico productivo basado en el uso múltiple de recursos.

CONCLUSIONES

El uso multifuncional de los recursos es una estrategia que se ha practicado desde hace mucho tiempo por los Hñahñus y que les ha permitido sobrevivir a las condiciones agrestes del área. La planeación del manejo integral de tierras y el ordenamiento de los recursos locales son una alternativa para fomentar el desarrollo regional con bases sólidas. El estudio integral con un enfoque holístico permite tener una aproximación más real para entender la estructura y dinámica del socioecosistema. La secuencia metodológica permitió tener más elementos de juicio para proponer el aprovechamiento integral de recursos. La planeación participativa favoreció el rescate de información y propuestas más reales para la instrumentación de proyectos estratégicos, procurando la disminución del deterioro ambiental y mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades. El programa realizado sugiere un manejo de recursos dentro del marco de la sustentabilidad. Los programas citados han contribuido de forma impactante en la formación de prestadores de servicio, tesistas y alumnos, creándoles una visión integral, desarrollo de habilidades en la formación de equipos multidisciplinarios, para el trabajo colaborativo, participación en foros y un real compromiso social.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer el apoyo material y financiero de la antigua Secretaría del Medioambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior de la República Mexicana A.C. (ANUIES) y al Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

BIBLIOGRAFÍA

Di Gregorio, A. y Jansen, L. (1998). Land cover classification system (LCCS): classification concepts and user manual. For software version 1.0. GCP/RAF/287/ITA Africover- East Africa Project in cooperation with AGLS and SDRN. Nairobi. Rome. pp. 23.

FAO. (1993). Guidelines for land-use planning. FAO Development Series 1. Rome.

FAO. (1994). Directrices sobre la planificación del aprovechamiento de la tierra. Organización de las Naciones Unidad para la Agricultura y la Alimentación. Roma. Italia

FAO/UNEP. (1997). Negotiating a sustainable future for land. Structural and institutional guidelines for land resources management in the 21st Century. FAO/UNFPA, Rome.

FAO. (2017). Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome.

López, F., M. Hernández, D. Muñoz, A. Soler. (1999). El Caso Dexthí-San Juanico, Valle del Mezquital, Hidalgo. México. En: FIDAMERICA. Experiencias locales de lucha contra la desertificación en zonas semiáridas pobres de América Latina y El Caribe. Conferencia Electrónica. Del 13 de septiembre al 22 de octubre.

MODELO DE EVALUACIÓN DE CALIDAD AMBIENTAL DE RIBERAS EN EL PARQUE NACIONAL IZTA-POPO

<u>Inyasid Santiago Aguilar^{1*}</u>; Lorenzo Vázquez Selem²; Arturo García Romero²; Gilberto Vela Correa³; Eloísa Adriana Guerra Hernández⁴; Gerardo Cruz Flores⁴

¹Posgrado en Geografía, UNAM, Circuito de Posgrados, SN, Coyoacán, Ciudad de México, México; ²Instituto de Geografía, UNAM, Ciudad de México, México; ³Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Coyoacán, Ciudad de México, México; ⁴Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, Batalla 5 de mayo S/N esquina Fuerte de Loreto, Col. Ejército de Oriente, Iztapalapa, Ciudad de México, México. inyasidsa@gmail.com

RESUMEN

La medición de la alteración de los ecosistemas es imprescindible para tomar acciones encaminadas hacia la conservación. Los ecosistemas ribereños son sistemas complejos por su cercanía entre agua y suelo, que aportan características físicas, químicas y biológicas específicas, además son sensibles a los cambios de uso de suelo. Por ello, este estudio tuvo por objetivo evaluar la calidad ambiental en los ecosistemas ribereños del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatépetl y su zona de influencia, utilizando parámetros de agua y suelo. La investigación se realizó en 28 localidades ribereñas de la subcuenca del río Nexapa, en el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatépetl. Se tomaron datos de propiedades físicas y químicas de agua y suelo, de la Línea de Investigación Relaciones Suelo-Agua-Vegetación en el Manejo de Cuencas de la FES Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Se evaluaron 18 parámetros de agua y suelo de ambientes ribereños del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatépetl. Se filtraron las variables en significativas y altamente significativas con un análisis de correlación simple y test de Kruskal-Wallis, también se aplicó un análisis de correlaciones canonícas. Se observó seis parámetros derivados de las correlaciones canónicas que contribuyen como indicadores de calidad ambiental. Los análisis de correlaciones canónicas mostraron tres variables robustas: conductividad eléctrica, concentración de amonio en agua y relación carbono (C)/nitrógeno (N) del suelo, con los que se elaboró el Índice de Calidad de Ambientes Ribereños (ICAR). De los 28 sitios ribereños estudiados, 12 presentaron calidad ambiental buena, 13 mostraron calidad ambiental intermedia, dos tuvieron calidad ambiental mala y solo un sitio tuvo una pésima calidad ambiental.

PALABRAS CLAVE: Agua; Medio ambiente; Suelo.

INTRODUCCIÓN

El Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatépetl (PNI-P) se encontró ubicado en el centro de la región más poblada de México. Esta ubicación y la riqueza del capital natural del PNI-P, promueven el establecimiento de importantes actividades productivas de las comunidades establecidas en el área de influencia del Parque Nacional, debido a que es considerado como un territorio invaluable por su multifuncionalidad ecológica, social y cultural.

Se han realizado diversos estudios en variadas disciplinas en el Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatépetl (PNI-P) (Hernández y Granados, 2006; CONANP, 2013; Guerra

y Cruz, 2017; Mena, 2018 y Santiago, 2018), sin embargo, pocos se han referido al diagnóstico de la calidad de los ecosistemas ribereños. A manera evidencia se mencionan algunas investigaciones que dan paso a evaluar la calidad de los sistemas riparios:

En un estudio realizado por Guerra y Cruz (2017), donde evaluaron la calidad del agua en sistemas ribereños del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatépetl y su zona de influencia. Se encontró que las variables evaluadas en el agua con sensibilidad a los cambios en el uso de suelo fueron: la conductividad eléctrica, alcalinidad, dureza total, fósforo total, oxígeno disuelto, pH, nitratos, amonio y DBO. En otro trabajo realizado por Cornejo (2016), se clasifico a los recursos hídricos en la subcuenca de San Martín Texmelucan. La autora encontró cuatro variables que intervienen en la formación de los grupos para su clasificación, las cuales son: O₂, PO₄³⁻, alcalinidad y NO₂-.

Por los servicios ambientales que proporcionan a la sociedad, por ser la base para el desarrollo económico dentro y en los alrededores de esta área natural protegida, es imprescindible realizar de manera inmediata un diagnóstico de los ecosistemas ribereños del PNI-P, utilizando parámetros medibles como las propiedades físicas y químicas de agua y suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La subcuenca del río Nexapa se ubicó en la cuenca alta del río Balsas en el PNI-P. Se seleccionaron 28 sitios ribereños distribuidos entre 2,400 m y 4,000 m de altitud para abarcar los diferentes tipos de uso de suelo que se encuentran en la zona: pradera de alta montaña, bosque de pino y vegetación secundaria, bosque fragmentado con agricultura de temporal y agricultura de temporal en zona periurbana.

Para los muestreos se trazaron transectos de 30 metros a lo largo del arroyo, paralelo a este se marcaron franjas de uno y cinco metros de amplitud a ambos lados del río. Los muestreos de suelo se realizaron hasta 20 cm de profundidad en las distancias de 0.15 y 30 m sobre los transectos y sobre las franjas de uno y cinco metros de amplitud, en ambos lados del río. Con estas se formó una muestra compuesta de 1kg mediante cuarteos consecutivos. Para determinar densidad aparente se utilizó un tubo metálico de dos centímetros de diámetro y siete centímetros de altura, que se introdujo en el suelo donde se colectaron las muestras.

La temperatura y la conductividad eléctrica en el agua se tomaron *in situ* debido a su rápido cambio fuera del sistema acuático. Las muestras de agua se tomaron de forma manual en botellas de polietileno de 1 L, 500 mL, y en botellas DBO de 50 mL para oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno.

Además de los muestreos, se tomaron datos de trabajos existentes de la Línea de Investigación Relaciones Suelo-Agua-Vegetación en el Manejo de Cuencas de la FES Zaragoza, UNAM. Los trabajos se enlistan solo con la referencia: Colli, 2015; Sandoval, 2016; Santiago, 2018; Mena, 2018; Monfil, 2020 y Guerra, 2020. Con los resultados obtenidos de las bases de datos y de los muestreos en campo, se filtraron utilizando un análisis de correlaciones simples y un test de Kruskal-Wallis, de los cuales, se

seleccionaron solo las variables significativas y altamente significativas. Después, se realizó un análisis de correlaciones canónicas para revelar las variables robustas para evaluar la calidad ambiental en las zonas ribereñas y conformar el Índice de Calidad de Ambientes Ribereños (ICAR).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de correlaciones simples filtrado en parámetros significativos y altamente significativos para suelos fueron: densidad aparente, pH activo, conductividad eléctrica, carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo disponible y relación C/N. Las variables de agua fueron: Temperatura, conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto, alcalinidad, amonio y fósforo total. Con las variables filtradas del análisis de correlación simples, se realizó el análisis de Kruskal-Wallis, que también se filtró de tal manera que solo se usaron los parámetros significativos y altamente significativos: altitud (0.0002), tipo de suelo (0.0001), uso de suelo (0.0001), temperatura ambiental (0.0054), temperatura del agua (0.0009), conductividad eléctrica del agua (0.0056), alcalinidad (0.0258), amonio (0.0278) y relación C/N (0.0426). Cabe mencionar que todas las variables tienen siete grados de libertad. Los análisis de correlaciones canónicas se realizaron a partir de las variables filtradas de Kruskal-Wallis, los resultados de este análisis mostraron las variables robustas, útiles para evaluar la calidad ambiental en las zonas ribereñas: temperatura ambiental, temperatura del agua, conductividad eléctrica del agua, amonio, relación C/N, altitud, tipo de suelo y uso de suelo. Los resultados del análisis de correlaciones canónicas se observan en el Cuadro 1, donde se seleccionaron las variables robustas para evaluar la calidad ambiental de zonas ribereñas. Se decidió incluir en estas variables la materia orgánica del suelo debido a que es un componente energético muy importante en los ecosistemas y para la vida en general.

Cuadro 1. Variables de calidad ambiental (agua y suelo) del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatépetl.

Parámetro	Media ± DE	Valor	Puntaje
Conductividad eléctrica	106.8 ± 84.5 μS cm ⁻¹	>190.1	6.25
del agua		184.1 - 190	12.5
-		<84	25
Concentración de	$0.5 \pm 1.1 \text{ mg L}^{-1}$	>0.5	12.5
Amonio en agua		<0.5	25
Relación C/N	15.6 ± 7.2	> 25	6.25
en suelo		15.1 - 25	12.5
		5 - 15	25
Materia orgánica	$4.4 \pm 2.3 \%$	< 4	5
del suelo		4.1 - 6	10
		6.1 - 10.9	15
		11 - 16	20
		> 16.1	25

DE = desviación estándar

Observación	Nivel de calidad	Puntos	Color
Sitios ribereños sin alteraciones	Calidad muy buena	≥ 90	Azul
Sitios ribereños ligeramente perturbado	Calidad buena	75 a 90	Verde
Sitios ribereños con inicio de alteración importante	Calidad intermedia	55 a <75	Amarillo
Sitios ribereños con alteración fuerte	Calidad mala	30 a <55	Naranja
Sitios ribereños con degradación extrema	Calidad pésima	≤ 30	Rojo

Cuadro 2. Puntuación final y código de color de la calidad ambiental de riberas del Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatépetl y su área de influencia

El Índice de Calidad de Ambientes Ribereños se forma a partir de las variables del Cuadro 1, su fórmula matemática se aprecia en la Ecuación 1.

$$ICAR = (p CE_{H_2O}) + (p CA_{H_2O}) + (p CN) + (p %MOS)$$
 Ecuación 1

Donde: $p CE_{H_2O}$, $p CA_{H_2O}$, p %CN y p %MOS es el puntaje asignado a los intervalos designados en el Cuadro 5.

El índice ICAR se aplicó a los 28 sitios ribereños y los resultados se interpretaron con el Cuadro 2, donde se encuentran los niveles de calidad, los puntajes y el código de color para cada tipo de calidad ambiental.

La calidad ambiental buena se ubicó en zonas ribereñas en altitudes superiores a 3,000 m, donde la influencia de las actividades humanas no es significativa (Colli, 2015; Cornejo, 2016; Santiago, 2018). En las altitudes de 4,010, 3,883 y 3,840 m, se presentó una calidad ambiental intermedia, principalmente se atribuyó a la acumulación de materia orgánica de difícil de degradación como los pastos (Mack *et al.*, 2001). En sitios ribereños ubicados entre 2419 y 2260 se observó una calidad ambiental mala y pésima y esto sucedió debido a que se encontraron en zonas urbanas y agrícolas donde ha acumulación de residuos orgánicos e inorgánicos, fertilizantes entre otros contaminantes (Rashitan *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES

Se propone el índice de calidad de ambientes ribereños (ICAR) con la estadística no paramétrica, las variables (conductividad eléctrica del agua, amonio de agua y relación carbono C/nitrógeno N en suelos) y la materia orgánica del suelo y se encontró que, 12 de los sitios estudiados presentaron calidad ambiental buena (75 a 90 puntos); 13, calidad ambiental intermedia (55 a < 75 puntos); dos con calidad ambiental mala (30 a < 55 puntos) y, solo un sitio con calidad ambiental pésima (≤ 30 puntos).

BIBLIOGRAFÍA

Colli, P. (2015). *Actividades Arilsulfatasa y Ureasa en la fertilidad de suelos ribereños del Parque Nacional Izta-*Popo y su zona de influencia. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

CONANP. (2013). Programa de Manejo Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatépetl. México: SEMARNAT y CONANP.

Cornejo, C. (2016). Clasificación de recursos hídricos de la subcuenca de San Martín Texmelucan. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Guerra, E. (2020). Indicadores Hídrico-edáficos de calidad para ambientes ribereños de la reserva de la biosfera "Los volcanes". México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Guerra, E., y Cruz, G. (2017). Uso de suelo y calidad del agua. Caso de estudio: Reserva de la Biosfera Los Volcanes. Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias, 8(18), 41-67.

Hernández, M., y Granados, D. (2006). El Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatépetl-Zoquiapan y el impacto ecológico de su deterioro. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 12(2), 101-109.

Mack, M., D'Antonio, C., y Ley, R. (2001). Alterations of ecosystem nitrogen dynamics by exotic plants: a case study of C4 Grasses in Hawaii. Ecological applications, 11(5), 1323-1335.

Mena, B. (2018). Infiltración de agua en suelos ribereños con distintos tipos de vegtación sobre un sistema fluvial en el Parque Nacional Izta-Popo y zonas de influencia. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Monfil, L. (2020). Calidad ecológica de dos sistemas ribereños de montaña y su relación con el uso de suelo. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Rashitan, J., Chavkin, D., y Merhi, Z. (2019). Water and soil pollution as determinant of water food quality contamination and its impacts on female fertility. Reproductive Biology and Endocrinology, 17(5), 1-13.

Sandoval, J. (2016). Caracterización y clasificación de suelos de sistemas ribereños del Parque Nacional Izta-Popo. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Santiago, I. (2018). Contenidos de carbono orgánico y su compartimentación en sistemas ribereños adyacentes a cuatro biotopos del Parque Nacional Izta-Popo y zonas de influencia. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

MODELOS MENTALES DE LAS APROXIMACIONES BIOECONÓMICAS AL ESTUDIO DEL SUELO. CASO SAN NICOLÁS TOTOLAPAN

Francisco Almonacid Buenrostro^{1*}

¹Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, UNAM. Ciudad Universitaria, C.P. 04510, Ciudad de México. *f.almonacid.b@gmail.com

RESUMEN

En los núcleos agrarios, el sustento de las personas que habitan en ellos depende considerablemente de los recursos naturales. Esa dependencia está ligada al aprovechamiento -apropiación- y a la conservación -provisión- de estos recursos. El suelo no es la excepción. Tomando a San Nicolás Totolapan como caso de estudio este trabajo tiene la finalidad de explorar la manera en que la bioeconomía se aproxima al estudio de los suelos y su importancia en la construcción de sustentabilidades. A partir de la información procedente de 4 entrevistas grupales y haciendo uso de fuentes de información de tipo secundaria se identificaron las principales actividades que se pueden enmarcar dentro de la perspectiva bioeconómica de los suelos. Obteniendo como resultado la esquematización de las modelos mentales de cada actividad, vinculada al estatus regulatorio del ecoturismo, la extracción de suelo, la tala, la urbanización causada por desarrollos inmobiliarios y para todas las actividades de conservación que se realizan en la zona. La principal aportación de esta perspectiva es la coproducción coordinada de modelos mentales en función del contexto y la escala de análisis.

PALABRAS CLAVE: Apropiación; Derechos de propiedad; Provisión; Usos del suelo; Valores INTRODUCCIÓN

La bioeconomía y la ciencia del suelo comparten una noción central. Ambas disciplinas consideran que cualquier actividad humana causa algún impacto independientemente del propósito de la actividad realizada. Por un lado, la bioeconomía retoma la noción de daño econogénico para denotar el daño que resulta de la práctica económica. Es decir, reconoce que prácticamente todas las intervenciones implican un impacto previsible y/o imprevisible para algunos actores, aunque prometan beneficios para otros. (DeMartino, 2016, 2022). Por otro lado, dentro de la ciencia del suelo autores como Yaalon (2007, p. 918) reconocen que cualquier cambio en el suelo involucra numerosos *trade-offs* en los ecosistemas.

El suelo y las personas están vinculadas de manera interdependiente a través del aprovechamiento -apropiación- y a la conservación -provisión- de este recurso, hay una idea de que la economía en sí misma es *dañina* para el medio ambiente. Incluso, al hablar de economía se asume que se está hablando de neoliberalismo o tecnocracia. Esto tiene varios matices, en el caso de la bioeconomía, desde su origen se pensó como un pilar fundamental del decrecimiento y más adelante como propuesta crítica al desarrollo sostenible (Mayumi, 2001). De hecho, el planteamiento central de la bioeconomía es

destacar la esencia biológica del proceso económico, en casi cualquier aspecto (Bonaiuti, 2010).

Dado lo anterior, este trabajo tiene como objetivo explorar la manera en que la bioeconomía se aproxima al estudio de los suelos. Esto es relevante, en términos de la importancia del suelo en la construcción de sustentabilidades. Más aún, porque la bioeconomía es un paradigma socioecológico que se basa en la noción fundamental de que la ecología y la economía comparten un mismo objeto de análisis.

En la literatura científica, hay diversos antecedentes sobre aproximaciones bioeconómicas al estudio del suelo. Así, tenemos que se ha analizado como recurso sostenible (Wollschläger *et al.*, 2017); dentro de la actividad agrícola y los servicios ecosistémicos (Rengalakshmi *et al.*, 2018); la gestión de las funciones del suelo (Helming *et al.*, 2018) y la gobernanza del suelo (Juerges y Hansjürgens, 2018). Con los recursos actualmente disponibles no se encontró registro sobre modelos mentales relacionados con aproximaciones bioeconómicas. Sin embargo, Friedrichsen *et al.*, (2019), exploró desde la perspectiva etnopedológica los modelos mentales de dos grupos de actores. Estudió ambientes periurbanos y analizó el papel del suelo en algunas cadenas de valor.

También, como antecedentes de la zona de estudio, SEMARNAT, (2006); menciona que el Parque Ejidal de San Nicolás Totolapan, como proyecto ecoturístico es un caso paradigmático del proceso de construcción social del desarrollo sustentable. Esta zona permite observar la implementación de un manejo productivo del suelo de conservación que aporta beneficios monetarios a los poseedores originales y, al mismo tiempo, conserva los recursos naturales.

El resto de este documento se estructura de la siguiente manera, a continuación, se describen los materiales y métodos, incluyendo la zona de estudio, la forma de obtener los datos y el proceso analítico. En seguida, se presentan los resultados y se discuten para dar paso a una serie de conclusiones derivadas de este trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio. San Nicolás Totolapan -en adelante SNT- se encuentra en el suelo de conservación de la ciudad de México. Entre las alcaldías Magdalena Contreras y Tlalpan. Con frecuencia las personas se refieren de manera indistinta al Ejido San Nicolás Totolapan, al Parque Ejidal Nicolás Totolapan y al pueblo de San Nicolás Totolapan. Para efectos de este estudio simplemente lo llamamos San Nicolás Totolapan. De acuerdo con Avila-Foucat, (2012), en la zona, el ejido tiene una extensión superior a 2,300 hectáreas y 336 ejidatarios poseen la tenencia de la tierra. También, el ejido cuenta con un Parque Ecoturístico creado en 1998, con una extensión de 1,900 hectáreas con bosque de pinos, encino y oyamel. Hace años, el aprovechamiento forestal era la principal actividad que representaba un valor monetario para los ejidatarios. Pero, la veda forestal prohibió la extracción de madera y las familias buscaron trabajos en la ciudad o vendieron su tierra. Posteriormente, algunos miembros de la comunidad iniciaron algunos proyectos sustentables para el bosque e implementaron una UMA (Ávila-Foucat, 2012). Además de la puesta en marcha del parque ejidal que actualmente es visitado cada semana

aproximadamente por mil personas. Este parque proporciona 15 empleos fijos y 20 de fin de semana, con pagos que oscilan entre 1.5 y 2.5 salarios mínimos. Adicionalmente, brinda 30 empleos indirectos por los locales de artesanías y alimentos. Los ingresos del parque son por concepto de entradas, estacionamiento y visitas organizadas de grupos escolares de la tercera edad (SEMARNAT, 2006).

Obtención de datos. Entre octubre de 2021 y mayo de 2022 se realizaron 4 entrevistas grupales en las que participaron 37 personas, las cuales se auto describen como ejidatarias, originarios, avecindados y visitantes de SNT. Las entrevistas se realizaron en persona y virtualmente y se abordaron tres temas generales relacionados con el suelo: i) el estado del suelo que las personas perciben, ii) los usos del suelo y iii) la gobernanza del suelo. Es importante mencionar que estas categorías forman parte de una propuesta de aproximación bioeconómica para estudiar suelos.

Proceso analítico. Todas las entrevistas se grabaron utilizando una grabadora de audio (en persona) o el *software* WebEx (virtual) y se transcribió el audio palabra por palabra. Cualquier información de identificación personal en las entrevistas fue redactada o reemplazada por un seudónimo, según fuera necesario.

Codificación. Las entrevistas transcritas se organizaron y se codificaron para su análisis usando el *software* AtlasTi. Esta codificación permitió encontrar patrones que en conjunto con un diagrama de influencia sirvieron para representar los modelos mentales que se muestran en los resultados (Morgan *et al.*, 2001). De acuerdo con el criterio de Friedrichsen *et al.*, (2019), todas las relaciones en los diferentes modelos mentales fueron expresadas verbalmente por al menos el 30 % de las personas participantes. Los modelos mentales se elaboraron con el *software* Valence.

Consentimiento informado. Todas las personas otorgaron su consentimiento para participar en las entrevistas. Sobre la publicación/difusión de los resultados, otorgaron su consentimiento bajo el acuerdo de mantener su identidad resguardada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran los modelos mentales de las principales actividades realizadas en SNT y sus conexiones con los derechos de propiedad que se ejercen y de los cuales se deriva el estatus regulatorio de cada actividad (Figura 1), con los valores asociados a cada actividad (Figura 2) y con los usos del suelo (Figura 3).

El modelo mental sobre los derechos de propiedad muestra que las personas participantes identifican que el ecoturismo y las actividades de conservación están relacionadas entre sí en dos sentidos (Figura 1). En un primer sentido, el aprovechamiento del suelo -apropiación- requiere necesariamente de su conservación -provisión-. Falk *et al.* (2016), reportan resultados similares, la diferencia es que su estudio analiza la provisión del agua. El otro sentido, es la relación entre los derechos de propiedad y las actividades que las personas reconocen. Aquí, destacan los derechos de acceso -al suelo- y de gestión -del suelo-, este hallazgo se alinea con lo reportado en el trabajo de Bartkowski *et al.* (2018), los derechos de propiedad le pertenecen a determinadas personas o conjuntos de

personas. Esta evidencia sugiere cuáles derechos de propiedad se perciben como más necesarios en la conservación del suelo. Esto permitió establecer dos subgrupos de actividades alineadas a diferentes derechos de propiedad y, a sus estatus regulatorios, actualmente unas son permitidas y las otras no, aunque en algún momento sí lo fueron.

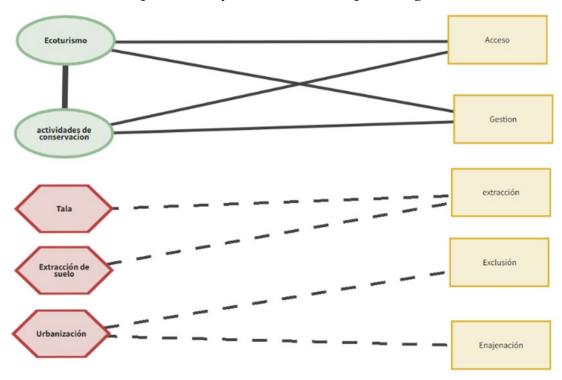


Figura A. Modelo mental que muestra los principales derechos de propiedad que permiten que se realicen diversas actividades en SNT. Las figuras en verde corresponden a las actividades que su estatus regulatorio no implica ninguna limitante para llevarse a cabo. Mientras que las figuras en rojo denotan que su estatus regulatorio limita que se lleven a cabo. Las figuras amarillas muestran los diferentes derechos de propiedad. Las líneas continuas muestran relaciones positivas a diferencia de las líneas discontinuas que muestran relaciones negativas.

El modelo mental sobre los valores (Figura 2), muestra algo esperado y previsible. Algunas actividades se consideran valiosas porque se puede vivir de ellas, con base en la categoría de valores propuesta por O'Connor y Kenter, (2019). Estas actividades, comparten el mismo estatus regulatorio -no está permitido realizarlas-, y no consideran la interacción entre la apropiación y la provisión.

El modelo mental sobre la relación de los principales usos de suelo y las actividades que se realizan o podrían realizarse (Figura 3), relaciona al uso forestal -que denota la cubierta original o natural incluyendo todas las especies vegetales en la zona- con el ecoturismo y las actividades de conservación. Además de todas las actividades que no están permitidas. Es decir, las personas perciben que el suelo con uso forestal es susceptible de aprovecharse de otras maneras que rivalizan con el uso actual y con las actividades permitidas.

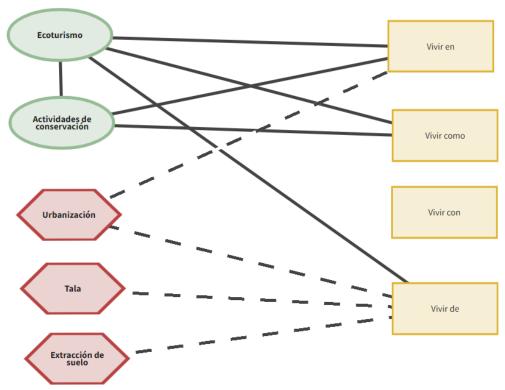


Figura 2. Modelo mental que muestra los principales valores asociados a las diferentes actividades en SNT. El color de las figuras y el tipo de líneas tiene el mismo sentido que la ilustración A, a excepción de las figuras amarillas, aquí representan tipos de valores.

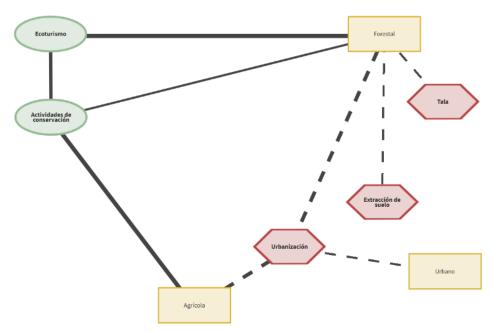


Figura 3. Modelo mental que esquematiza la relación entre los tres principales usos de suelo y las distintas actividades que se realizan o que podrían realizarse en SNT. El color de las figuras y el tipo de líneas tiene el mismo sentido que la ilustración A, a excepción de las figuras amarillas, aquí representan usos de suelo.

Algo significativo es que el uso agrícola se relaciona con las actividades de conservación, que a primera vista se basa en la percepción de las actividades de educación ambiental que se realizan en el parque ejidal SNT, así como las prácticas agroecológicas que se implementan. En este modelo mental, el uso urbano tiene relación con las actividades de urbanización. Si bien, técnicamente no es posible urbanizar lo que ya es urbano en sí mismo, esa relación habla de potencialmente extender la frontera urbana hacia el uso agrícola y al forestal. La mayoría de estas relaciones está en concordancia con las reportadas por Blum, (2005), sobre las interacciones y competencia en el uso de las diferentes funciones del suelo.

CONCLUSIONES

Este trabajo explora la forma en la que la bioeconomía se aproxima al estudio del suelo. Preliminarmente, los modelos mentales presentados en los resultados son una herramienta analítica para la comprensión y operacionalización de la bioeconomía como teoría y como paradigma económico complementario en el estudio de los suelos. La principal contribución de este estudio es la coproducción coordinada de dichos modelos en función del contexto y la escala de análisis que permiten dotar de territorialidad al enfoque bioeconómico, y que puede servir para el diseño de programas específicos y para cerrar las brechas de conocimiento actuales. A través de esta aproximación se relacionan las actividades que las personas participantes identifican en San Nicolás Totolapan con los usos del suelo. De manera similar, las actividades están relacionadas con valores distintos y con diferentes derechos de propiedad lo que le confiere un estatus regulatorio distinto a cada una de estas. Finalmente, se mostró que la bioeconomía es útil en el estudio integrado de actividades de apropiación y de provisión que impactan directamente a los suelos. En trabajos futuros, es importante determinar tanto los costos como los beneficios que se derivan de cada actividad, a nivel individual y colectivo. Al mismo tiempo, es necesario calcular un índice de especialización bioeconómica basado en los suelos en este territorio.

BIBLIOGRAFÍA

Avila-Foucat, V. (2012). Diversificación productiva en el suelo de conservación de la ciudad de México: Caso San Nicolás Totolapan. *Estudios sociales (Hermosillo, Son.)*, 20(40), 355–375.

Bartkowski, B., Hansjürgens, B., Möckel, S., y Bartke, S. (2018). Institutional Economics of Agricultural Soil Ecosystem Services. *Sustainability*, 10(7), 2447.

Blum, W. (2005). Functions of Soil for Society and the Environment. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 4(3), 75–79.

Bonaiuti, M. (Ed.). (2010). From Bioeconomics to Degrowth: Georgescu-Roegen's "New Economics" in Eight Essays (1a ed.). Routledge.

DeMartino, G. (2016). "Econogenic Harm": On the Nature of and Responsibility for the Harm Economists Do as They Try to Do Good. En G. F. DeMartino y D. McCloskey (Eds.), *The Oxford Handbook of Professional Economic Ethics* (p. 0). Oxford University Press.

DeMartino, G. (2022). The Origins of Econogenic Harm. En *The Tragic Science: How Economists Cause Harm* (Even as They Aspire to Do Good) (1a ed., pp. 51–105). University of Chicago Press.

Falk, T., Lohmann, D., y Azebaze, N. (2016). Congruence of appropriation and provision in collective water provision in Central Namibia. *International Journal of the Commons*, 10(1), Article 1.

Friedrichsen, C., Daroub, S., Monroe, M., Stepp, J., & Gerber, S. (2019). Stakeholders' mental models of soil food value chain in the Everglades. *Geoderma*, 343, 166–175.

Helming, K., Daedlow, K., Paul, C., Techen, A, Bartke, S., Bartkowski, B., Kaiser, D., Wollschläger, U., y Vogel, H. (2018). Managing soil functions for a sustainable bioeconomy – Assessment framework and state of the art. *Land Degradation & Development*, 29(9), 3112–3126.

Juerges, N., y Hansjürgens, B. (2018). Soil governance in the transition towards a sustainable bioeconomy – A review. *Journal of Cleaner Production*, 170(Supplement C), 1628–1639.

Mayumi, K. (2001). The Origins of Ecological Economics: The Bioeconomics of Georgescu-Roegen (1a ed.). Routledge.

Morgan, M., Fischhoff, B., Bostrom, A., y Atman, C. (2001). *Risk Communication: A Mental Models Approach*. Cambridge University Press.

O'Connor, S., y Kenter, J. (2019). Making intrinsic values work; integrating intrinsic values of the more-than-human world through the Life Framework of Values. *Sustainability Science*, 14(5), 1247–1265.

Rengalakshmi, R., Prabavathy, V., Jegan, S., y Selvamukilan, B. (2018). Building Bioeconomy in Agriculture: Harnessing Soil Microbes for Sustaining Ecosystem Services. En W. Leal Filho, D. M. Pociovălișteanu, P. R. Borges de Brito, & I. Borges de Lima (Eds.), *Towards a Sustainable Bioeconomy: Principles, Challenges and Perspectives* (pp. 261–277). Springer International Publishing.

SEMARNAT. (2006). *Introducción al ecoturismo comunitario*. Secretaria de medio ambiente y recursos naturales.

Wollschläger, U., Amelung, W., Brüggemann, N., Brunotte, J., Gebbers, R., Grosch, R., Heinrich, U., Helming, K., Kiese, R., Leinweber, P., Veldkamp, E., Vogel, H., y Winkelmann, T. (2017). Soil as a Sustainable Resource for the Bioeconomy – BonaRes. *Geophysical Research Abstracts*, 19.

Yaalon, D. (2007). Human-induced Ecosystem and Landscape Processes Always Involve Soil Change. *BioScience*, 57(11), 918–919.

MONITOREO COMUNITARIO DE LA BIODIVERSIDAD EN LAS ARCAC

César Antonio Abarca García¹; Mariana Rodríguez Sánchez^{1*}

¹Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural, Av. Año de Juárez No. 9700, Col. Quirino Mendoza, Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco C.P. 16610, Xochimilco. *marianars.dgcorenadr@gmail.com

RESUMEN

Los suelos son el componente clave en el desarrollo de los ecosistemas, es la matriz en la que se establecen los organismos vivos promoviendo una diversificación de ambientes y una alta biodiversidad. La biodiversidad es la base de los servicios ecosistémicos y, en la Ciudad de México, se establece en el Suelo de Conservación que representa el 59% del territorio. Alberga seis de los diez ecosistemas del país distribuidos en 15 tipos de suelo y se encuentra presionado por actividades antropogénicas como el crecimiento de la mancha urbana. Por esta razón, se han implementado estrategias como el establecimiento de Áreas de Restauración y Conservación Ambiental Comunitaria (ARCAC). Un objetivo de éstas es el muestreo comunitario de la biodiversidad, por lo que este trabajo resume los resultados del mismo y muestra la importancia de la participación comunitaria en la generación de información para la toma de decisiones. Con base en el método de protocolo de monitoreo de la biodiversidad BIOCOMUNI se registró la diversidad en 25 ARCAC entre 2019 y 2023. A la fecha, se han registrado 1128 especies de 692 géneros. El gremio más representado son las plantas, las aves y los invertebrados. Las especies entre ARCAC varían entre 27 y 270, siempre con una mayor tendencia de registros hacia las plantas. Ante un intervalo tan amplio puede ser resultado de diferencias en el esfuerzo de muestreo, sin embargo, este es un primer panorama general de la biodiversidad y muestra que el monitoreo comunitario da resultados de calidad que pueden tener un gran impacto a nivel ecológico y social.

PALABRAS CLAVE: Conservación; Endemismo; Riqueza específica; Suelo de conservación.

INTRODUCCIÓN

Los suelos son un componente clave en el desarrollo de los ecosistemas, ya que permiten el óptimo flujo de materiales y nutrimentos, la recepción, captura y almacenamiento de agua (Schaetzl y Anderson, 2005). La combinación de factores como su morfología y composición genera una gran variación que resulta en matrices heterogéneas. Esta heterogeneidad permite una diferenciación en el establecimiento de organismos vivos, lo que da origen a una diversificación de ambientes y de especies y, con esto, de una gran biodiversidad.

La biodiversidad es un indicador del estado de los ecosistemas, del flujo y equilibrio de energía, de la estabilidad funcional y base de los servicios ecosistémicos. En la Ciudad de México, una gran parte de los servicios ecosistémicos son provistos por el Suelo de Conservación (SC). El SC, abarca el 59% del territorio de la ciudad, es el área en donde se localizan seis de los diez ecosistemas reportados para el país, en el que se recargan los mantos acuíferos, se purifica el aire de los contaminantes de la urbe, se produce una parte

del alimento que consumen los habitantes y en donde se concentra una gran biodiversidad contrastante. Este contraste está fuertemente asociado a la heterogeneidad edáfica presente, representada por cinco tipos de suelo (CONABIO y SEDEMA, 2016): Andosoles, asociados a laderas de material volcánico, rico en materia orgánica; Leptosoles en zonas de pendientes pronunciadas; Luvisoles, típicos en pendientes suaves; Phaeozem en laderas de pendiente moderada, ricos en nutrientes; y Solonchack, en zonas más áridas o de inundación.

Aunque el SC es de suma importancia para la ciudad, las presiones antropogénicas como el crecimiento de la mancha urbana, la tala ilegal, los incendios o la extracción de especies para su venta, han afectado a los ecosistemas. Por esta razón, la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (CORENADR) como institución encargada de la preservación y conservación del SC, ha establecido el manejo integral y comunitario en áreas conservadas por los Núcleos Agrarios. Uno de los programas, el Altépetl Bienestar, promueve el establecimiento de las Áreas de Restauración y Conservación Ambiental Comunitarias (ARCAC), en donde se realizan actividades enfocadas al manejo, conservación, prevención y restauración de los ecosistemas.

Una de estas actividades se enfoca en reconocer la biodiversidad a través del monitoreo comunitario *i.e.* llevado a cabo por la comunidad, encabezado por un técnico y brigadistas propios del sitio, lo que les permite conocer su entorno y, sobre todo, plantear estrategias de corto, mediano y largo plazo, basadas en información generada por ellos mismos.

El presente estudio resume la información sobre la biodiversidad en el SC con información generada a partir del monitoreo comunitario en 25 ARCAC entre los años 2019 y 2023. Esperamos dar un panorama general de la riqueza específica en la zona de conservación de la Ciudad de México y sobre todo dar a conocer el trabajo que se logra a través del trabajo comunitario y de la comunidad con las instituciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se llevó a cabo en 25 ARCAC distribuidas en siete alcaldías en la zona sur de la Ciudad de México (Cuadro 1). Dentro de cada una de estas se seleccionaron sitios de manera dirigida i.e. sitios que no presentaban evidencia de disturbio o manejo, con ayuda de brigadistas originarios de cada núcleo agrario. En cada sitio y con base en el protocolo de monitoreo de la biodiversidad BIOCOMUNI (FMCN *et al.*, 2018), se trazaron Unidades de Muestro (UM) de acuerdo con el área total de cada ARCAC. Cada UM se dividió en secciones, de tal manera que fue posible recabar información sobre vegetación a diferentes escalas y por lo tanto de diferentes estratos (arbóreo, arbustivo y herbáceo). Para el monitoreo de fauna se marcaron puntos para las aves, huellas y excrementos en transectos y fototrampeo para mamíferos terrestres. El muestreo de flora, hongos y fauna se llevó a cabo dos veces al año, una en temporada de lluvias (julio – septiembre) y otra en temporada de secas (marzo – mayo) entre 2019 y 2023 por técnicos de cada una de las ARCAC y por los brigadistas. La identificación de flora y fauna se hizo con ayuda de expertos de la CORENADR.

Con base en el listado de especies obtenido, se calculó la riqueza específica por especie, género y gremio, a nivel SC y por ARCAC. Todas las UM fueron establecidas por un técnico especialista y por un conjunto de habitantes de cada núcleo agrario que se desenvuelven como brigadistas.

Cuadro 3. Áreas de Restauración y Conservación Ambiental Comunitarias del Suelo de Conservación de la Ciudad de México

Alcaldía	ARCAC			
Álvaro Obregón	Comunidad Santa Rosa Xochiac, Comunidad San Bartolo			
	Ameyalco			
Cuajimalpa de Morelos	Comunidad San Lorenzo Acopilco, Comunidad y Ejido San Mateo			
	Tlaltenango			
La Magdalena Contreras	Comunidad y Ejido San Bernabé Ocotepec, Ejido San Nicolás			
	Totolapan			
Tlalpan	Comunidad y Ejido San Miguel Topilejo, Comunidad y Ejido San			
	Miguel Xicalco, Ejido Parres El Guarda, Comunidad y Ejido San			
	Andrés Totoltepec, Comunidad y Ejido La Magdalena Petlacalco,			
	Comunidad San Miguel Ajusco			
Xochimilco	Comunidad Santa Cecilia Tepetlapa, Comunidad Santiago			
	Tepalcatlalpan, Ejido San Gregorio Atlapulco			
Milpa Alta	Ejido Santa Ana Tlacotenco, Comunidad San Salvador Cuauhtenco			
Tláhuac	Ejido San Nicolás Tetelco, Ejido San Pedro Tláhuac			

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se registró un total de 1,128 especies de 692 géneros repartidos en nueve gremios. Las especies (Fig. 1a) y géneros (Fig. 1b) más representados corresponden a los gremios de aves y plantas, en menor medida los peces y líquenes. Los géneros más representados de anfibios, hongos y mamíferos fueron *Pseudoerurycoa*, *Amanita* y *Sylvilagus*, respectivamente. Es notable la presencia de los géneros de plantas *Pinus*, *Quercus*, *Salvia* y *Solanum*; de los reptiles *Crotalus* y *Sceloporus* y de las aves *Dryobates* y *Falco*. Los sesgos que se observan entre gremios son probablemente resultado del diseño del muestreo, de la facilidad para colectar o identificar a las especies, así como del interés específico de cada participante o de su conocimiento previo o familiaridad, por ejemplo, la identificación de plantas por su uso medicinal.

La riqueza por ARCAC osciló entre las 27 especies en el Ejido Magdalena Petlacalco a 270 en la Comunidad San Miguel Ajusco que, además, tienen el mayor número de especies de hongos reportadas. El mayor registro de plantas fue en Ejido San Bernabé Ocotepec (145), de aves en Comunidad San Salvador Cuauhtenco, de anfibios y reptiles en Ejido San Miguel Topilejo y de invertebrados y mamíferos en Ejido San Mateo Tlaltenango. Aunque este intervalo es muy amplio, es importante mencionar que también lo es la superficie de cada ARCAC. Este trabajo es una primera aproximación al SC, no obstante, este factor debe considerarse en futuros análisis y proyectos.

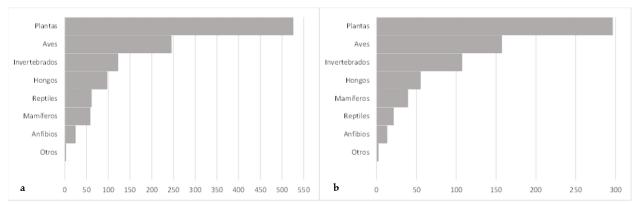


Figura 1. Riqueza específica de especies (a) y de géneros (b) en el Suelo de Conservación de la Ciudad de México.

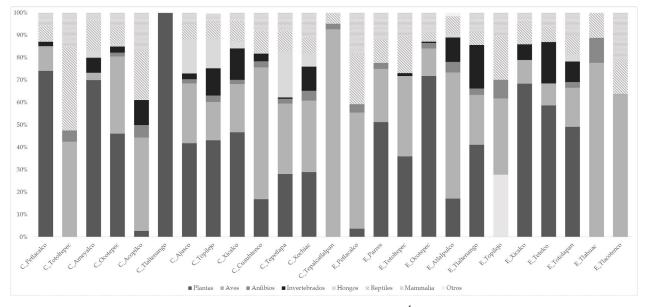


Figura 2. Distribución por taxones de las especies presentes en 25 Áreas de Restauración y Conservación Ambiental Comunitarias del Suelo de Conservación de la Ciudad de México.

Del total de especies por ARCAC, hay una tendencia a tener un mayor número de registro de plantas (Figura 2). De todas las especies, 22 se encontraron en 13 o más ARCAC, entre ellas seis aves, tres mamíferos, cinco plantas y 8 reptiles. Entre todas estas destacan *Abies religiosa*, *Quercus rugosa* y las endémicas *Barisia imbricata*, *Crotalus triseriatus*. En los humedales resalta las endémicas *Ambystoma mexicanum* y *Lithobates montezumae*.

Conocer y reconocer la biodiversidad de un territorio se vuelve imperante ante un mundo que se ve presionado por el cambio global. Aunado a este conocimiento, el monitoreo se vuelve una herramienta potente al permitir evaluar temporada tras temporada los cambios de lo que nos rodea, de tal manera que se vuelven un indicador de alteraciones. Una de las alteraciones que pueden detectarse a través de la evaluación de la biodiversidad es la calidad del suelo, por lo que estos estudios resultan útiles al ser una herramienta que puede fungir como alerta temprana. Además, es fuente de

información directa e indirecta para la planeación y toma de decisiones en torno a la conservación y protección de los suelos y de las especies que se establecen en ellos.

Cabe mencionar que es necesario mantener este esfuerzo para poder completar los listados y relacionar factores que puedan describir y explicar a niveles más finos el estado de los ecosistemas.

Finalmente, es importante recalcar que la interacción comunidad – institución gubernamental funciona cuando las partes se coordinan y se apoyan, y que casos como estos son ejemplos de la efectividad de dicha simbiosis.

CONCLUSIONES

En sólo cuatro años se registraron 1,128 especies de 692 géneros, lo que muestra la gran biodiversidad que puede encontrarse en una superficie relativamente pequeña representada por cinco principales tipos de suelo, dentro de una gran urbe. También, muestra el enorme esfuerzo y la ventaja que tiene muestrear desde donde se vive y de lo que se conoce desde siempre. Además, cuando el monitoreo es participativo y se incluye a los habitantes del territorio, genera una cohesión social, un cambio en la manera de ver a la naturaleza y desarrolla un interés en el mundo natural que los rodea.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los técnicos asesores, a los brigadistas, a los habitantes y a los representantes de todos los núcleos agrarios que han sido parte de este gran esfuerzo que poco a poco va tomando fuerza y dando resultados para el bien de su territorio y de la ciudad.

BIBLIOGRAFÍA

FMCN, CONAFOR, USAID y USFS. (2018). "Manual para muestrear la fauna en bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas", BIOCOMUNI-Monitoreo Comunitario de la Biodiversidad, una guía para núcleos agrarios, Comisión Nacional Forestal-Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, México.

Schaetzl, R. y Anderson, S. (2005). Soils: Genesis and Geomorphology. Cambridge University Press, Cambridge.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal (SEDEMA). (2016). La biodiversidad en la Ciudad de México. CONABIO/SEDEMA. México.

MONITOREO DEL SUELO DE CIUDAD UNIVERSITARIA EN SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N.L.

David Clemente López Pérez¹; Gabriela Elizabeth Quintanilla Villanueva²; <u>Astrid Iriana Sánchez Vázquez</u>¹*

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Ciudad Universitaria s/n, CP, San Nicolás de los Garza, N.L., México; ²Centro de Investigación de Biotecnología Y Nanotecnológica, CIBYN, UANL, 66628 Cd. Apodaca, N.L., México. *astrid.sanchezvz@uanl.edu.mx

RESUMEN

El crecimiento de la población dentro de las ciudades ha permitido un contacto diario con la zona industrial, la cual representa un riesgo de contaminación para las personas, por lo que es de gran relevancia conocer las concentraciones de los contaminantes salientes de las zonas industriales dentro de la metrópoli. El análisis de 12 muestras de suelo de la zona de Cd. Universitaria, la cual está rodeada por zona industrial, para la determinación de metales pesados analizados por medio de espectrofotometría de emisión óptica de plasma argón acoplado inductivamente, arrojó porcentajes de humedad del 2.2% en promedio y unas concentraciones de plomo y cadmio, mayoritariamente, por debajo del límite máximo permisible (LMP). El tener un estudio constante de contaminantes en la zona urbana, es de vital importancia para mantener un control en la salud de los habitantes.

PALABRAS CLAVE: Cadmio; Mercurio; Plomo; Suelo urbano; Zinc

INTRODUCCIÓN

Las actividades industriales han contribuido al desarrollo económico de las ciudades. Sin embargo, el crecimiento de la población y, por ende, el aumento de las ciudades ha permitido un contacto diario con la zona industrial, la cual representa un riesgo de contaminación para los asentamientos humanos cercanos a ésta ya que estas zonas han sido consumidas por la mancha urbana. Un ejemplo de esta contaminación, es por medio de los metales pesados como el plomo y el cadmio, o algunos otros como zinc, níquel, etc. (Zwolak *et al.*, 2019).

El metal plomo no posee ninguna función positiva para el cuerpo humano, sino que por el contrario, provoca daños que afectan el desarrollo intelectual, especialmente en niños y bebés (Sorensen *et al.*, 2019). La toxicidad del plomo es una de las más peligrosas, ya que actúa induciendo estrés oxidativo debido a una reposición ineficiente de la enzima antioxidante llamada glutatión. El plomo también puede causar anemia hemolítica debido a la ruptura de la membrana celular por peroxidación de lípidos. La toxicidad del plomo también afecta los niveles de neurotransmisores y causa graves problemas de salud relacionados con el daño a los órganos, algunos incluso conducen a la muerte (Debnath *et al.*, 2019).

Al igual que el plomo, el cadmio no es un nutriente necesario para el organismo y es muy tóxico, llegando a provocar daños en varios órganos vitales, incluido el Sistema Nervioso Central. El cadmio es una neurotoxina que tiene la capacidad de eludir la

barrera sangre-cerebro y por lo tanto se llega a acumular en el cerebro. También es capaz de causar alteración en la síntesis de varios neurotransmisores en él. Las perturbaciones inducidas por el cadmio, son asociados con la enfermedad de Alzheimer, desarrollo de retrasos, defectos neurológicos, problemas de aprendizaje y síntomas parecidos al Parkinson (Batool *et al.*, 2022).

Debido a los efectos nocivos que poseen estos metales, existen normas que establecen los límites máximos permisibles de ellos en suelos, en particular, la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (SEMARNAT, 2004), que establece como límites máximos permisibles para el cadmio 37 mg·kg⁻¹ y 450 mg·kg⁻¹ para uso habitacional/agrícola e industrial, respectivamente. Para el plomo establece 400 mg·kg⁻¹ y 800 mg·kg⁻¹ para uso agrícola/habitacional e industrial, respectivamente.

La ubicación de la empresa siderúrgica Ternium (además de otras industrias aledañas Cd. Universitaria), ha ocasionado graves problemas de contaminación en el ambiente, debido a que se emiten grandes cantidades de gases y partículas (sedimentos) potencialmente nocivos(Chávez et al., 2017), lo que daña la salud humana, el ambiente y los recursos necesarios para lograr un desarrollo sostenible. Esto es notable, debido a que se puede lograr apreciar en los edificios y anuncios la suciedad que aparece en muy poco tiempo en comparación de otros puntos de la ciudad metropolitana. Además, la vegetación que se encuentra en las áreas cerca de estas industrias no presenta desarrollo, esto ocasionado por la calidad del suelo que se presenta por la presencia de metales, así como los sedimentos que caen por aire y asfixian a la vegetación.

En este contexto, es de gran relevancia conocer las concentraciones de estos metales en suelo, especialmente el plomo y cadmio en zonas residenciales cercanas a parques industriales, para determinar si los niveles de dichos contaminantes se encuentran en concentraciones peligrosas o que excedan los límites establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas. En este trabajo, se realizó la caracterización fisicoquímica general de muestras de suelo de una zona residencial cercana a una zona industrial que se encuentra en el corazón de la metrópoli de Monterrey N. L., dejando como objetivo: Evaluar la cantidad de Cd y Pb presente en suelo de Ciudad Universitaria en San Nicolás de los Garza, N. L.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo: Se tomaron muestras en cuatro diferentes puntos de ciudad universitaria. El primer punto fue en el estacionamiento frente a la avenida Universidad (Punto A), el segundo punto frente a la entrada del estadio universitario (Punto B), el tercero detrás del estadio (Punto C), y el cuarto cerca de la avenida L. Barragán (Punto D) tomando aproximadamente 300 gramos de muestra en cada punto. El muestro de suelo se realizó durante los meses de marzo y noviembre del año del 2017 y se tomaron muestras en el horizonte superficial.



Figura 1. Mapa del estacionamiento de ciudad universitaria referenciando con letras rojas los puntos de muestreo.

Para el muestreo, se tomó una muestra compuesta de suelo superficial y a una profundidad de 30 cm, siguiendo la metodología de la NMX-AA-132-SCFI-2016 (SEMARNAT, 2016).

Digestión de las muestras y determinación de metales pesados

Para la digestión ácida de las muestras se realizó una muestra compuesta de los 4 puntos, posteriormente se realizó un cuarteo, 4 veces, hasta obtener una sola muestra. Esto se realizó 3 veces, con el objetivo de obtener 3 muestras compuestas pequeñas.

Una vez obtenidas las 3 muestras compuestas, se pesó 1 g de cada muestra por medio de la balanza analítica y se colocaron en vasos de precipitado. Se agregaron 10 mL de HCl concentrado y 5 mL de HNO₃ concentrado a cada muestra. El producto de esto, se lavó con 5 mL de agua destilada, esta se vació por bordes del vaso precipitado que lo contiene. Cada uno de los vasos de precipitado fueron tapados con vidrios de reloj y se colocaron en la plancha de calentamiento y fueron llevados a ebullición. Todo este procedimiento de secado se llevó abajo una campana de extracción debido al desprendimiento de vapores.

Después de aproximadamente 30 a 40 min, y que el volumen disminuyó a la mitad, se agregó 1 mL de H_2O_2 al 30%, sin suspender el calentamiento, esto con el fin de eliminar la materia orgánica remanente. Debido a que hubo efervescencia se agregó 1 mL más. Al presenciar de nuevo efervescencia se agregó otro ml, y como se continuaba presentando efervescencia se agregaron 7 mL de H_2O_2 , para terminar con un total de 10 mL de H_2O_2 . Esta situación se presentó en las tres muestras.

Las muestras se dejaron en la plancha de calentamiento hasta llegar a sequedad. Se retiraron los vasos de precipitado con la muestra seca y se les agregó 30 mL de agua destilada, para lavarlo. 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) (Figura 2).



Figura 2. Equipo de Espectrofotometría de emisión óptica de plasma argón acoplado inductivamente (ICP-OES).

Caracterización de los suelos

Para la caracterización de los suelos, se determinó la humedad por gravimetría: se pesaron 100 gramos, y se colocaron dentro de un horno a 250 °C por 24 horas, para luego volver a pesarlas y determinar su porcentaje de humedad. La textura del suelo se determinó de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El calentamiento en mufla solo se realizó para las muestras del punto A y C ya que estas fueron las que presentaron humedad. Los resultados de humedad se presentan en el siguiente cuadro 1.

Los resultados de las muestras obtenidas de la digestión ácida, para su análisis de concentración de metales pesados, están mostrados en el cuadro 2.

Como se observa en el cuadro 2, las concentraciones por semestre en el año varían considerablemente, siendo 12 veces mayor la concentración de Cd en el mes de mayo que en el mes de noviembre, y 1.7 veces mayor la concentración de Pb en el mes de mayo que en noviembre.

Las concentraciones de Pb de las muestras no excedieron los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (SEMARNAT, 2004), solo la concentración de Cd, en el mes de mayo sobrepasa la concentración máxima del metal.

Cuadro 1. Porcentajes de humedad.

Punto	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Humedad (%)
A	100.0638	97.4268	2.64
С	100.1099	98.3174	1.79

Determinación de Cd y Pb.

Cuadro 2. Concentración promedio de contaminantes en el mes de mayo y noviembre del año 2017. Límite máximo permisible LMP según la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

Elemento	Muestra may-17	Muestra nov-17	LMP (mg·kg-1)
	$(mg\cdot kg^{-1})$	$(mg\cdot kg^{-1})$	habitacional/ industrial
Cadmio	52.8	4.38	37 / 450
Plomo	201.35	118.21	400 /800

CONCLUSIONES

Se cuantificó el contenido de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en suelo de Ciudad Universitaria, que está a lado de zonas industriales y se determinó que las concentraciones de dichos elementos son más altas en el primer semestre de año, mayormente no exceden los límites máximos permisibles establecidos por las normas mexicanas, pero puede haber excepciones. A pesar de que los resultados no muestran cantidades que causen efecto negativo en la población humana, es conveniente monitorear, al menos cada 2 meses, 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., y 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.

Chavez, M., Morillo, B., y Ramos, C. (2017). *Contaminación ambiental en la industria siderúrgica*. https://es.scribd.com/document/353499146/Contaminacion-Ambiental-en-La-Industria-Siderurgica

Debnath, B., Singh, W., y Manna, K. (2019). Sources and toxicological effects of lead on human health. *Indian Journal of Medical Specialities*, 10(2), 66.

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 aturales.

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.

Sorensen, L., Fox, A., Jung, H., y Martin, E. (2019). Lead exposure and academic achievement: evidence from childhood lead poisoning prevention efforts. *Journal of Population Economics*, 32(1), 179–218.

Zwolak, A., Sarzyńska, M., Szpyrka, E., y Stawarczyk, K. (2019). Sources of Soil Pollution by Heavy Metals and Their Accumulation in Vegetables: a Review. *Water, Air, and Soil Pollution*, 230(7).

NORMATIVIDAD VIGENTE APLICABLE A LA CONSERVACIÓN DE LAS DUNAS EN BAJA CALIFORNIA SUR, NOROESTE DE MÉXICO

<u>Enrique Troyo-Diéguez^{1*}</u>; Israel Estrada-Contreras²; Alba Eritrea Gámez-Vázquez³; Francyelli R. Costa-Becheleni⁴; Micheline Cariño-Olvera⁵; Antonina Ivanova-Boncheva⁵

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, investigador en estancia sabática CONAHCYT en UABCS, Av. IPN 195, Col Playa Sta Rita, La Paz BCS, México 23096. *etroyo04@cibnor.mx; ²Universidad Autónoma de Baja California Sur, Investigador en estancia posdoctoral (CONAHCYT), Boulevard Forjadores S/N Col. Universitaria. La Paz, Baja California Sur, México 23085; ³Universidad Autónoma de Baja California Sur, Departamento de Economía; La Paz, BCS, Méx 23085; ⁴Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Programa de Posgrado, La Paz BCS, Méx 23096; ⁵Universidad Autónoma de Baja California Sur, Posgrado en Cs Soc-DESYGLO; La Paz, BCS, Méx 23085

RESUMEN

Las dunas son acumulaciones eólicas características de las costas, las cuales expresan la morfogénesis del viento en los dominios áridos y en las zonas costeras debido a la extensión de los espacios que cubren, la diversidad de tipos y las dimensiones que pueden alcanzar. Pueden ser activas o vivas, cuando no tienen vegetación por lo cual cambian constantemente de forma y a veces, de lugar bajo la acción del flujo de viento. Son inactivas o fijas cuando la cobertura vegetal impide el desplazamiento de las mismas y las estabiliza. El objetivo del presente estudio fue revisar la normatividad que considera de manera directa o indirecta la protección y conservación de dunas costeras en Baja California Sur. Se percibe ausencia de parámetros específicos en la planeación y normatividad vigente con respecto a la valoración y protección de dunas en zonas costeras, por lo que es necesario proponer métodos o procedimientos que ponderen los atributos observables y medibles en una escala racional, que incluyan un intervalo de evaluación, para que emanen recomendaciones o estrategias de mitigación oportunas.

PALABRAS CLAVE: Suelo costero; Acumulación eólica; Ordenamiento ecológico; Duna; Efectos costeros

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de dunas costeras proveen bienes y servicios ecosistémicos, incluyendo la protección a eventos extremos, reservas sedimentarias, recreativos y hábitat de especies endémicas o en alguna categoría de riesgo. Dichos sistemas resultan del balance sedimentario que obedece a una serie de procesos biofísicos complejos. Las dunas reflejan la morfogénesis del viento en los dominios áridos y en las zonas costeras debido a la extensión de los espacios que cubren, la diversidad de tipos y las dimensiones que alcanzan (SEMARNAT, 2013). Las dunas pueden ser activas o vivas, cuando no tienen vegetación por lo cual cambian constantemente de forma y a veces, de lugar bajo la acción del flujo de viento. Son inactivas o fijas cuando la cobertura vegetal impide el desplazamiento de las mismas y las estabiliza. Se diferencian varios tipos de dunas en función de su forma. Los principales factores que influyen en la morfología de una duna son, (a) la dirección y velocidad del viento, (b) disponibilidad de arena y (c) presencia de

vegetación o de algún obstáculo topográfico. Los ecosistemas de dunas costeras se encuentran bajo una fuerte presión ocasionada por el cambio de uso del suelo, las actividades recreativas, la extracción de arena, la subsidencia y el aumento del nivel del mar, que alteran el balance sedimentario favoreciendo fenómenos de erosión y el retroceso de la línea de costa, frecuentemente reflejado en pérdida de playa (Alcamo y Bennett, 2003; Martínez, 2009).

MÉTODOS

Se revisó y analizó la planeación y normatividad vigente asociada a las dunas costeras en Baja California Sur, vinculando las secciones pertinentes al tema con una hipotética condición de las dunas, actual o futura, como recurso edafológico y paisajístico de la zona costera. Para ello se tomaron en cuenta los planes e instrumentos de política pública vigentes en el ámbito estatal y nacional, destacando el PED-BCS 2021-2027 y el POELC. Se realizó un desglose y análisis por secciones y contenidos específicos describiendo la narrativa, condiciones, consideraciones y restricciones para proteger y salvaguardar las dunas como patrimonio ambiental y cultural de Baja California Sur, noroeste de México.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Alineamiento con planes e instrumentos de política pública

En Baja California Sur, los instrumentos que incluyen las dunas costeras en algunos de sus apartados o secciones son el Plan Estatal de Desarrollo Baja California Sur (PED-BCS) 2021-2027 y el Programa de Ordenamiento Ecológico para el Desarrollo Turístico y Urbano del Municipio de Los Cabos, BCS. (POELC). El PED-BCS 2021-2027 en el tercer eje considera la reactivación económica y la generación de empleo como partes indispensables para concebir un desarrollo económico en forma equilibrada con el desarrollo social, siendo el turismo la actividad que mueve el progreso, acompañado por las actividades económicas productivas y la promoción a la inversión. A su vez, en el cuarto eje pretende un desarrollo integral y mejor calidad de vida de los habitantes de las ciudades y localidades de Baja California Sur, con un aprovechamiento óptimo en el manejo de los recursos asignados, cumpliendo con los principios de eficiencia, eficacia y transparencia. También aborda los temas de medio ambiente y cambio climático, de ordenamiento territorial y energías alternativas. En la Sección de "Objetivos, Estrategias y Líneas de Acción", el PED-BCS para el cumplimiento del Objetivo 2 establece en la Línea 2.1.5. "Asegurar la protección de dunas costeras, fondos marinos, humedales, oasis, manantiales y zonas de recarga de los acuíferos". En este contexto, en la Sección de *Indicadores* incluye: "Kilómetros de dunas y playas protegidas".

Sobre la misma temática, la "Estrategia 3.7" tiene que ver con la actualización y armonización del marco normativo estatal en materia de sustentabilidad y cambio climático. Dicha estrategia establece en la "Línea de Acción 3.7.1.": "Asegurar ante los efectos del cambio climático, la protección de dunas costeras, fondos marinos, humedales, oasis, manantiales y zonas de recarga de los acuíferos".

En relación con proyectos de desarrollo turístico y su vinculación con la normativa y ordenamiento municipal, el POELC (vigente desde 1994, disponible para su consulta y descarga en el sitio web del IMPLAN Los Cabos, Baja California Sur https://drive.google.com/drive/folders/1HiLZJxZMfrH43eqrclyiuPZTxLqOvRj4), en la página 56 define su ubicación en el "Paisaje terrestre 304", correspondiendo a la Localidad: Franja Costera; Política ambiental: Aprovechamiento y Sectores involucrados: Asentamientos humanos, turismo. El POELC en el capítulo VI. "Criterios Ecológicos", subcapítulo A. "Criterios ecológicos generales", para el inciso (g). Asentamientos humanos, en la página 77 establece los siguientes criterios, al calce:

- (1) Las construcciones deben respetar los cauces a fin de evitar problemas de erosión que modifiquen las escorrentías y dañen las vialidades.
 - (2) Se deberá conservar la vegetación nativa en las construcciones.
- (3) Se deberá complementar la regulación de uso de la zona federal (principalmente en zonas con playa). Esta regulación deberá especificar tipo y ubicación de accesos.

A su vez, para el inciso i. "Conservación", destaca el criterio relacionado con el desove de tortuga, página 79:

(4) "En zonas de desove de tortuga, se deberá restringir la actividad turística durante la temporada de desove. Para ello, las autoridades competentes deberán establecer programas de protección, en coordinación con los propietarios y concesionarios de los predios en la zona costera".

En el Anexo 2 del POELC se enlistan los "Criterios Ecológicos Generales", los cuales se sugiere revisar; para el Sector Desarrollo Turístico Hotelero (TU) hace hincapié en el mantenimiento del equilibrio ecológico, destacando los siguientes criterios, entre otros:

I₁: "En el desarrollo de los proyectos turísticos se deberán mantener los ecosistemas excepcionales, así como las poblaciones de flora y fauna endémicas, amenazadas o en peligro de extinción, que se localicen dentro del área de los proyectos turísticos".

I₁₀: "No deberán permitirse ningún tipo de construcción en la zona de dunas costeras a lo largo del litoral".

En virtud de que el POELC ha estado vigente desde 1994, era de esperarse que por efectos naturales y a consecuencia del propio desarrollo socieconómico ha perdido aplicabilidad y enfoque práctico en numerosas localidades del municipio, por lo que es menester actualizarlo a las condiciones prevalecientes y a las tendencias de crecimiento municipal. Aun cuando no expone parámetros específicos a considerar en proyectos y obras propuestas, es importante aplicar el principio precautorio, así como los lineamientos generales de conservación y protección del entorno (Martínez y cols., 2021), en beneficio de la sociedad, conservación del paisaje y de los mismos inversionistas.

Normatividad y regulación

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (DOF, 2015) en su artículo 1º, numeral V, establece que sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para:

V.- "El aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas".

En el contexto de la normatividad vigente, las dunas costeras se encuentran protegidas por ordenamientos ecológicos con criterios de cómo y dónde ubicar una construcción o infraestructura. La norma mexicana NMX-AA-120-SCFI-2016 (Secretaría de Economía, 2016) establece los "Requisitos y las especificaciones de sustentabilidad de calidad de las playas"; a su vez, la norma NMX-AA-178-SCFI-2016 (Secretaría de Economía, 2016) expone los "Requisitos, especificaciones y criterios de desempeño sustentable en el diseño, selección del sitio, construcción y operación que se realicen en los desarrollos inmobiliarios turísticos que se ubiquen en el Golfo de California".

- a) La norma NMX-AA-120-SCFI-2016 establece los requisitos y especificaciones de calidad ambiental, sanitaria, seguridad y servicios para la sustentabilidad de las playas en las siguientes modalidades:
 - 1) Uso recreativo.
 - 2) Prioritaria para la conservación.

Esta norma mexicana aplica a las personas físicas y morales interesadas en la evaluación de la calidad de playas conforme a la misma norma, en todo el territorio nacional. Incluye en la Sección (3) "Definiciones", entre otras: 3.5 Campos de dunas transgresivas, 3.11 Dunas costeras, 3.29 Playa, 3.36 Sitios dinámicamente inestables.

Es importante mencionar que el Capítulo 5 "Requisitos parciales", Subsección 5.3 "De infraestructura costera", incluye diversos incisos con recomendaciones para el manejo sostenible y preservación de las dunas costeras, destacando el 5.5.9 ... "No se permite la circulación de ningún tipo de vehículo sobre las dunas". En el Subcapítulo 5.11 "De infraestructura costera" se plasman incisos sobre dunas costeras.

b) A su vez, la norma mexicana NMX-AA-178-SCFI-2016 reconoce en materia económica, que el "Golfo de California presenta una alta relevancia a nivel nacional, con base en la pesca, agricultura y recientemente en materia de acuacultura y turismo". En este contexto, pretende dar respuesta promoviendo el cumplimiento del marco jurídico y mejor desempeño de los desarrollos turísticos como ventaja competitiva para estos. Para la correcta aplicación de esta norma se deben consultar normas vigentes relacionadas o aquellas que las sustituyan, destacando las normas NMX-AA-164-SCFI-2013 'Edificación sustentable - Criterios y requerimientos ambientales mínimos', publicada en el Diario Oficial de la Federación el 04 de septiembre de 2013 y NMX-AA-171-SCFI-2014 'Requisitos y especificaciones de desempeño ambiental de establecimientos de

hospedaje', publicada en el DOF el 22 de septiembre de 2014. La citada norma NMX-AA-178-SCFI-2016 incluye en la Sección (3) la definición que aplica a dunas costeras:

- c) 3.11 Dunas costeras: Grandes acumulaciones de arena que se encuentran interconectados entre si, influenciadas por condiciones ambientales, principalmente el viento, que las moldean y modifican su morfología. Las dunas funcionan como reservas sedimentarias de las playas, son hábitat de especies endémicas o en alguna categoría de riesgo, representan sitios únicos en términos de biodiversidad, singularidad paisajística o geomorfológica. Dicha sección de la norma incluye la infraestructura y paisaje:
- 3.21 Infraestructura: Conjunto de estructuras e instalaciones, de larga vida útil, que constituyen la base sobre la cual se produce la prestación de servicios turísticos, que se consideran necesarios para la operación del desarrollo turístico.
- 3.22 Instalaciones turísticas: "Toda construcción y/o equipamiento cuya función es facilitar la práctica de actividades turísticas dentro de los desarrollos inmobiliarios turísticos".
- 3.23 Paisaje: "Áreas exteriores o entorno circundante de la edificación, considerado como un factor de calidad de vida, fuente de armonía y placer estético".
- Los aspectos a valorar en la etapa de planeación y diseño se exponen en la Sección (5): 5.1.1 La valoración de las alternativas que generen menores riesgos e impactos negativos económicos, sociales y ambientales, así como el demostrar la disposición de los recursos y servicios necesarios para su desarrollo.
- 5.1.2. La valoración de los costos y beneficios económicos, ambientales y sociales del proyecto de desarrollo inmobiliario turístico.
- 5.1.3. Factibilidad ambiental, económica y social del proyecto considerando los criterios de desempeño en la etapa de planeación y diseño, etapa de construcción, etapa de operación y etapa de desempeño con responsabilidad social previstos en esta norma.

En cuanto al diseño de la infraestructura, la misma norma NMX-AA-178-SCFI destaca:

- 5.2.4. El diseño de la infraestructura:
- 5.2.4.1. Considera la Planeación Territorial del Proyecto, identificando la superficie de ocupación para las instalaciones turísticas y las zonas de conservación.
- 5.2.4.2. Se desarrolla en las áreas en las que se genera el menor impacto ambiental y social.
- 5.2.4.3. Mantiene en buen estado de conservación el ecosistema y sus elementos naturales.
- 5.2.4.4. No afecta especies bajo alguna categoría de riesgo conforme a la NOM-059-SEMARNAT-2010.
 - 5.2.4.5. Asegura la conservación de hábitats críticos y uso estacional por la flora y fauna.

5.2.4.6. No se utilizan dunas costeras ni zonas que incidan en las mismas.

Cabe aclarar que la aplicación de las normas NMX es voluntaria, salvo que alguna Norma Oficial Mexicana (NOM) requiera la observancia de alguna(s) norma(s) NMX.

CONCLUSIONES

La vulnerabilidad de las dunas a procesos naturales y efectos antropogénicos es tomada en cuenta por diversos instrumentos normativos o de regulación. Sin embargo, se percibe ausencia de parámetros específicos en la normatividad vigente que sean aplicables a la valoración de dunas en zonas costeras, quedando vulnerables a diversos efectos incluyendo aquellos que eventualmente pueden causar los desarrollos turísticos. En consecuencia, la ausencia de especificidad ocasiona un vacío en la reglamentación respectiva, ante ello, es necesario proponer métodos específicos que ponderen atributos medibles en una escala racional, que incluyan un intervalo apropiado de evaluación, para que se establezcan criterios objetivos y se formulen recomendaciones oportunas.

BIBLIOGRAFÍA

Alcamo, J. y Bennett, E. (2003). Ecosystems and human well-being: a framework for assessment. Island Press

DOF. (2015). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Secretaría de Servicios Parlamentarios. Última Reforma DOF 09-01-2015. Disponible en: https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/148.pdf

Martínez, M. (2009). Las playas y las dunas costeras: un hogar en movimiento. La ciencia para todos, 226. FCE, SEP, CONACYT, México, D.F., 1987 pp.

Martínez, M., Castillo-Campos, G., García-Franco, J., Pérez-Maqueo, O., Mendoza-González, G., Pale-Pale, J. (2021). Mexican coastal dunes: Recipients and donors of alien flora. Diversity, 13, 530.

Secretaría de Economía. (2016). Norma mexicana NMX-AA-120-SCFI-2016, que establece los "Requisitos y las especificaciones de sustentabilidad de calidad de las playas". Disponible en: http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-aa-120-scfi-2016.pdf

Secretaría de Economía. (2016). Norma mexicana NMX-AA-178-SCFI-2016 "Requisitos, especificaciones y criterios de desempeño sustentable en el diseño, selección del sitio, construcción y operación que se realicen en los desarrollos inmobiliarios turísticos que se ubiquen en el Golfo de California". Disponible en: https://caisatech.net/uploads/XXI_2_MXD_E39_NMX-AA-178-SCFI-2016_R0_7DIC2016.pdf

SEMARNAT. (2013). Manejo de Ecosistemas de Dunas Costeras, Criterios Ecológicos y Estrategias. © Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Dirección de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial. 1era. edición 2013. Blvd. A. Ruiz Cortines 4209, Col. Jardines en la Montaña CP 14210, Tlalpan, México DF. Disponible en: https://ciencias.ens.uabc.mx/documentos/libros/LibroDunasCosteras.pdf

PERCEPCIÓN REMOTA APLICADA A LA DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE ÁREAS DE EXTRACCIÓN MINERA EN LA SIERRA GORDA DE QUERÉTARO

Oscar Omar De La Vega Cabrera^{1*}; Gilberto Hernández Silva ¹; Viviana Marcela Varón Ramírez ¹; Carlos Eduardo Arroyo Cruz ¹; Mario Antonio Guevara Santamaría ¹

¹Centro de Geociencias – Universidad Nacional Autónoma de México – Campus Juriquilla UNAM Campus Juriquilla, Blvd. Juriquilla No. 3001, Querétaro, 76230, México.

*oscar.delavega@geociencias.unam.mx

RESUMEN

El estudio se enfoca en la detección de terreros como fuentes de contaminación por mercurio en la Sierra Gorda de Querétaro utilizando percepción remota y datos ambientales. La investigación propone que la percepción remota puede ayudar a identificar zonas contaminadas a través de indicadores de vegetación derivados de imágenes satelitales y atributos topográficos. El estudio se basa en datos observados de áreas contaminadas y datos ambientales obtenidos mediante percepción remota. Se utilizan modelos de aprendizaje automático para predecir la presencia de contaminación en áreas donde no hay datos observados. La metodología incluye la armonización de variables, la determinación de la importancia de variables y el modelado de patrones. Los resultados revelan que los indicadores de vegetación y atributos topográficos son fuertes indicadores de la presencia de áreas contaminadas por mercurio. Los modelos de regresión por cuantiles permiten predecir la probabilidad de la existencia de áreas contaminadas. Los mapas generados muestran las zonas de mayor probabilidad de contaminación.

PALABRAS CLAVE: Aprendizaje automático; Degradación de suelos; Gestión ambiental; Mapeo digital de suelos.

INTRODUCCIÓN

El mercurio es un contaminante importante por su persistencia en el ambiente, su capacidad de acumularse en los organismos y el medio y su toxicidad ya que es uno de los cinco metales más tóxicos para el humano (Matsuyama *et al.*, 2017). El mercurio es liberado en el ambiente por emisiones naturales y antropogénicas (Pirrone *et al.*, 2010). El mercurio no es fácilmente descompuesto por microorganismos causando su acumulación en los suelos por su afinidad a la materia orgánica convirtiéndose en un problema ambiental y, por lo tanto, ser considerado como contaminante, dependiendo de su movilización y transformación química.

En la actualidad, la generación y análisis de información geoespacial son cruciales para abordar los problemas globales. La falta de información detallada sobre el suelo en áreas extensas se debe a la dificultad y el costo de muestrear directamente en el campo. Para superar estas limitaciones, se han desarrollado sensores montados en aviones y satélites, lo que llevó al campo de la percepción remota. La percepción remota implica adquirir información sobre objetos lejanos mediante radiación electromagnética, como la luz

visible y las ondas de radio. Esto ha llevado al uso de imágenes satelitales para mapear propiedades del suelo y estudiar su degradación.

La percepción remota como herramienta para obtener información sobre el suelo, representa una alternativa viable para evaluar la variabilidad de las propiedades de suelos en diferentes escalas. Las imágenes satelitales derivadas de la percepción remota han permitido la identificación de propiedades del suelo a través de algoritmos de aprendizaje estadístico y la creación de mapas digitales precisos (McBratney *et al.*, 2003; Hengl *et al.*, 2017; Scull *et al.*, 2003).

La degradación del suelo puede analizarse mediante la percepción remota. La presencia de contaminantes puede influir en la reflectancia espectral del suelo. Por ejemplo, áreas con terreros de mercurio muestran patrones de vegetación diferentes en comparación con áreas no contaminadas. Los índices de vegetación y combinaciones de bandas espectrales se utilizan para identificar estos patrones y predecir la presencia de suelos degradados. En México, la degradación del suelo, especialmente por mercurio, es un problema preocupante. Sin embargo, la información sobre suelos degradados es limitada en muchas áreas.

La percepción remota se presenta como una solución para generar información detallada sobre estas áreas. Se propone un marco de trabajo basado en la percepción remota para identificar terreros de mercurio en la Sierra Gorda de Querétaro. Este enfoque permitiría evaluar digitalmente suelos degradados y monitorear su estado con el tiempo. El objetivo principal de este trabajo ha sido construir un sistema de inferencia espacial de suelos que permita detectar la presencia de terreros en la Sierra Gorda de Querétaro usando insumos satelitales derivados de la percepción remota.

La hipótesis sugiere que la percepción remota, puede ayudar a identificar áreas de suelos contaminados con metales tóxicos dado que tienen una respuesta espectral diferente de los suelos no contaminados en las cercanías. Se propone que la ubicación de áreas contaminadas con mercurio puede determinarse utilizando indicadores de vegetación derivados de imágenes satelitales. Se espera que estos indicadores sean consistentemente bajos o negativos en las zonas contaminadas, lo que sugiere que, en estas áreas, la contaminación por mercurio podría estar afectando la actividad fotosintética de la vegetación.

Otros factores importantes para identificar estas áreas contaminadas son las características del terreno, como la pendiente y la exposición, que influyen en el transporte y la acumulación de contaminantes en un terreno tan diverso como el de la Sierra Gorda. Se espera que las áreas contaminadas tengan características paisajísticas específicas relacionadas con los criterios de exploración minera. Para lograr esto, se proponen modelos predictivos basados en aprendizaje automático, que pueden capturar relaciones no lineales entre las variables mejor que los enfoques estadísticos convencionales (Kheir *et al.*, 2013). Se espera que estos modelos proporcionen predicciones más precisas al considerar la complejidad de las interacciones en el paisaje y reducir los errores.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se enfoca en analizar y mapear la presencia de terreros como fuentes de contaminación por mercurio en el distrito minero San Joaquín, Sierra Gorda de Querétaro. La región de estudio abarca alrededor de 700 km² en la Sierra Gorda de Querétaro delimitado por la zona de mineralización y presenta una variabilidad topográfica y climática significativa. Se utilizan datos observados como conjuntos de datos de entrenamiento para el modelado, la obtención de datos proviene de la revisión bibliográfica disponible en el área (insumo observado) (Hernández-Silva et al., 2012). Un muestreo intermitente entre marzo de 2017 y agosto de 2019 con un total de 62 muestras de localizaciones de terreros asociados a la actividad minera con mercurio. El conjunto de covariables y datos para el ajuste de los modelos, fueron recopilados mediante percepción remota asociada a los parámetros que rigen la movilidad y acumulación de contaminantes, incluyendo información de elevación, índices espectrales, climatología y mapas temáticos (Reuter y Hengl, 2012). Estas covariables son adquiridas empleando la plataforma de procesamiento en la nube conocida como Google Earth Engine, mientras que el procesamiento de las imágenes y construcción del modelo, predicciones y mapas se llevó a cabo en R (RStudio Team, 2020).

El proceso metodológico parte de la premisa de que los suelos, sus propiedades y estado de salud pueden ser estimados en función de los factores que determinan la movilidad y la acumulación de contaminantes en un sitio ya que son múltiples y diversos, y entre dichos factores ocurren interacciones complejas, son cambiantes al igual que su influencia dependiendo de la escala de observación (McBratney *et al.*, 2003). Este implica varias etapas:

Preparación de Bases de Datos: Se recopilan datos observados de 62 áreas contaminadas con mercurio en la región. Estos datos se tratan como una variable binaria (1 si hay contaminación, 0 si no) y se utilizan como datos de respuesta.

Armonización de Variables: Se reúnen y armonizan datos ambientales recopilados mediante percepción remota que pueden influir en la contaminación del suelo, se remuestrean a un nivel de resolución de 30mX30m basado en el modelo de elevación AW3D30 (Tadano *et al.*, 2016). Esto incluye variables como índices espectrales, geomorfometría y condiciones climáticas, así como las variables de respuesta (datos observados). En este punto desconocemos el impacto de cada variable, por ello la importancia de considerar todas las posibles.

Determinación de Importancia de Variables: Se emplea el método de selección recursiva de variables (RFE) (Svetnik *et al.*, 2003) basado en *random forest* para determinar qué variables tienen más impacto en la predicción de la contaminación. Consiste inicialmente en ajustar un modelo utilizando todas las variables predictoras disponibles, cada predictor es jerarquizado usando su importancia dentro del modelo, dejando fuera de la estimación el 10% de los datos observados como parte de la validación cruzada, posteriormente de manera recursiva en cada iteración (repetida 3 veces) una variable será

removida para evaluar la variación del error del modelo y poder así estimar la importancia de la variable removida.

Modelado de Patrones: Se genera un modelo de aprendizaje automático (Breiman, 2001), basado en árboles de regresión por cuantiles (medidas de dispersión) (Meinshausen, 2006). Este modelo se ajusta a las variables seleccionadas en la etapa anterior. Si como resultado de un modelo, además de la predicción de la media, se predice también el valor de los cuantiles, se dispone de una caracterización mayor de la distribución de la variable de respuesta, y con ello se pueden responder más preguntas.

Predicción de Patrones Espaciales: El modelo desarrollado se aplica para predecir la presencia de terreros en áreas donde no hay datos observados. Se generan mapas digitales de localización de terreros con una resolución de 30m x 30m, y se evalúa la incertidumbre de estas predicciones.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En el siguiente apartado se muestran los resultados obtenidos en cada etapa de la metodología propuesta, así como la predicción de la localización de terreros. Se presentan los mapas digitales obtenidos por la metodología de árboles de regresión por cuantiles, la cual nos brinda al mismo tiempo un mapa de incertidumbre a partir de los residuales independientes del modelo predictivo, estos residuales fueron interpolados empleando el mismo algoritmo de *random forest* y las mismas variables explicativas para generar un mapa de error.

Preparación de bases de datos: Para el caso de las localizaciones de terreros en la Sierra Gorda de Querétaro al ser tratada como una variable binaria, esto es con valor de 1 si existe un terrero y valor de 0 si no existe, nuestra base de datos cuenta con la localización de 62 terreros, entonces se incluyeron 100 muestras aleatorias dentro del área de estudio que representan una población de puntos donde no existen terreros, esto es con valor de 0, para una muestra total de 162 puntos observados.

Armonización de variables: Para la localización de terreros en la Sierra Gorda de Querétaro se procedió digitalizar el área delimitadora asociada a la región de mineralización de la Sierra Gorda de Querétaro, dado que todos los puntos observados de localización de terreros caen dentro de dicha región y es la dominante en la Sierra Gorda de Querétaro, así mismo los puntos observados fueron reproyectados y llevados al mismo sistema de referencia geográfico que las variables ambientales disponibles para este caso.

Determinación de la importancia de variables: La figura 1 muestra la selección de variables de importancia, así como su distribución jerarquizada en la reducción del error del modelo como resultado de la eliminación recursiva de variables, mostramos las 10 variables más importantes, la elevación, el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), índice de área foliar (LAI), productividad primaria neta (NPP), fracción combinada de radiación fotosintética (F Par), pendiente, accesibilidad, aspecto, temperatura y sombreado. La figura 2 muestra el número óptimo de variables a ingresar

en el modelo que minimicen el error cuadrático medio, donde el número óptimo de variables fue 14.

La localización de terreros se realizó a partir de la capacidad del modelo para predecir la existencia o no de un terrero en el área de estudio, al ser manejado como un problema de regresión nos brinda una gama de probabilidad de ocurrencia de un terrero con valores entre 0 y 1, donde 0 representa una probabilidad nula de ocurrencia y 1 una probabilidad del 100% de ocurrencia. La figura 3 muestra el mapa resultado de la metodología de árboles de regresión por cuantiles con su mapa de error asociado.

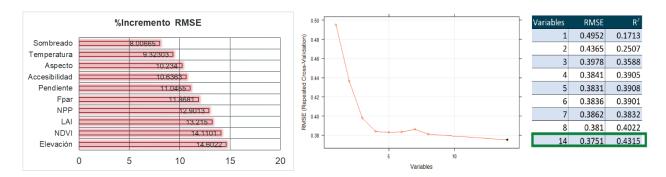


Figura 1. Relación de variables y su importancia en el incremento del error cuadrático medio.

Figura 2. Número óptimo de variables que refleja la minimización del error cuadrático medio y el incremento del coeficiente de determinación.

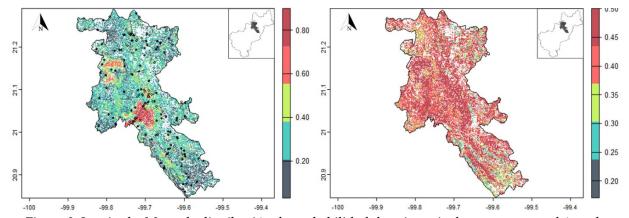


Figura 3. Izquierda. Mapa de distribución de probabilidad de existencia de un terrero en el área de estudio, puntos observados superpuestos. Derecha. Mapa de distribución de la desviación estándar resultado del modelado por árboles de regresión cuantiles.

CONCLUSIONES

Los indicadores de vegetación (el índice de vegetación de diferencia normalizada, fracción combinada de radiación fotosintética, índice de área foliar) y los atributos del terreno (elevación, pendiente) derivados de imágenes satelitales muestran ser fuertes indicadores para la detección de terreros en la Sierra Gorda de Querétaro, al considerar la presencia de mercurio como un factor que interviene en el estado de salud y productividad vegetal, así como su acumulación y transporte dependiente de las características del terreno, consistente con la hipótesis planteada inicialmente. A futuro se

necesita explorar la relación de las variables explicativas con la detección de terreros asociados a la industria minera con la finalidad de acotar las variables disponibles a construir el modelo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. Hernández Silva por proporcionar la base de datos referente a la localización de terreros en la Sierra Gorda de Querétaro, y el mapa delimitador de la zona de mineralización. Remarcamos sus importantes aportaciones en el mapeo del mercurio en los suelos de la Sierra Gorda de Querétaro como una base importante de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Breiman, L. (2001). Statistical Modeling: The Two Cultures (with comments and a rejoinder by the author). Statistical Science, 16(3).

Hengl, T., Mendes De Jesus, J., Heuvelink, G., Ruiperez Gonzalez, M., Kilibarda, M., Blagotić, A., Shangguan, W., Wright, M., Geng, X., Bauer-Marschallinger, B., Guevara, M., Vargas, R., MacMillan, R., Batjes, N., Leenaars, J., Ribeiro, E., Wheeler, I., Mantel, S., y Kempen, B. (2017). SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. PLOS ONE, 12(2), e0169748.

Hernández-Silva, G., García-Martínez, R., Solís-Valdez, S., Martínez-Trinidad, S., Mercado, I., Ramírez, M., Scharek, P., Solorio-Munguía, G. (2012). Presencia del Hg total en una relación suelo-planta-atmósfera al sur de la Sierra Gorda de Querétaro, México. TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas. 15. 05-15.

Kheir, R., Greve, M., Deroin, J., y Rebai, N. (2013). Implementing GIS regression trees for generating the spatial distribution of copper in Mediterranean environments: the case study of Lebanon. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 93(1), 75–92.

Matsuyama, A., Yano, S., Taninaka, T., Kindaichi, M., Sonoda, I., Tada, A., y Akagi H. (2017). Chemical characteristics of dissolved mercury in the pore water of Minamata Bay sediments. Marine Pollution Bulletin 129:503-511.

McBratney, A., Mendonça Santos, M., y Minasny, B. (2003). On digital soil mapping. Geoderma, 117(1–2), 3–52.

Meinshausen, N. (2006). Quantile regression forests. Journal of Machine Learning Research, 7(Jun), 983-999.

Pirrone, N., Cinnirella, S., Feng, X., Finkelman, R., Friedli, H., Leaner, J., Mason, R., Mukherjee, A., Stracher, G., Streets, D., y Telmer, K. (2010). Global mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources. Atmospheric Chemistry and Physics, 10(13), 5951–5964.

Reuter, H., y Hengl, T. (2012). Worldgrids-a public repository of global soil covariates. In B. Miasny, B. P. Malone, y A. B. McBratney (Eds.). Digital Soil Assessments and Beyond — Proceedings of the 5th Global Workshop on Digital Soil Mapping. (pp. 287-292). Sydney, Australia: CRC Press.

RStudio Team. (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA

Scull, P., Franklin, J., Chadwick, O., y McArthur, D. (2003). Predictive soil mapping: a review. Progress in Physical Geography: Earth and Environment, 27(2), 171–197.

Svetnik, V., Liaw A., Tong C., Culberson C., Sheridan R., Y Feuston B. (2003). "Random Forest: A Classification and Regression Tool for Compound Classification and QSAR Modeling." Journal of Chemical Information and Computer Sciences 43 (6). ACS Publications: 1947–58.

Tadono, T., Nagai, H., Ishida, H., Oda, F., Naito, S., Minakawa, K. Y Iwamoto, H. (2016). Generation of the 30 M-MESH Global Digital Surface Model by Alos Prism. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, Vol. 41, 157–162.

SUELOS EN EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO Y SU RELACIÓN CON LA ECOLOGÍA DE PALMAS EN EL PAISAJE

<u>Katia Vianney Miranda Gallegos¹*</u>; Armando Navarrete Segueda²; Alin Nadyely Torres-Díaz³; Guillermo Ibarra Manríquez²

¹ Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Avenida Francisco J. Mujica S/N, Edificio U-3, Ciudad Universitaria. C.P. 58030. Morelia, Michoacán, México. *2330355x@umich.mx; ²Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México. Antigua carretera a Pátzcuaro 8701. C.P. 58190. Morelia, Michoacán, México; ³Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. de los Barrios No. 1, Los Reyes Ixtacala. C.P. 54090. Tlalnepantla, Estado de México, México.

RESUMEN

Las palmas son elementos dominantes en múltiples bosques tropicales húmedos de México. El entendimiento de sus patrones espaciales es fundamental para la comprensión de la ecología de estos bosques, sin embargo, todavía existen interrogantes sobre los factores ambientales que regulan su distribución en el paisaje. En este trabajo se presenta un análisis a nivel de paisaje de la relación entre las propiedades de los suelos y la distribución y abundancia de las especies de palmas, en bosques tropicales húmedos de México. Se aplicó el enfoque geopedológico para delinear unidades del paisaje en las reservas de la Biosfera de Los Tuxtlas, Veracruz, y de La Selva Lacandona en Chiapas, México. En cada reserva, se seleccionaron unidades contrastantes en geología, relieve y suelo para establecer parcelas para el muestreo de palmas y descripción edafoecológica de perfiles de suelo. Se aplicaron análisis multivariados para explorar las relaciones entre el suelo y el relieve, y los parámetros comunitarios de las palmas. Los resultados muestran que la variación espacial de la presencia y densidad de individuos tiene correspondencia con las propiedades de los suelos (porcentaje de arcillas, almacén de agua, pedregosidad) y el relieve (pendiente). La estratificación del paisaje permitió demostrar que existe relación entre las propiedades de los suelos y los patrones espaciales de las especies que conforman la comunidad de palmas en los bosques analizados.

PALABRAS CLAVE: Geopedología; Relación planta-suelo; Unidades del paisaje.

INTRODUCCIÓN

Se ha demostrado que la comunidad de palmas es particularmente importante en algunos bosques tropicales húmedos (BTHs) de México por su gran abundancia (Bongers *et al.*, 1998) y por su influencia en el establecimiento y desarrollo de otros componentes, como los árboles (Cortés-Castelán e Islebe, 2005). Los estudios a nivel del paisaje han reportado el efecto significativo de las propiedades del suelo y la forma del relieve sobre la abundancia y distribución de especies de palmas en otros bosques neotropicales (Eiserhardt *et al.*, 2011), sin embargo, se trata de una investigación no abordada en la mayoría de los bosques de México.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la relación de la variación espacial de la topografía y el suelo con la abundancia, composición y diversidad de la comunidad de palmas. Se esperaba que las unidades del paisaje (UP) delimitadas con base en

geomorfología y suelo permitieran anidar la variación de las propiedades de suelo y topografía, así como los cambios en las variables que definen esta comunidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Reserva de la Biósfera Los Tuxtlas, Veracruz; en la Estación de Biología Tropical "Los Tuxtlas". El clima que predomina en la región es cálido húmedo, con lluvias todo el año, aunque la precipitación disminuye de marzo a mayo, con registros menores del 10% de la precipitación media anual. La temperatura promedio anual es de 24.5 °C y la precipitación total anual es de 3,791.8 mm (CONAGUA, 2020). En la Reserva de la Biosfera Montes Azules, Chiapas, el estudio se realizó dentro de la cuenca del Río Lacantún, al oeste de la Estación Chajul. En esta reserva predomina el clima cálido húmedo, con una temperatura media anual de 25.2 °C y una precipitación media anual de 3,108.8 mm (CONAGUA, 1990).

Ambas regiones se estratificaron con base en los criterios geopedológicos propuestos por Zinck (2012), a partir de los cuales se obtuvieron UP contrastantes en suelo, relieve y geología (Navarrete-Segueda *et al.*, 2018; 2021). En cada unidad, se establecieron tres parcelas de muestreo, se registraron e identificaron a nivel de especie todas las palmas con una altura mayor a un metro, o aquellas en floración o fructificación. En cada parcela se abrió una calicata hasta la profundidad fisiológica para la descripción del perfil, la toma de muestras por horizonte y la evaluación edafoecológica de los suelos. Se realizaron análisis de componentes principales (PCA) para reducir el número de las variables e identificar gradientes ambientales relevantes para el desarrollo de la comunidad de palmas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En ambos bosques se identificaron gradientes relacionados con la capacidad de retención de agua disponible para las plantas y los fragmentos gruesos en el suelo (Figura 1). En el caso de Los Tuxtlas, las UP se diferenciaron por un gradiente asociado con la altitud y la precipitación anual, mientras que en La Selva Lacandona el gradiente se relacionó con valores de pH bajos y una alta saturación de aluminio.

La abundancia y riqueza de palmas difirió entre UP ($F_{4,10}$ = 61.98, P < 0.000; F 4, 10 = 5.33, P = 0.0239). Los PCA reflejaron los gradientes ambientales identificados en ambas áreas de estudio y que, posteriormente, se demostró que tienen relación con la comunidad de palmas. Entre las variables de suelo con una particular relevancia destacan los fragmentos gruesos, así como la profundidad fisiológica y su relación con la retención de agua disponible. En el caso de Los Tuxtlas, adicionalmente, el relieve (pendiente) mostró relación con la densidad de individuos.

En ambos casos de estudio se identificaron especies que presentaron una amplia distribución entre las UP y una alta densidad de individuos, sin embargo, también se identificaron especies que solo se encuentran en algunas de las UP, o bien, que muestran gran variación en la densidad de individuos entre las unidades.

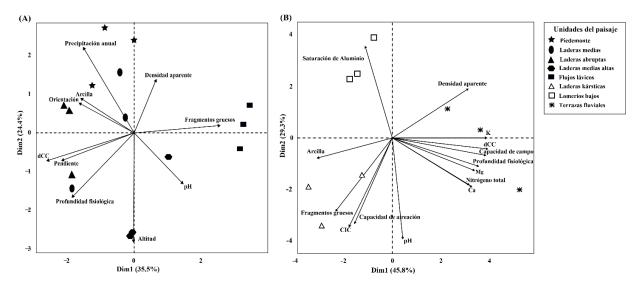


Figura 1. Biplots del Análisis de Componentes Principales (PCA) en los que se muestran las relaciones entre las variables de suelo y relieve en la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas (A) y la Estación Chajul (B). dCC=Capacidad de retención de agua disponible para las plantas; CIC=Capacidad de intercambio catiónico.

La delimitación basada en criterios geopedológicos permitió capturar las variables de relieve y suelo que tienen efecto sobre la distribución y abundancia de palmas en ambos sitios de estudio. Estos elementos representaron la base para una estratificación del paisaje asociada a la heterogeneidad ambiental (HA), la cual ha sido reportada como uno de los principales reguladores de la biodiversidad a nivel global (Stein *et al.*, 2014). Resulta interesante que ambas reservas presentan un mosaico en el que la profundidad fisiológica, y el contenido de fragmentos gruesos son relevantes para la ecología de las palmas. Debido a que en ambos bosques la evapotranspiración es mayor que la precipitación, durante al menos tres meses, podría existir estrés hídrico en otras formas de crecimiento (por ejemplo, árboles) en suelos con menor almacén de agua. Esta condición beneficia a las palmas, ya que se ha sugerido que son más eficientes que los árboles en la asignación de recursos bajo estas características (Renninger *et al.*, 2013).

En el caso de Los Tuxtlas, la unidad con menor retención de agua está relacionada con suelos someros y pedregosos asociados con flujos lávicos, mientras que, en Montes Azules, características similares de los suelos se relacionan con la presencia de rocas calizas. Por otro lado, en Los Tuxtlas la abundancia de las especies de palmas respondió a la pendiente y a la profundidad de suelo, lo que sugiere que estos componentes podrían regular la competencia por luz y agua, influyendo en la coexistencia de especies de plantas. Clark *et al.* (1996) indican que, en sitios con relieve abrupto, la incidencia lateral de luz es mayor, lo que podría limitar la abundancia de las especies de palmas con baja tolerancia a la exposición prologada a la radiación solar. Lo anterior ha sido reportado para la palma Astrocaryum mexicanum (Martínez-Ramos *et al.*, 2016). La respuesta de la estructura y diversidad de la comunidad de palmas en ambos bosques influye en la composición en cada reserva de la Biósfera. Esto es consistente con lo reportado por

Cámara-Leret *et al.* (2017), quienes indican que la HA tiene efecto diferencial en la abundancia y la diversidad de palmas a lo largo del paisaje.

Los resultados del presente estudio resaltan que los componentes del paisaje analizados tienen efectos específicos sobre la comunidad de palmas. Finalmente, los resultados concuerdan con el estudio de Pausas y Austin (2001), al demostrar que el entendimiento de los patrones espaciales de la comunidad vegetal, bajo el contexto de la HA, requiere el análisis simultáneo de los elementos del paisaje.

CONCLUSIONES

Mediante el enfoque utilizado se logró determinar el efecto de la heterogeneidad ambiental en la presencia y abundancia de las especies de palmas en Los Tuxtlas y en La Selva Lacandona. El presente estudio demuestra que la integración sistemática del suelo y el relieve, mediante la delimitación de unidades geopedológicas, permite, desde el análisis multifactorial, abordar el efecto de la heterogeneidad ambiental en la composición y abundancia de las especies de la comunidad de palmas e identificar posibles relaciones, a nivel paisaje, en los bosques tropicales húmedos.

AGRADECIMIENTOS

A. Navarrete-Segueda agradece el apoyo recibido del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías a través de la beca postdoctoral 2022(1) de las "Estancias Posdoctorales por México - Académica". Santiago Sinaca-Colín, Santiago Xolo y Armando Xolo colaboraron en el trabajo de campo. Los autores agradecen a la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas, y Rosamond Coates, por las facilidades para realizar los estudios de campo.

BIBLIOGRAFÍA

Bongers, F., Popma, J., Meave del Castillo, J., Carabias, J. (1988). Structure and floristic composition of the lowly rain forest of Los Tuxtlas, Mexico. Vegetatio 74, 55–80. https://doi.org/https://www.jstor.org/stable/20038248

Cámara-Leret, R., Tuomisto, H., Ruokolainen, K., Balslev, H., Kristiansen, M. (2017). Modelling responses of western Amazonian palms to soil nutrients. J. Ecol. 105, 367–381. https://doi.org/10.1111/1365-2745.12708

Clark, D.B., Clark, D.A., Rich, P.M., Weiss, S., Oberbauer, S.F. (1996). Landscape-scale evaluation of understory light and canopy structures: Methods and application in a neotropical lowly rain forest. Can. J. For. Res. 26, 747–757. https://doi.org/10.1139/x26-084

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (1990). Normales Climatológica por Estado. Estación número 00007029 Chajul, Chiapas. URL https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado (acceso 08.07.23).

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2020). Normales Climatológica por Estado. Estación número 00030294 Sontecomapan, Veracruz. URL https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-porestado (acceso 08.07.23).

Cortés-Castelán, J.C., Islebe, G.A. (2005). Influencia de factores ambientales en la distribución de especies arbóreas en las selvas del sureste de México. Rev. biol. trop. 53, 115-133. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-7442005000100012&script=sci_arttext&tlng=e

Eiserhardt, W.L., Svenning, J.C., Kissling, W.D., Balslev, H. (2011). Geographical ecology of the palms (Arecaceae): Determinants of diversity and distributions across spatial scales. Ann. Bot. 108, 1391–1416. https://doi.org/10.1093/aob/mcr146

Martínez-Ramos, M., Ortiz-Rodríguez, I.A., Piñero, D., Dirzo, R., Sarukhán, J. (2016). Anthropogenic disturbances jeopardize biodiversity conservation within tropical rainforest reserves. Proc. Natl. Acad. Sci. 113, 5323–5328. https://doi.org/10.1073/pnas.1602893113

Navarrete-Segueda, A., Martínez-Ramos, M., Ibarra-Manríquez, G., Vázquez-Selem, L., Siebe, C. (2018). Variation of main terrestrial carbon stocks at the landscape-scale are shaped by soil in a tropical rainforest. Geoderma 313, 57–68. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.023

Navarrete-Segueda, A., Cortés-Flores, J., Cornejo-Tenorio, G., González-Arqueros, M.L., Torres-García, M., Ibarra-Manríquez, G. (2021). Timber and non-timber forest products in the northernmost Neotropical rainforest: Ecological factors unravel their landscape distribution. J. Environ. Manage. 279, 111819. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111819

Pausas, J.G., Austin, M.P. (2001). Patterns of plant species richness in relation to different environments: An appraisal. J. Veg. Sci. 12, 153–166. https://doi.org/10.2307/3236601

Renninger, H.J., McCulloh, K.A., Phillips, N. (2013). A comparison of the hydraulic efficiency of a palm species (*Iriartea deltoidea*) with other wood types. Tree Physiol. 33, 152–160. https://doi.org/10.1093/treephys/tps123

Stein, A., Gerstner, K., Kreft, H. (2014). Environmental heterogeneity as a universal driver of species richness across taxa, biomes, and spatial scales. Ecol. Lett. 17, 866–880. https://doi.org/10.1111/ele.1227

Zinck, J.A. (2012). Geopedología. Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales. Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.

PROYECTO DE OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO Y AGUA EN PARRES, TLALPAN, CIUDAD DE MÉXICO

<u>Gregorio Mendoza Guzmán*1</u>; Columba Jazmín López Gutierrez²; Jorge Alberto Escandón Calderón³; Marcela Rosas Chavoya¹

¹Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural. Av. Año de Juárez 9700 Quirino Mendoza, Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco, Ciudad México. C.P. 16610; ²Dirección General. Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural. Av. Año de Juárez 9700 Quirino Mendoza, Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco, Ciudad México. C.P. 16610; ³Subdirección de capacitación para la sustentabilidad. Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural. Av. Año de Juárez 9700 Quirino Mendoza, Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco, Ciudad México. C.P. 16610.

*4.02.mendoza.gregorio@gmail.com

RESUMEN

La degradación y erosión de los de suelos es una problemática a nivel nacional, ya que compromete gradualmente a la seguridad alimentaria y los ecosistemas naturales del país. Entre las principales causas se encuentra el manejo inapropiado de las tierras agrícolas, la deforestación, remoción de vegetación natural y sobrepastoreo. Los Ejidos Parres el Guarda y San Miguel Topilejo ubicados en la Ciudad de México dentro del Suelo de Conservación poseen características topográficas y agrícolas que las hace susceptibles a la erosión del suelo. Debido a esto, la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural se ha comprometido en frenar la erosión en la nanocuenca del Acopiaxco, específicamente en los Ejidos Parres y San Miguel Topilejo, mediante un proyecto integral que busca no solo detener el proceso de erosión de suelo, sino también restaurar las zonas afectadas. Los trabajos de conservación de suelo y agua se basaron en la implementación de barreras vivas en terrenos agrícolas, el establecimiento de 25 presas de gaviones y 279 presas de geocostales, así como la reconversión productiva de 558 ha tierras de cultivo. Se estima que las obras realizadas han permitido la captura de 48 mil toneladas de suelo y 41 millones de litros de agua. Así mismo, la reconversión agrícola y el establecimiento de sistemas agroforestales y barreras vivas han contribuido a la restauración del suelo de la región, a la vez que promueve el desarrollo sostenible de los productores agrícolas de los Ejidos Parres y San Miguel Topilejo.

PALABRAS CLAVE: Agroecología; Conservación de suelo y agua; Erosión; Presas; Suelo de conservación.

INTRODUCCIÓN

La erosión de los de suelos constituye uno de los principales retos en términos de seguridad alimentaria y conservación de ecosistemas naturales. Se estima que en México se pierden tres toneladas de suelo por hectárea por año, por lo que se considera una problemática nacional (Wuepper *et al.*, 2019). Las principales causas de este problema son la remoción de la cubierta forestal (para cambio de uso de suelo) y las malas prácticas agrícolas que traen como consecuencia la pérdida de materia orgánica y suelo fértil (Bizzarri Colotti, 1999). Así mismo, estas alteraciones modifican la dinámica hídrica,

causando que las partes más bajas puedan sufrir inundaciones, lo que afecta las poblaciones que ahí se encuentran (de la Paix *et al.*, 2011).

El manejo inapropiado de los terrenos arables, el establecimiento de monocultivos, el uso de agroquímicos y de abonos, la mala gestión del agua, son actividades agrícolas que promueven la pérdida de suelo. A su vez, gran parte es generada por la deforestación y remoción de la vegetación para expandir campos de cultivo y el sobrepastoreo originado por la ganadería extensiva. Esto trae como consecuencia la creación de cárcavas, canales, compactación, pérdida de nutrimentos, salinización y contaminación del suelo (INEGI, 2020; López Falcón, 2002).

El 59% de la superficie de la Ciudad de México (~88,400 ha) es considerado Suelo de Conservación. La designación de Suelo de Conservación hace referencia a la zona de la Ciudad de México que posee condiciones sociales, climáticas y topográficas particulares, en donde coexisten ecosistemas naturales con sistemas de producción agrícola, su importancia radica en los bienes y servicios ambientales que proporciona a los cerca de 9 millones de habitantes de la Ciudad de México y a los cerca de 25 millones de la zona metropolitana del Valle de México (Palomino y López-Pardo, 2015).

Dentro del suelo de conservación se localiza la nanocuenca del Volcán Acopiaxco en la alcaldía de Tlalpan y en esta se ubican los ejidos de Topilejo y Parres. Está zona es considerada una de las áreas agrícolas más importantes de la ciudad, los terrenos con explotación agrícola ocupan más del 84% de la superficie, así mismo, esta zona posee una dinámica de erosión de suelo por causas hídricas muy alta debido a la dinámica de cambio de uso de suelo de las últimas décadas y su compleja topografía (Carpinteyro-Urban y Espinosa, 2014; Rodríguez Sánchez *et al.*, 2022).

Para mitigar esta situación, la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural de la Ciudad de México (CORENADR) ha implementado diferentes tipos de obras para la conservación de suelo y agua. La construcción de presas de geocostales y de gaviones para la retención de suelo arrastrado por las corrientes de agua en las temporadas de lluvia, además se han implementado proyectos de reconversión productiva de las tierras de cultivo de los ejidatarios de la zona para cambiar las prácticas agrícolas de monocultivos a cultivos menos agresivos y sistemas agroforestales que ayudan a la retención de suelo, así como una mayor infiltración de agua al manto freático. Finalmente, se ha diseñado un sistema de derivación de agua hacia una zona de alta infiltración.

El objetivo del presente trabajo fue identificar los principales resultados generados a partir de los trabajos de conservación de suelo y agua en los ejidos Parres y Topilejo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La nanocuenca se localiza en la demarcación de la alcaldía de Tlalpan en la Ciudad de México, en los núcleos agrarios de los Ejidos de Parres el Guarda y San Miguel Topilejo; sobre la autopista México-Cuernavaca. Al norte y oeste colinda con el ejido de Parres el Guarda, al este con el volcán Acopiaxco, al Sur con los límites del Estado de Morelos (Figura 1). Se distingue el tipo de clima de acuerdo con la clasificación de Köppen

modificada por García como semifrío subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 10 °C y una precipitación media anual de 1,292.1 mm (estación meteorológica 00009022-EL GUARDA). El periodo de sequía va de noviembre a abril, mientras que los meses húmedos de mayo a octubre. En el área de estudio existe un gradiente altitudinal de 384 metros.

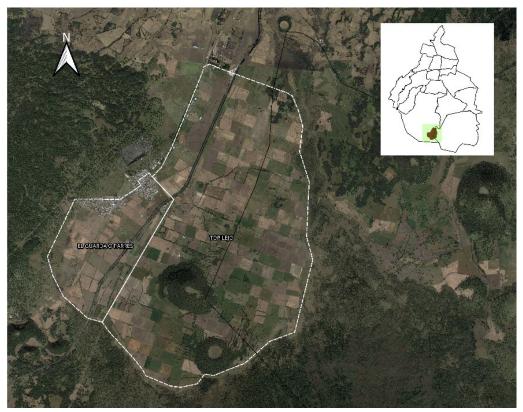


Figura 1. Ubicación de área de estudio El Guarda o Parres y Topilejo

El tipo de suelo predominante en la zona es Andosol Úmbrico (93.48%) y Leptosol Dítrico (6.52%). Respecto al tipo de vegetación y uso de suelo, cuenta con vegetación secundaria arbórea de bosque de pino (0.07%), vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino (1.47%), pastizal inducido (1.77%), vegetación secundaria arbustiva de bosque de oyamel (3.42%), bosque de pino (8.37%) y agricultura de temporal anual (84.88%) (CENTROGEO, 2013).

Identificación de zonas prioritarias

Se realizaron recorridos de diagnóstico en parcelas agrícolas para georreferenciar y conocer la condición socio-productiva y ambiental de cada unidad de producción. Durante el recorrido se contabilizaron y georreferenciaron las cárcavas y zonas afectadas por la erosión hídrica y eólica. Así mismo, se generó un ortomosaico de alta resolución a partir de imágenes capturadas con un dron *Wingtra Gen II* y sensor *RGB Sony RXIR 24 MP*. Una vez que se contó con el ortomosaico se identificaron por fotointerpretación escurrimientos pluviales y cárcavas generadas.

Con base en el manual de la CONAFOR (2007) se realizaron obras de conservación de suelo mediante 25 presas de gaviones y 279 presas de geocostales para la estabilización de cárcavas, retención de sedimentos, disminución de la velocidad de la corriente, favorecimiento de la infiltración de agua y corrección de cauces. Se realizó la construcción de una zanja derivadora con el propósito de desalojar el agua de los caminos o de las cárcavas y conducirla hacia la zona de infiltración más cercana. Se plantaron especies nativas en los cauces y en las presas atendidas para la estabilización de taludes en las cárcavas, con el fin de disminuir el impacto de la erosión hídrica.

Finalmente, se aplicó la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (EUPS) (Wischmeier y Smith, 1978) la cual permite conocer el estado actual del suelo. Esto se llevó a cabo mediante el manejo y procesamiento de capas de información geográfica utilizando el *ArcGIS* 10.5.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de las visitas a campo y análisis por fotointerpretación se identificaron 223 transectos con presencia de cárcavas causadas por erosión hídrica. En estas zonas fueron establecidas 25 presas de gaviones y 279 presas de geocostales. Se estimó la capacidad de las obras en los procesos de retención de suelo y disminución de erosión hídrica, las estimaciones realizadas indican que la capacidad de retención anual de los trabajos realizados es de 48,128 m³/año (Cuadro 1) y 41,648 litros/año (Cuadro 2). En visitas recientes a las áreas con intervención es visible el éxito de las obras en cuanto a retención de suelos y disminución de la velocidad de las escorrentías (Figura 2).

Si bien las obras establecidas se focalizaron en seis áreas con presencia de erosión hídrica, se ha planeado continuar con estos esfuerzos al finalizar el año 2023. La CORENADR planea establecer 36 presas de gavión y 429 presas de geocostal (Figura 3).

Tipo de Obra	Capacidad instalada (m³/año)	Volumen (ton/año)	Retención (%)	Volumen retenido (ton)
Presas de geo costal	16,500	19800	60%	11,800
Presas de gavión	6,300	7560	70%	5,292
Terrazas de formación	252	302.4	50%	151.2
Bordos de tierra a curva de nivel	280	336	50%	168
Zanja de derivación	16,775	20,130	50%	10,065
Total	40,107	48,128.4	-	27,556.2

Cuadro 1. Resultados retención de suelo

Cuadro 2. Resultados retención de agua

Tipo de Obra	Capacidad instalada (m³/año)	Volumen (litros/año)	Retención (%)	Volumen infiltrado (litros)
Presas de geoscostal	1,800	1,800,000	40%	720,000
Presas de gavión	3,248	3,248,000	40%	1,299,200
Zanja de derivación	36,600	36,600,00	50%	18,300,000
Total	41,648	41,648,000	-	20,319,200



Figura 2. Cambios en zonas intervenidas.

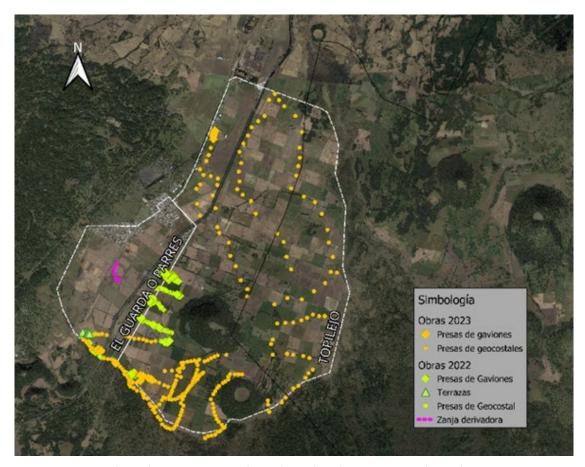


Figura 3. Obras de conservación de suelo realizadas en 2022 y planeadas para 2023.

Así mismo, a través del programa ALTEPETL-CORENADR se logró la reconversión de 558 ha, en las cuales se han establecido sistemas agroforestales o plantaciones forestales (frutales y maderables), lo que representa poco más de una tercera parte de la superficie de reconversión objetivo (1,562.85 ha), propiciando así el bienestar de los productores a la vez que se generan condiciones adecuadas para la retención de suelo e infiltración de agua.

CONCLUSIONES

Las obras de conservación de suelos realizadas en los ejidos de Parres y Topilejo han permitido disminuir la profundidad de las cárcavas presentes en dentro de la zona de cultivos, así mismo, la reconversión de cultivos hacia sistemas de producción agroecológica resulta una propuesta para desacelerar el proceso de erosión del suelo en la zona de estudio. Estos trabajos permiten asegurar las condiciones para la conservación de los ecosistemas presentes en la región, a la vez que promueven el desarrollo agrícola sostenible.

AGRADECIMIENTOS

Teodoro Zaragoza Martínez (Comisariado ejidal de Topilejo). Ing. Rafael Castillo Madrigal (Comisariado ejidal Parres el Guarda). Zenón Reza Villareal (Coordinador del CIIC-2 CORENADR). Ing. Karina Martínez Flores (Facilitadora regional del CIIC-2 CORENADR).

BIBLIOGRAFÍA

Bizzarri Colotti, E. (1999). La erosividad: cualidad de la lluvia poco conocida. Terra Nueva Etapa, XV, 99–116.

Carpinteyro-Urban, S., Espinosa, M. (2014). El potencial natural de la Reserva Ecológica Comunitaria San Miguel Topilejo para su uso turístico. Revista Agroproductividad, 7.

CENTROGEO (Centro de Investigación En Ciencias de Información Geoespacial). (2013). Uso de suelo y vegetación del Suelo de Conservación. Centro de Investigación En Ciencias de Información Geoespacial.

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2007). Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras prácticas. (5th ed.). Gerencia de Restauración Forestal.

de la Paix, M. J., Lanhai, L., Xi, C., Ahmed, S., Varenyam, A. (2011). Soil degradation and altered flood risk as a consequence of defore. Land Degradation & Development, n/a-n/a. https://doi.org/10.1002/ldr.1147

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2020). Censo de Población y Vivienda 2020.

López Falcón, R. (2002). Degradación del Suelo: Causas, Procesos, Evaluación e Investigación: Vol. SC-75.

Palomino, B., López-Pardo, G. (2015). Ecoturismo y conservación del patrimonio natural y sociocultural de Ciudad de México. Cuadernos de RSO, 3(2), 101–112.

Rodríguez Sánchez, C. D., Espinosa Castillo, M., Vera Alejandre, G. R. (2022). Interrelación urbano-rural en la comunidad de San Miguel Topilejo, Tlalpan, CDMX. In J. E. Isaac Egurrola, E. R. Morales García de Alba, & A. Treviño Aldape (Eds.), La economía sectorial reconfigurando el territorio y nuevos escenarios en la dinámica urbano rural. (pp. 427–446). UNAM-AMECIDER.

Wischmeier, W. H., Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Agriculture Handbook. US Department of Agriculture.

Wuepper, D., Borrelli, P., Finger, R. (2019). Countries and the global rate of soil erosion. Nature Sustainability, 3(1), 51–55. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0438-4

RED UNIVERSITARIA DE LABORATORIOS DE SUELOS DEL PROGRAMA UNIVERSITARIO DE ESTUDIOS INTERDISCIPLINARIOS DEL SUELO (RULabS-PUEIS)

Thalita Fernanda Abbruzzini^{1,2}; Agueda Elena Ceniceros Gómez^{2,3}; Alberto Prado Farías^{2,4}; Lucy Mora Palomino¹; Mario Cayetano Salazar⁵; María del Pilar Fernández Lomelín⁵; Gilberto Hernández Silva⁶; Sara Solís Valdez⁶; Dora Celia Carreón Freyre⁶; Hilda Rivas Solórzano⁷; Francisco Bautista Zúñiga⁷; Eduardo Becerra Torres⁴; Ilane Hernández Morales⁸; Blanca González Méndez⁹; Rafael del Río Salas⁹; Daniel Ramos Pérez⁹; Claudia Ponce de León Hill¹⁰; Manuel Hernández Quiroz¹⁰; Nathalie Roberte Chantal Cabirol¹⁰; Rosalía Ramos Bello¹⁰; Hugo Harlan Mejia Madrid¹⁰; Mario Alberto Martínez Núñez¹⁰; Ricardo García Valdivia¹¹; Celso Barrera Chávez¹¹; Gerardo Cruz Flores¹²; Dra. Elizabeth Chávez García¹³; José Luis Luna Montova¹³; José Luz González Chávez³; Margarita Eugenia Gutierrez Ruiz³; Mario Alberto Figueroa Saldívar³; Maria Fernanda Lases-Hernández³; Lluvia Korynthia López Aguiar³; Rodolfo Zanella Specia¹⁴; Mario Ricardo Israel Rodríguez Varela¹⁴; Jorge Alberto Márquez Flores¹⁴; Julio Homero Eudes Campo Alves¹⁵; Enrique Solís Vilalpando¹⁵; José Luis Ruvalcaba Sil¹⁶; Alejandro Mitrani Viggiano¹⁶; María Aurora Armienta Hernández¹⁷; Faustino Juárez Sánchez¹⁷; Melanie Kolb⁵; Francisco Martín Romero¹; Luis Gerardo Martínez Jardines¹; Christina Siebe Grabach¹; Maricarmen Salazar Ledesma¹; Jorge René Alcalá Martínez¹; Rocío Jetzabel Alcántara Hernández¹; María del Pilar Ortega Larrocea¹; Mario Villalobos Peñalosa¹; Alan Ulises Loredo Jasso¹; Elizabeth Solleiro Rebolledo¹; Jaime Díaz Ortega¹; Saval Bohórquez Susana¹⁸; Mayra Elena Gavito Pardo¹⁹; Pablo Fabián Jaramillo López¹⁹; Gabriela Castaño Meneses²⁰; Abel Ibáñez Huerta²⁰; Norma Eugenia García Calderón²⁰; Elizabeth Fuentes Romero²⁰; Elena Centeno García¹; Rufino Lozano Santa Cruz¹; Blanca Prado^{1,2,*}

¹Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 04510, Ciudad de México, México; ²Programa Universitario de Estudios Interdisciplinarios del Suelo (PUEIS), Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 04510, Ciudad de México, México; ³Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 04510, Ciudad de México, México; ⁴Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Juriquilla, C.P. 76230, Querétaro, México; ⁵Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 04510, Ciudad de México, México; 6Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 76230, Querétaro, México; 7Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 58190, Michoacán, México; ⁸Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad León, C.P. 37684, Guanajuato, México; ⁹Estación Regional del Noroeste del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 83000, Sonora, México; ¹⁰Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 04510, Ciudad de México, México; ¹¹Facultad de Estudios Superiores Acatlán, C.P. 53150, Naucalpan de Juárez, Méxixo; ¹²Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, C.P. 09230, Ciudad de México, México; ¹³Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 04510, Ciudad de México, México; ¹⁴Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 04510, Ciudad de México, México; 15Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 04510, Ciudad de México, México; 16Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 04510, Ciudad de México, México; ¹⁷Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 04510, Ciudad de México, México; 18Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 04510, Ciudad de México, México; 19Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 58190, Michoacán, México; 20Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación de la Facultad de Ciencias Juriquilla, Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 76230, Querétaro, México *bprado@geologia.unam.mx

RESUMEN

En la base de datos de académicos de la UNAM registrados al Programa Universitario de Estudios Interdisciplinarios del Suelo (PUEIS), identificamos 49 laboratorios que realizan análisis del suelo abarcando una amplia variedad de temas. En este contexto, el PUEIS crea la Red Universitaria de Laboratorios de Suelos (RULabS-PUEIS) con el objetivo de promover la colaboración multidisciplinaria e interinstitucional en términos de capacitación, uso de recursos y generación del conocimiento académico y científico. Se creó un equipo de académicos aliados del PUEIS y se lanzó la campaña "Sé parte de la RULabS-PUEIS", en la cual se promocionó el Sistema de Registro a la Red a los académicos que trabajan o tienen a cargo un laboratorio de suelos en la UNAM. Los 43 laboratorios registrados se ubican en siete entidades federativas de la República, procedentes de 20 entidades distintas en la UNAM, y sus actividades abarcan 14 areas temáticas y cuentan con una amplia capacidad técnica, analítica e instrumental para la enseñanza de la ciencia del suelo y la investigación para el conocimiento y aprovechamiento del suelo. De este modo, la RULabS-PUEIS constituye el punto de partida para promover colaboraciones a través de proyectos de investigación y educación.

PALABRAS CLAVE: Capacitación; Colaboraciones multidisciplinarias; Educación; investigación; Potencial analítico.

INTRODUCCIÓN

Los laboratorios de análisis de suelos son una herramienta indispensable para el fortalecimiento de los esfuerzos de la comunidad científica en el ámbito de la investigación en suelos (tanto la básica como la aplicada), la formación de recursos humanos y el desarrollo de capacidades. Además, tienen un papel central en la armonización de métodos, mediciones e indicadores para la gestión sostenible y la protección del recurso suelo, de ahí la importancia de generar datos confiables de análisis de suelos que son las bases para su caracterización. En la base de datos de académicos de la UNAM registrados al PUEIS (compendio El suelo en la UNAM) (Prado, 2022), identificamos 49 laboratorios que realizan análisis del suelo abarcando una amplia variedad de temas en materia de suelos. En este contexto, el PUEIS crea la Red Universitaria de Laboratorios de Suelos del Programa Universitario de Estudios Interdisciplinarios del Suelo (RULabS-PUEIS) con el objetivo de promover la colaboración multidisciplinaria e interinstitucional que resulte en beneficios para la comunidad en términos de capacitación, uso de recursos y generación del conocimiento académico y científico, a través de la participación en proyectos de educación e investigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la creación de la RULabS, se creó un equipo formado por académicos aliados del PUEIS, académicos entusiastas y el equipo base del PUEIS en el primer trimestre de 2022, y en 01 de junio 2022 se lanzó la campaña "Sé parte de la RULabS-PUEIS", en la cual se promocionó el Sistema de Registro a la Red a través de la publicación de infografías y videos dirigidos a las y los académicos que trabajan o tienen a cargo un laboratorio de suelos en la UNAM (Figura 1). A través del Sistema de Registro, fue posible obtener la

ctividade Creación del Apertura del` Equipo líder Base de Sistema de de la RULabS-PUEIS datos RULabS-PUEIS Registro El formulario de registro incluyó Se obtuvo la primera base de información general de los datos de laboratorios de análisis laboratorios, tipos de análisis que de suelos de la UNAM. realizan, equipo de trabajo, capacidades, y necesidades de los

primera base de datos de laboratorios de análisis que analizan suelos en la UNAM.

Figura 1. Esquema de la estrategia metodológica para obtener la base de datos de laboratorios que analizan suelos en la UNAM.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

laboratorios de análisis de suelos en la UNAM.

A continuación, se presenta una síntesis de lo que es la RULabS-PUEIS, los laboratorios que la constituyen, los equipos de trabajo y capacidades analíticas, así como de las principales necesidades de los laboratorios de análisis de suelos en la UNAM. Los 43 laboratorios registrados se ubican en siete entidades federativas de la República, procedentes de 20 entidades distintas en la UNAM y sus actividades abarcan 14 áreas temáticas (Figura 2). Respecto al equipo de trabajo, los niveles de estudios de las y los académicos que participan en las actividades de los laboratorios son: maestría (86%); licenciatura (83%); doctorado (81%); especialidad (29%); bachillerato (7%); secundaria (2%); y otros niveles de estudio (por ejemplo, posdoctorado, 7%).

El número de muestras procesadas por año es de menos de 200 en el 43% de los laboratorios registrados, mientras que 33% procesan entre 200-500, y el 12% procesan entre 500-1000 muestras por año. El resto de los laboratorios procesan entre 1000-5000 muestras por año. Respecto a los servicios, 27 de los 42 laboratorios registrados ofrecen servicios a terceros dentro de la UNAM (64%), y 21 laboratorios ofrecen servicios tanto a terceros internos como externos a la comunidad universitaria (50%).

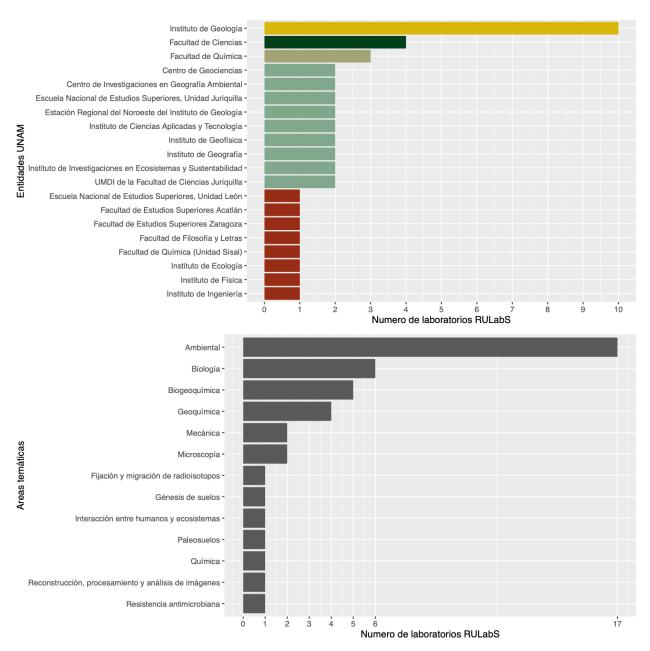


Figura 2. Entidades de la UNAM con laboratorios que forman parte de la RULabS-PUEIS y las áreas temáticas que abarcan.

Detallando un poco más sobre las capacidades de los laboratorios, un 62% de éstos tiene algún sistema de control de calidad de la información que genera, el 10% cuenta con certificación y/o la tiene en proceso, y el 7% cuenta con algún tipo de acreditación. Asimismo, el 36% participa en ejercicios de intercomparación, y 74% estudian tanto aspectos cuantitativos, como cualitativos del suelo. Enfocándonos en las necesidades de los laboratorios, el 57% ha clasificado los servicios de asistencia técnica brindados su laboratorio como suficiente, y 43% como insuficiente. Sus principales necesidades son equipos (33%), armonización de métodos analíticos (29%), consumibles (14%), y capacitación continua (12%). Asimismo, el 5% ha identificado como principal necesidad

la implementación de mejores políticas de manejo de residuos, y el 12% han declarado otras necesidades, como por ejemplo certificación y control de calidad.

CONCLUSIONES

Con la información publicada en este trabajo, se espera retratar la amplia capacidad técnica, analítica e instrumental de la UNAM para la enseñanza de la ciencia del suelo, y la investigación para el conocimiento y aprovechamiento del suelo. Además, se busca resaltar la importancia que tienen los laboratorios de análisis de suelos para generar conocimiento que ayude a la toma de decisiones entre academia, gobierno y sociedad. Finalmente, la Red Universitaria de Laboratorios (RULabS-PUEIS) constituye el punto de partida para promover la colaboración multidisciplinaria e interinstitucional, que resulte en beneficios para la comunidad en términos de capacitación, uso de recursos y generación del conocimiento a través de la participación en proyectos de investigación y educación.

BIBLIOGRAFÍA

Prado, B. (2022). El suelo en la UNAM: una mirada a la atención del suelo desde la Universidad Nacional. Ciudad de México, México: PUEIS, UNAM.

REDUCCIÓN DEL ESTRÉS SALINO POR ACCIÓN DE BACTERIAS HALOTOLERANTES PROMOTORAS DE CRECIMIENTO VEGETAL

EN Solanum lycopersicum

<u>Javier Pérez-Inocencio^{1*}</u>; Gabriel Iturriaga²; Cesar L. Aguirre-Mancilla²; María Soledad Vásquez-Murrieta³; Dioselina Álvarez-Bernal⁴

¹Tecnológico Nacional de México/campus Los Reyes, C. P. 60330, Los Reyes, Mich., México; ²Tecnológico Nacional de México/campus Roque, C. P. 38110 Celaya, Gto., México; ³Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, C. P. 11340, Ciudad de México, México; ⁴Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Michoacán (CIIDIR-Michoacán), C. P. 59510, Jiquilpan, Mich., México; *japeinza10@gmail.com

RESUMEN

La salinidad del suelo es uno de los problemas más importantes que reducen la productividad agrícola a nivel mundial. Las bacterias halotolerantes promotoras del crecimiento vegetal son una alternativa para reducir el estrés salino en cultivos de interés agrícola. En este estudio, se examinaron los efectos de dos bacterias halotolerantes del género *Halomonas* sobre el crecimiento de *Solanum lycopersicum* en condiciones de invernadero sometida a estrés salino en agua de riego (0, 40 y 80 mM NaCl), las variables de respuesta fueron: peso fresco y seco total de la planta, producción, calidad del fruto (pH, °Brix, %Ac. Cítrico) y concentración de osmoprotectores en tejido foliar (trehalosa, prolina y grlicil betaína). Los resultados estadísticos del análisis de dos vías mostraron que las bacterias halotolerantes promotoras del crecimiento vegetal presentaron diferencias significativas en el rendimiento. El peso fresco de la planta y calidad del fruto se mejoraron al ser inoculadas por bacterias halotolerantes promotoras del crecimiento vegetal. La concentración de los osmoprotectores aumentó en tratamientos inoculados. Esta investigación comprobó el uso eficiente de bacterias halotolerantes para la reducción del estrés salino en *Solanum lycopersicum*.

PALABRAS CLAVE: Estrés; Halomonas; Osmoprotectores; Salinidad.

INTRODUCCIÓN

Las características químicas de algunos suelos, como la salinidad y la sodicidad, son condiciones que limitan la producción agrícola (Manzano *et al.*, 2014). La acumulación de iones tóxicos, la disminución del crecimiento, la pérdida de turgencia en la célula, los efectos sobre la fotosíntesis y la conductancia estomática son solo algunos de los problemas causados por las altas concentraciones de sal, que incluso pueden provocar la muerte de la planta (Martínez-Villavicencio, 2011). Los microorganismos halófilos son una alternativa para la biorremediación de suelos salinos por su capacidad de absorción de sales y de promover el crecimiento vegetal (Trivedi, 2017). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar bacterias halotolerantes promotoras de crecimiento vegetal (H-PGPB) sobre la germinación, desarrollo y producción de *Solanum lycopersicum* con distintos niveles de salinidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este proyecto se desarrolló en el área experimental del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN-MICH), ubicado en el municipio de Jiquilpan, Michoacán, y en el laboratorio de fitopatología del mismo centro; donde se aislaron e identificaron bacterias del género *Halomonas* con características de promoción de crecimiento vegetal, obtenidas de la rizosfera de la halófita *Sesuvium verrucosum*.

Para el ensayo de invernadero se trasplantaron plántulas de *Solanum lycopersicum* en sustrato *peat most*. Los tratamientos evaluados fueron: a) testigo, b) *Halomonas* sp. SVCN6, y c) *Halomonas* sp. SVHM8 a distintos niveles de salinidad en agua de riego (0, 40 y 80 mM NaCl), realizando los riegos cada tres días y el día intermedio regando con solución nutritiva Steiner a 2 dS/m y pH de 6 (Steiner, 1961).

La inoculación de los aislados se realizó al inicio del experimento y una vez por semana hasta la culminación del experimento con $1.5 \times 10^9 \text{ufc/ml}$ en cada planta. El experimento constó de cinco repeticiones y un diseño factorial basado en arreglo completamente al azar. Las variables evaluadas fueron: peso fresco y peso seco de la planta, rendimiento, calidad del fruto (pH, ° Brix y acidez titulable) (Benito-Bautista *et al.*, 2015), además de la concentración en tejido vegetal de osmorpotectores (trehalosa, glicina betaína y prolina) (Schulze *et al.* 1995; Grieve *et al.*, 1983; Irigoyen *et al.*, 1992). El experimento se estableció por un periodo de 180 días después del trasplante. Se analizaron las variables mediante ANOVA de dos vías y prueba de *Tukey* ($p \le 0.05$) para determinar las diferencias de medias significativas utilizando el software estadístico *Minitab*® (versión 17 para *Windows*).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se muestran en el Cuadro 1 ponen de manifiesto la influencia de la inoculación bacteriana de H-PGPB para reducir el estrés por salinidad y mejorar las características de peso fresco de planta, rendimiento, azucares toles disueltas, ácido cítrico y producción de osmoprotectores. El efecto benéfico de la inoculación por H-PGPB y la atenuación del estrés salino se debe a su capacidad de absorber sales, además de su capacidad de promover el crecimiento influyendo en sus actividades metabólicas, producción enzimática, solubilización de nutrientes del suelo, producción de fitohormonas y capacidad de adaptarse al estrés de pH y salinidad (Pérez-Inocencio *et al.*, 2022).

Los resultados de la investigación ponen a las bacterias como aquellas con mayor efecto en el aumento de este compuesto, pudiendo ser parte del metabolismo responsable en la reducción de estrés salino al que estuvo sometido el cultivo. La mayoría de los trabajos que informan sobre la inoculación de bacterias halotolerantes y su efecto sobre la producción de osmoprotectores en cultivos de interés sometidos a estrés salino coinciden en que las bacterias aumentan la concentración de estos osmoprotectores (Kumar *et al.*, 2020; Mukhtar *et al.*, 2019).

Cuadro 1. Efecto de la inoculación de H-PGPB sobre el desarrollo, calidad de fruto y osmoprotectores en *Solanum lycopersicum*

Salinidad (mM NaCl)	Tratamientos	Rendimiento (g/planta)	Peso fresco de planta (g)	Peso seco de planta (g)	рН	Azúcares totales disueltos (°Brix)	Ácido cítrico (%)	Prolina (mM/g)	Trehalosa (mM/g)	Glicíl betaina (mM/g)
0	Testigo	1126 ± 36 b	431 ± 51 e	162 ± 20 a	4.22 ± 0.04 a	4.7 ± 0.1 d	0.44 ± 0.02 cd	$0.818 \pm 0.085 c$	27.87 ± 0.72 ab	1.53 ± 0.19 a
	Halomonas sp. SVCN6	1264 ± 45 ab	842 ± 80 bc	175 ± 27 a	$4.03 \pm 0.01 \ bc$	$6.7 \pm 0.1 a$	$0.63 \pm 0.02 \; ab$	$0.783 \pm 0.022 c$	27.67 ± 2.85 ab	1.04 ± 0.13 bc
	Halomonas sp. SVHM8	1337 ± 111 a	523 ± 91 de	151 ± 16 a	4.11 ± 0.02 ab	5.0 ± 0.2 cd	0.44 ± 0.02 cd	$0.880 \pm 0.054 \ bc$	27.75 ± 1.38 ab	1.28 ± 0.01 ab
40	Testigo	1327 ± 50 a	823 ± 127 bcd	159 ± 35 a	$4.06 \pm 0.05 b$	$4.7 \pm 0.2 d$	$0.40 \pm 0.02 d$	$0.842 \pm 0.014 \ bc$	27.60 ± 1.91 ab	1.29 ± 0.05 ab
	Halomonas sp. SVCN6	853 ± 15 c	1109 ± 135 ab	193 ± 28 a	4.02 ± 0.02 bc	$6.1 \pm 0.1 b$	$0.49 \pm~0.02~c$	$0.835 \pm 0.012 \ bc$	17.08 ± 0.82 d	0.88 ± 0.15 c
	Halomonas sp. SVHM8	808 ± 17 c	976 ± 56 b	174 ± 29 a	$4.06 \pm 0.01 b$	5.2 ± 0.2 c	$0.49 \pm~0.02~c$	$0.949 \pm 0.042 \ ab$	20.60 ± 0.38 cd	1.03 ± 0.06 bc
80	Testigo	628 ± 51 d	1065 ± 192 b	$159 \pm 27 a$	$3.92 \pm 0.05 c$	$5.9 \pm 0.1 b$	$0.56 \pm 0.02 \ b$	$0.856 \pm 0.015 \ bc$	23.55 ± 0.93 bc	1.38 ± 0.24 ab
	Halomonas sp. SVCN6	831 ± 69 c	1410 ± 79 a	151 ± 13 a	$4.03 \pm 0.08 \ bc$	$6.1 \pm 0.1 \text{ b}$	$0.59 \pm\ 0.02\ ab$	0.811 ± 0.057 c	18.29 ± 2.33 d	1.31 ± 0.08 ab
	Halomonas sp. SVHM8	919 ± 59 c	651 ± 66 cde	$159 \pm 14 a$	$4.00 \pm 0.05 \ bc$	$6.7 \pm 0.1 a$	$0.65 \pm 0.04 \ a$	$1.034 \pm 0.045 a$	30.19 ± 1.43 a	1.44 ± 0.13 a

CONCLUSIONES

Se lograron evaluar bacterias halotolerantes promotoras de crecimiento vegetal sobre la germinación, desarrollo y producción de *Solanum lycopersicum* a distintos niveles de salinidad, evidenciando el efecto benéfico de las bacterias para inducir tolerancia al estrés salino de plantas de tomate. Las bacterias del género *Halomonas* evaluadas estimularon el aumento de la calidad del fruto, el incremento en rendimiento y de los niveles de osmoprotectores a 40 y 80 mM de salinidad. Los resultados sugieren el uso de las bacterias halotolerantes para evaluaciones en suelos agrícolas perturbados o naturales con altos niveles de salinidad.

BIBLIOGRAFÍA

Benito Bautista, P., Arellanes-Juárez, N., Pérez-Flores, M. E. (2015). Color y estado de madurez del fruto de tomate de cáscara. Agronomía Mesoamericana, 27(1), 115-130.

Grieve, C., Grattan, S. (1983). Rapid Assay for Determination of Water-Soluble Quaternary Ammonium Compounds. Plant and soil, 70, 303–307.

Irigoyen, J., Einerich, D., Sánchez-Díaz, M. (1992). Water Stress Induced Changes in Concentrations of Proline and Total Soluble Sugars in Nodulated Alfalfa (Medicago Sativa) Plants. Physiologia plantarum, 84 (1), 55–60.

Kumar Arora, N., Fatima, T., Mishra, J., Mishra, I., Verma, S., Verma, R., Verma, M., Bhattacharya, A., Verma, P., Mishra, P., Bharti, C. (2020). Halo-Tolerant Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Improving Productivity and Remediation of Sa-line Soils. Journal of Advanced Research, 26, 69–82. https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.07.003.

Manzano Banda, J. I., Rivera Ortiz, P., Briones Encinia, F., Zamora Tovar, C. (2014). Rehabilitación de suelos salino-sódicos: estudio de caso en el Distrito de Riego 086, Jiménez, Tamaulipas, México. Terra Latinoamericana, 32 (3), 211–219.

Martínez-Villavicencio, N. (2011). Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo, No. 3, 6.

Mukhtar, S., Mehnaz, S., Mirza, M. S., Malik, K. A. (2019). Isolation and Characterization of Bacteria Associated with the Rhizo-sphere of Halophytes (Salsola Stocksii and Atriplex Amnicola) for Production of Hydrolytic Enzymes. Braz J Microbiol, 50 (1), 85–97. https://doi.org/10.1007/s42770-019-00044-y.

Pérez-Inocencio, J., Iturriaga, G., Aguirre-Mancilla, C. L., Ramírez-Pimentel, J. G., Vásquez-Murrieta, M. S., Álvarez-Bernal, D. (2022). Identification of Halophilic and Halotolerant Bacteria from the Root Soil of the Halophyte Sesuvium Verrucosum Raf. Plants, 11 (23), 3355. https://doi.org/10.3390/plants11233355.

Schulze, U., Larsen, M. E., Villadsen, J. (1995). Determination of Intracellular Trehalose and Glycogen in Saccharomyces Cerevisiae. Analytical biochemistry 1995, 228 (1), 143–149.

Steiner, A. A. (2017). A Universal Method for Preparing Nutrient Solutions of a Certain Desired Composition. Plant and soil 1961, 15, 134–154.

Trivedi, R. (2017). Ecology of Saline Soil Microorganisms. Bioremediation of salt affected soils: an Indian perspective 2017, 157–171.

RENDIMIENTO Y COSTOS DE PRODUCCIÓN DE AVENA FORRAJERA EN EL ALTO MEZQUITAL, HIDALGO

<u>Jennifer Santiago Santander¹</u>; Brenda Ponce Lira^{1*}; Karina Aguilar Arteaga¹; Juan Pablo Pérez Camarillo²

¹Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, Domicilio conocido, Tepatepec, Francisco I. Madero, Hgo., C.P. 42660. *bponce@upfim.edu.mx; ²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD). Unidad Regional Hidalgo (URH). Boulevard Santa Catarina SN San Agustín Tlaxiaca, 42163 Pachuca de Soto, Hgo.

RESUMEN

El forraje de avena (*Avena sativa*) tiene gran importancia en México, debido a que es un insumo esencial para el balance nutrimental en el sector pecuario. El objetivo del presente proyecto fue evaluar el rendimiento y costos de producción de avena forrajera en el alto Mezquital, Hidalgo; con la finalidad de asegurar la alimentación ganadera en dicha zona. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar. Los 150 kg ha-1 de estiércol suministrados al suelo favorecieron el rendimiento de biomasa de avena (13,179 kg ha-1); así mismo, cabe señalar que dicho tratamiento reportó el menor costo de producción (\$4,570) comparado al sistema de producción tradicional de dicha zona. Con lo anterior, se invita a los productores a suministrar materia orgánica para incrementar la productividad forrajera de avena.

PALABRAS CLAVE: Avena sativa; Biomasa; Insumo pecuario.

INTRODUCCIÓN

Los cereales forrajeros son de gran importancia en la alimentación del ganado por su alta producción de materia seca y bajo costo; sin embargo, existen forrajes de alta adaptabilidad como es la avena forrajera debido a que se desarrolla en diferentes condiciones de climas y bajas temperaturas en comparación a cultivos forrajeros como el maíz, trigo o cebada. De tal manera que se ha convertido en un cultivo alternativo para el sector pecuario (Espinoza-Montes *et al.*, 2018).

Los principales países productores de forraje de avena (*Avena sativa*) son la Unión Europea (7.9 millones t), Rusia (4.4 millones t), Canadá (4.2 millones t), Brasil (0.8 millones t) y Argentina (0.57millones de t). En México, el forraje de avena se siembra en 127,425.42 ha, de las cuales se cosechan 125,237.02 ha, obteniendo una producción de 3,247,361.67 t, con un rendimiento promedio de 25.95 t ha-1 en materia verde.

En Hidalgo se siembran 31,253.41 ha de avena, de las cuales se cosechan 28,437.57 con un rendimiento promedio de 13.84 t ha-1 en materia verde (SIAP, 2023). El cultivo de avena es un insumo clave para la producción de alimento balanceado de uso pecuario y su amplio rango de adaptación en las diferentes zonas productoras, colocándolo como un cultivo estratégico para la producción de forraje en el ciclo de otoño invierno (Arias *et al.*, 2021).

La Avena sativa es un cultivo de fácil manejo y una alternativa que genera altos niveles de producción de biomasa por hectárea con valores nutricionales considerables y alta

palatabilidad (Figueroa Arteaga y Morales Tamayo, 2023). Este cultivo tiene como ventajas bajos costos de producción, adaptabilidad a diferentes zonas climáticas, producción anual, altos rendimientos de biomasa, excelente valor proteico y digestibilidad. Este tipo de forraje genera expectativas positivas que abren caminos en la solución de las dificultades productivas de la alimentación de bovinos y ovinos en regiones áridas (Campuzano *et al.*, 2020). Aunado a lo anterior, el objetivo del presente proyecto fue evaluar el rendimiento y costos de producción de avena forrajera en el alto Mezquital, Hidalgo con la finalidad de asegurar la alimentación ganadera en la zona.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente experimento se realizó dentro de la zona del Valle del Mezquital; donde se tomó como área de estudio una parcela experimental en el ejido el Mezquital, ubicado en el municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo. El sitio se localiza en una altura de 1951 metros sobre el nivel de mar; en la latitud 20.373056 y longitud de -99.021111. El experimento se estableció mediante un diseño experimental con bloques completamente al azar (Cuadro 1).

Se estableció avena forrajera (variedad Chihuahua), con una densidad de siembra de 100 kg ha⁻¹. El muestreo del forraje en verde se realizó mediate el manual de determinación de rendimiento del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (Verhulst *et al.*, 2012). Con el apoyo de la bitácora de campo se registraron las actividades y costos de producción durante el ciclo vegetativo. Los datos se procesaron con el programa R versión 2.14 utilizando el método de *Tukey*, con una probabilidad del 95%.

No. de	Abreviación	Descripción	Dosificación
tratamiento			
1	A-ES-MIN	Avena, estiércol y minerales.	135 kg/ha ⁻¹ de estiércol ovino, 2.5 kg/ha ⁻¹ Diatomea, 11.300 kg/ha ⁻¹ microelementos.
2	A-ES-MIN- FITO	Avena, estiércol, minerales y fitohormonas.	135 kg/ha ⁻¹ de estiércol ovino, 2.5 kg/ha ⁻¹ Diatomea, 11.300 kg/ha ⁻¹ microelementos.
3	A-ES	Avena con estiércol.	150 kg/ha-1 de estiércol ovino.
4	A-T	Testigo de vena.	0

Cuadro 1. Tratamientos establecidos en campo.

Donde A es *Avena sativa*, ES se refiere estiércol, MIN es mineral y FITO refiere a fitohormonas y T se refiere a Testigo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los rendimientos de forraje de avena presentados en la Figura 1 reportan diferencia significativa ($p \le 0.05$); el tratamiento A-ES obtuvo 1,302 kg más que A-ES-MIN-FITO. El menor rendimiento lo generó A-T (Testigo) el cual refiere a el sistema de producción tradicional. Arias *et al.* (2021), efectuó elevadas inversiones en capital económico y humano para reportar un rendimiento promedio de forraje de 14,105 kg, el cual se encuentra en el rango de producción obtenido en el tratamiento A-ES. Por otra parte, Rojas y Vega (1996) afirman que la aplicación de estiércol vacuno, estiércol avícola y estiércol porcino elevan la masa seca de avena (*Avena sativa*) y maíz (*Zea mays*) a los mismos niveles que una fertilización básica.

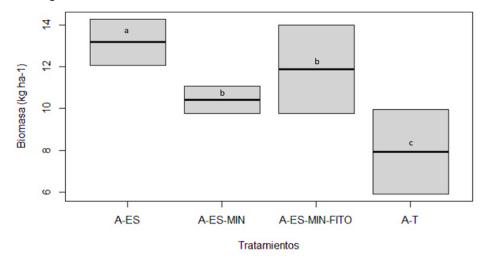


Figura 3. Rendimiento de biomasa seca de Avena Sativa en tratamientos establecidos.

En la Figura 2 se observa el rendimiento de biomasa de avena (kg) por bloque. En la comparación de los dos bloques de rendimiento se evidencia una variación. Los tratamientos homogéneos han sido A-ES, AS-ES-MIN y A-T, lo anterior incrementa la confiabilidad de los resultados obtenidos.

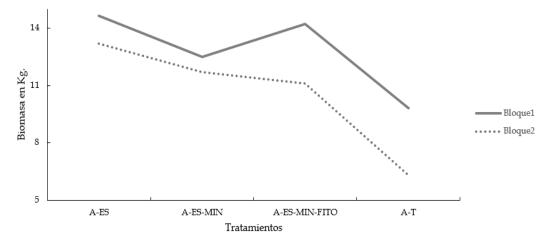


Figura 4. Rendimiento de biomasa seca de avena forrajera por bloque.

El tratamiento más heterogéneo fue A-ES-MIN-FITO, cabe mencionar que este tratamiento fue el de mayor inversión económica (Figura 3). El menor costo de producción lo reportó el tratamiento con mayor rendimiento (A-ES) con \$ 4,570 menos que A-ES-MIN-FITO.

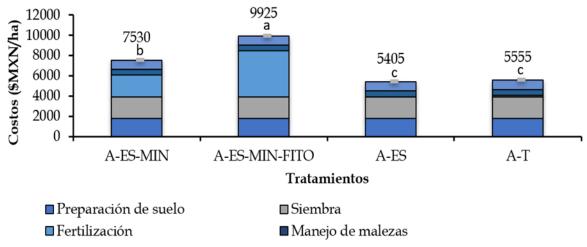


Figura 5. Comparación de costos por tratamiento establecido.

El tratamiento A-ES-MIN represento el mayor costo de producción, cabe señalar que los minerales utilizados fueron con la finalidad de neutralizar el pH de la zona de estudio. Sin embargo, se obtuvo un rendimiento de 21% menos en comparación de A-ES.

CONCLUSIONES

El tratamiento de avena con estiércol reporta un rendimiento de 5,230 kg ha-1 y menor costo de inversión por hectárea que al resto de los tratamientos establecidos. La importancia de esta investigación hace hincapié en el uso de materia orgánica para reducir costos de inversión e incrementar rendimiento de forraje. Se sugiere la continuidad de dicho proyecto para evaluar la calidad nutricional de cada tratamiento para recomendar al sector pecuario el forraje con base a su calidad nutrimental.

BIBLIOGRAFÍA

Arias, A., Cruz, J., Pantoja, C., Contreras, J., López, M. (2021). Rendimiento y calidad de Avena sativa asociada con Vicia sativa en la región puna del Perú. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 32. http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v32i5.21339

Campuzano, L. F., Rincón, E. C., Sierra, J. C., Cuesta, D. T., Sierra, D. F. N., López, P. A. P. (2020). Altoandina: nueva variedad de avena forrajera para la zona Andina en Colombia. Agronomía Mesoamericana, 31, 581-595. 9http://www.revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso

Espinoza-Montes, F., Núñez-Rojas, W., Ortiz-Guizado, I., Choque-Quispe, D. (2018). Producción de forraje y competencia interespecífica del cultivo asociado de avena (Avena sativa) con vicia (Vicia sativa) en condiciones de secano y gran altitud. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 29, 1237-1248. http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v29i4.15202

Figueroa Arteaga, F. A., Morales Tamayo, E. (2023). Potencial de manejo de arvenses de un cultivo de cobertura de avena (Avena sativa L.) a diferentes densidades de siembra.

https://repositorio.ucaldas.edu.co/bitstream/handle/ucaldas/19545/Avena%2025Septiembre2022.pdf?sequence=1

Rojas, C. A. L., Vega, S. (1996). Evaluación del efecto de diferentes niveles de una enmienda orgánica en el rendimiento del Algodón (Gossypium hirsutum L.) va. reba P-279 y en algunas propiedades químicas de un suelo desgastado del departamento central del Paraguay. Investigación Agraria, 1, 27-34. https://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/164

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2023). Avance de Siembras y Cosechas. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/

Verhulst, N., Sayre, K., Govaerts, B. (2012). Manual de determinación de rendimiento. SAGARPA, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, Ciudad de México. 27-34. https://idp.cimmyt.org/publicacion/manual-del-determinacion-de-rendimiento/

SUELOS AGRÍCOLAS DEL RÍO SONORA: UN CASO DE CONTAMINACIÓN CON METALES Y MICROPLÁSTICOS

Blanca González Méndez1*; Jonás Álvarez Lopeztello2; Elizabeth Chávez-García3

¹ CONACYT-Universidad Nacional Autónoma de México, Estación Regional del Noroeste, Sonora, México. *blancagm@geologia.unam.mx; ² Universidad Autónoma del Estado de México, Centro de Investigación en Ciencias Biológicas Aplicadas, Estado de México, México; ³ Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, Ciudad de México; México

RESUMEN

Los residuos antrópicos, como los plásticos y los jales mineros, representan una fuente continua de contaminación que afectan al suelo y a su ambiente circundante, por lo que constituyen una amenaza para la salud ambiental y de las poblaciones aledañas. Esta situación se presenta alrededor de San Felipe de Jesús, en el noroeste de México, en la cuenca media del Río Sonora. Se analizaron 900 ha de tierras agrícolas para evaluar y mapear las concentraciones de metales y microplásticos en la capa superior del suelo y descubrir dónde se presenta la mayor contaminación por metales y microplásticos. Las concentraciones totales de metales se analizaron por espectrometría de fluorescencia de rayos X. Se encontró que el plomo, arsénico, cobre, manganeso y zinc se concentraron cerca del jal como un "punto crítico de contaminación" donde las concentraciones de plomo, arsénico y zinc superan los estándares nacionales e internacionales. Plomo, zinc y manganeso disminuyen gradualmente en concentración desde el jal hacia el río Sonora. El arsénico y cobre también disminuyen en concentración hacia el centro de la región, pero aumentan en la planicie de inundación del río. En el caso de los microplásticos, hay una distribución homogénea por toda la zona de estudio, pero se aprecia un ligero enriquecimiento en los suelos contiguos al río Sonora. Estos resultados servirán para evaluar los riesgos para la agricultura y definir políticas de uso y posible remediación tanto de metales, como de plásticos en el suelo.

PALABRAS CLAVE: *Jales mineros; Kriging; Metales; Microplásticos; Muestreo anidado.*

INTRODUCCIÓN

La actividad antrópica genera residuos que, si no son adecuadamente dispuestos al término de su vida útil, se terminan acumulando y dispersando en el ambiente. Una vez expuestos pueden combinarse y en sinergia causar o potenciar sus efectos nocivos al ambiente. Las regiones cercanas a los ríos son una de estas zonas donde la actividad humana típicamente deja una huella contaminante mediante el depósito o lixiviación de residuos diversos que terminan afectando no sólo la calidad del agua del río y sus márgenes, sino también los sitios donde esa agua es reutilizada (Goel, 2006).

Uno de estos residuos son los plásticos que suelen acumularse y depositarse tanto en ambientes terrestres (suelos) como en acuáticos (ríos y océanos) (Zhou *et al.* 2021). Su distribución omnipresente deriva del uso masivo de plásticos en nuestra vida diaria, solo para ponerlo en perspectiva, en 2015 se produjeron 320 millones de toneladas de plásticos alrededor del mundo. A pesar de que se han hecho esfuerzos para reducir su consumo e

incrementar el reciclaje, la mayor parte de los plásticos termina liberándose al ambiente donde son sometidos a la radiación solar y a la abrasión mecánica, fragmentándose en partículas cada vez más pequeñas hasta alcanzar tamaños ≤5 mm, denominadas como microplásticos (Sajjad *et al.* 2022).

Hasta ahora existe poca información sobre los microplásticos en el suelo. Pero su presencia en este compartimiento reviste un gran riesgo, dado que diversas sustancias se pueden adherir en su superficie conforme los microplásticos envejecen. Dichas sustancias pueden ser contaminantes orgánicos persistentes (POPs), contaminantes orgánicos, metales e incluso antibióticos. Adicionalmente, los microplásticos siguen expuestos a la abrasión, por lo cual se fragmentan hasta generar nanoplásticos (1-1000 nm). Entre más pequeño sea el tamaño de la partícula, los plásticos se movilizan más fácilmente y pueden ser absorbidos por las plantas y animales, afectando su organismo, así como sus funciones ecológicas (Wang *et al.* 2019).

El origen de los microplásticos en el suelo es diverso, y entre las fuentes identificadas se encuentra el riego con agua residual, riego con fuentes expuestas a la recepción de residuos plásticos (ej. ríos y cauces pequeños), así como el uso de plásticos diversos durante todo el proceso agrícola, los cuales incluyen residuos de empaque de semillas, fertilizantes, embalaje, etc. Por lo cual, los suelos agrícolas pueden ser un sumidero importante de microplásticos para el ambiente (Zhou *et al.* 2021).

Por otro lado, la minería histórica ha dejado diversos pasivos abandonados a la intemperie, que suelen estar enriquecidos con metales y otros contaminantes producto del proceso extractivo. Cuando esos pasivos se dejan expuestos sin ninguna cubierta vegetal, los contaminantes pueden ser transportados por el viento y por el agua y afectar los suelos y cuerpos acuáticos aledaños, representando un riesgo para la salud de los ecosistemas. Uno de estos pasivos ambientales se localiza en la cuenca media del Río Sonora entre los límites de San Felipe de Jesús y Aconchi (Figura 1). Entre los jales y el río existe una franja de suelos agrícolas donde se cultivan especies forrajeras y algunos cultivos para consumo humano como cacahuate y chile. Dichos cultivos suelen regarse con agua del río -durante la temporada estival- y con agua de pozo durante la temporada seca. En consecuencia, estos suelos se pueden ver afectados tanto por la dispersión de partículas de jales enriquecidas en metales, como por la introducción de microplásticos con el agua del río o las actividades agrícolas cotidianas.

Estudios previos han demostrado que algunos de los suelos de la región presentan altas concentraciones de plomo, arsénico y zinc que rebasan los límites permisibles nacionales e internacionales (Del Río *et al.* 2019). Sin embargo, no existe información disponible sobre las concentraciones de microplásticos en esta franja de suelos, a pesar de que las actividades agrícolas y el riego con agua del Río Sonora pueden representar fuentes importantes de microplásticos.

Se estima que de haber microplásticos en los suelos agrícolas, parte de los elementos potencialmente tóxicos (EPT) podrían encontrarse adheridos a su superficie y movilizarse en conjunto afectando a las plantas y animales de la región. Por lo que el objetivo del

presente trabajo fue mapear la distribución de metales, arsénico y microplásticos en 900 ha de suelos agrícolas afectados por los jales abandonados y regados con agua del Río Sonora.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionó un área de 900 ha de suelos agrícolas ubicados entre San Felipe de Jesús y Aconchi en Sonora (29°50'59.16"N y 110°14'49.98"O). La región tiene un clima árido (BSO), con temperaturas medias mensuales de 12.3°C (en enero) a 30.4°C (en julio), pero que pueden alcanzar hasta 47°C. La precipitación promedio anual es de 300 a 600 mm, donde el 70% de la lluvia cae entre julio y agosto en pocos eventos torrenciales (Brito-Castillo *et al.* 2010).

Hacia el oeste de la zona de estudio se ubica la pila de jales abandonados y por el este corre el Río Sonora. Los suelos agrícolas se encuentran entre los jales y el río. Se realizó un muestreo anidado de reconocimiento (González-Méndez *et al.*, 2022) y se obtuvieron 160 muestras compuestas de suelo (0-30 cm) (nodos 1 a 8 de la Figura 1). Con base en estos resultados se planearon dos muestreos más para poder tener una mejor estimación de la varianza (segundo y tercer muestreo) (Figura 1). Para la obtención de las muestras se utilizó material de acero inoxidable y cada muestra se colocó en bolsas de papel. Se evaluaron las concentraciones de plomo (Pb), arsénico (As), zinc (Zn), cobre (Cu) y manganeso (Mn) mediante espectroscopía de fluorescencia de rayos X (XRF) con el equipo *Niton XL3t Ultra*, de acuerdo con el protocolo EPA 6200.

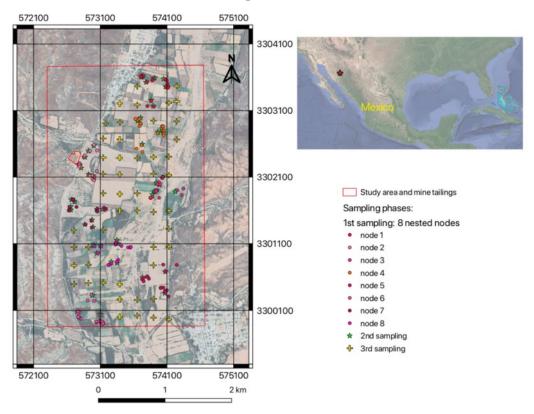


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio y diseño de muestreo de suelos. Tomado de González-Méndez *et al.* (2022).

Dado que existen pocos estudios sobre microplásticos en los suelos, y particularmente en los suelos agrícolas, se adoptó el método propuesto por Álvarez-Lopeztello *et al.* (2021), donde se realiza una separación por densidad utilizando una solución de cloruro de zinc (ZnCl₂), se tamiza por diferentes mallas (40, 60, 150, 250 y 500 µm), y el material depositado se observa al microscopio para su identificación y cuantificación. Los resultados fueron analizados utilizando el software *GenStat* 22. Se probó la normalidad de los datos, se analizó la correlación espacial mediante la construcción de los variogramas y finalmente se utilizó *kriging* ordinario para realizar la interpolación predictiva de la distribución de metales, arsénico y microplásticos en la zona.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 2 muestra el variograma para el Pb (el resto de los metales sigue una tendencia similar), donde se aprecia que la mayor variabilidad ocurre a menores distancias. Las muestras de suelo analizadas presentan en promedio altas concentraciones de EPT: 346 ppm de Pb (con valores máximos de 1531 ppm), 29 ppm de As (máximo 83 ppm), 719 ppm de Zn (máximo 3128), 58 ppm de Cu (máximo 185 ppm) y 1193 ppm de Mn (máximo 1955 ppm)

Las concentraciones de Pb y As rebasan los estándares nacionales de la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 para suelos agrícolas, y los internacionales para Cu y Zn. En la Figura 3 se observa que la zona entre los jales y el río presenta altas concentraciones de Pb. Existe un comportamiento similar para el Zn y el Mn. Mientras que el As y el Cu presentan las concentraciones más altas en las inmediaciones del río. Las principales formas plásticas encontradas fueron fibras y fragmentos (Figura 4) con concentraciones promedio de 27 partículas por 20 g de suelo en total. Se observa que la distribución de microplásticos es muy homogénea en los suelos (Figura 5), sin embargo, las mayores concentraciones tienden a encontrarse en la zona cercana al río.

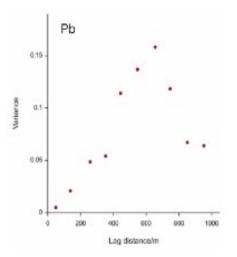


Figura 2. Variograma del Pb. Tomado de: González-Méndez *et al.* (2022).

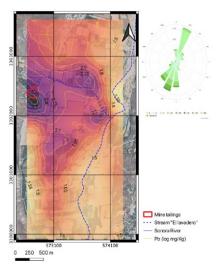


Figura 3. Distribución del Pb. Tomado de: González-Méndez *et al.* (2022).



Figura 4. Presencia de fibras y fragmentos plásticos en muestras de suelo en la Cuenca del Río Sonora. Malla: a) 125 μ m, b) 500 μ m, c) 300 μ m, d) 300 μ m, e) 40 μ m.

Esta tendencia puede indicar que el riego con el agua del río puede ser la fuente principal de microplásticos en los suelos estudiados. Bajo el ambiente del suelo es probable que parte de las altas concentraciones de metales puedan estar ligadas (adheridas) a los microplásticos.

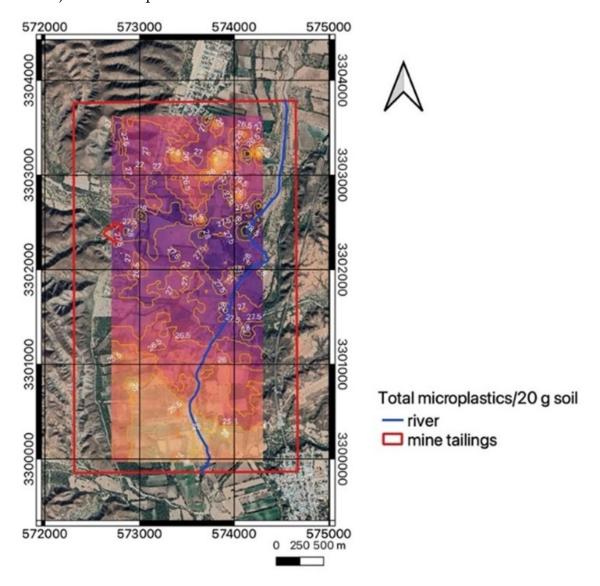


Figura 5. Distribución de microplásticos totales en los suelos bajo estudio.

CONCLUSIONES

Los suelos bajo estudio presentan altas concentraciones de elementos potencialmente tóxicos y microplásticos. Los resultados muestran que la región se encuentra afectada no solo por las actividades mineras históricas, sino también por la actividad agrícola actual. Por lo que hace falta estudiar con más detalle el impacto de estos contaminantes en la salud del ecosistema y humana.

AGRADECIMIENTOS

Dr. Moisés Tejocote Pérez. Coordinador del Centro de Investigación en Ciencias Biológicas Aplicadas. Universidad Autónoma del Estado de México.

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez-Lopeztello, J., Robles, C., del Castillo, R. (2021). Microplastic pollution in neotropical rainforest, savanna, pine plantations, and pasture soils in lowland areas of Oaxaca, Mexico: Preliminary results. Ecological Indicators 121: 107084.

Brito-Castillo, L., Crimmins, M.A., Díaz, S.C. (2010). Clima. In: Molina- Freaner F, Van Devender TR (eds) Diversidad Biológica de Sonora. UNAM/CONABIO, Mexico, pp 73–96

Del Rio-Salas, R., Ayala-Ramírez, Y., Loredo-Portales, R., Romero, F., Molina-Freaner, F. (2019). Mineralogy and Geochemistry of Rural Road Dust and Nearby Mine Tailings: A Case of Ignored Pollution Hazard from an Abandoned Mining Site in Semi-arid Zone. Natural Resources Research 28(4): 1485–1503.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2004). NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece los criterios para la caracterización y determinación de concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio, vanadio y sus compuestos inorgánicos; así como los criterios de remediación. DOF (Diario Oficial de la Federación), México.

EPA (Environmental Protection Agency). (2011). Environmental Protection Act. Soil, Ground Water and Sediment Standards for Use under Part XV.1 Disponible en: https://www.ontario.ca/

Goel, P.K. (2006). Water pollution: causes, effects, and control. 2a. ed. Ed. New age international, USA.

González-Méndez, B., Webster, R., Loredo-Portales, R., Molina-Freaner, F., Djellouli, R. (2022). Distribution of heavy metals polluting the soil near an abandoned mine in Northwestern Mexico. Environmental Earth Sciences 81:176.

Sajjad, M., Huang, Q., Khan, S. (2022). Microplastics in the soil environment: A critical review. Environment, Technology & Innovation, 27: 102408.

Wang, J., Liu, X., Li, Y., Powell, T. (2019). Microplastics as contaminants in the soil environment: A mini review. Sicience of the Total Environment, 691: 848-857.

Zhou. (2021). Microplastics as an emerging threat to plant and soil health in agroecosystems. Science of the Total Environment, 787.

SUELOS EN ESPACIOS VERDES URBANOS, VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES

M. Lourdes González-Arqueros^{1*}; Armando Navarrete-Segueda²; Erna M. López Granados³

¹CONAHCYT-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Ciudad Universitaria, 58030, Morelia, México. *lourdes.gonzalez@umich.mx;

²Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y
Sustentabilidad, Antigua carretera a Pátzcuaro 8701, 58190, Morelia, México; ³Universidad Michoacana de
San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Ciudad Universitaria, 58030,
Morelia, México.

RESUMEN

Los suelos son el soporte de los procesos en los ecosistemas terrestres e impactan sobre los beneficios que reciben las personas y ciudades. Su inclusión en el diagnóstico de los servicios ecosistémicos requiere del conocimiento de sus propiedades y su relación con el paisaje. La variación de las propiedades de los suelos influye sobre los servicios ecosistémicos que pueden suministrar, y estos son diferentes en función del tipo de espacio verde. La variación en la magnitud de los servicios ecosistémicos suministrados por los suelos es clave para el crecimiento sostenible de las ciudades y la mitigación del cambio climático a escala urbana. En este proyecto se aborda la creación y aplicación de un marco metodológico para el diagnóstico de las propiedades de los suelos. Los resultados mostraron similitudes entre propiedades del suelo de: i) bosques; ii) áreas institucionales privadas, *levees* y camellones; y iii) parques; sin diferenciación entre clases de espacios verdes urbanos o periurbanos. Esta información es clave con el fin de diseñar experimentos en áreas problemáticas para el análisis de la variación de los suministros de servicios ecosistémicos de acuerdo con la variación de la calidad de los suelos.

PALABRAS CLAVE: Carbono orgánico del suelo; Ciudades sostenibles; Densidad aparente; Funciones de los suelos; Servicios ecosistémicos.

INTRODUCCIÓN

Los suelos son el soporte de los procesos en los ecosistemas terrestres e impactan directamente sobre los beneficios que reciben las personas y la sostenibilidad de las ciudades. En las ciudades los suelos se concentran en los espacios verdes urbanos (EVU) y periurbanos (EVPU) y desempeñan funciones que dependen de las propiedades de los suelos y del tipo de espacio verde, es decir, de las características, el uso y el manejo de estos (Delibas *et al.*, 2021). Estas funciones se vinculan a servicios ecosistémicos (SE) que repercuten en los socioecosistemas urbanos. Por esta razón, los suelos gestionados adecuadamente promueven el crecimiento sostenible de las ciudades y la mitigación del cambio climático a escala urbana; por un lado, porque son los que directamente están generando los SE, y por otro, porque son los que más rápido responden a los impactos en el manejo del suelo y/o cambio climático (Gómez-Baggethun y Barton, 2013).

Si bien la urbanización tiende a homogeneizar los espacios verdes (EV) en las ciudades, cada uno de estos presenta características específicas de uso de suelo, cobertura vegetal y manejo que derivan en una tipología (camellones, jardines). Por lo tanto, este

trabajo plantea que cada tipo de EV agrupa factores que influyen sobre la evolución de los suelos y sus propiedades, de esta forma se pueden encontrar relaciones entre los EVU y EVPU con las propiedades de los suelos. El principal objetivo de este trabajo fue crear y aplicar un marco metodológico con el cual evaluar y analizar las propiedades de los suelos basado en las características de los diferentes tipos de EV de una ciudad de tamaño intermedio, a lo largo del socioecosistema urbano y periurbano.

MATERIALES Y MÉTODOS

La ciudad de Morelia (Figura 1A) se localiza en el estado de Michoacán a una altitud de 1920 msnm. Cuenta con una superficie de 119,349.70 ha y una población de 849,053 habitantes. Las principales actividades productivas de la ciudad son comercio, agricultura, crianza de animales, aprovechamiento forestal, servicios inmobiliarios y alquiler de bienes inmuebles. El clima es templado subhúmedo, la precipitación promedio anual es de 796.4 mm y la temperatura promedio es de 16° C.

Los EV (Figura 1B) se dividieron en dos clases: urbanos (EVU) delimitados dentro del perímetro urbano definido por INEGI (2019); y periurbanos (EVPU) delimitados bajo criterios medioambientales mediante un buffer de 7 km del perímetro urbano. Se clasificaron en 11 tipos de EV: agrícola, bosque eucalipto, bosque pino, bosque pinoencino, camellón, institucional, institucional-privado, levee, parque periurbano y parque urbano. Los suelos se muestrearon a partir de 24 transectos de 50 metros, donde se realizaron calicatas de 30 cm de profundidad o hasta roca/material duro. Los transectos se dividieron cada 10 m, donde se tomaron seis submuestras para conformar una muestra perturbada compuesta por transecto, y seis muestras en cilindros. En total se recolectaron 96 muestras compuestas. En campo se describió el número de raíces, profundidad de raíces y estructura del suelo.

Se analizaron el porcentaje de fragmentos gruesos (FG), color en húmedo , humedad mediante secado a 105 °C durante 24 h, densidad aparente (DA) mediante el método del cilindro, pH en agua con un conductímetro *Hanna* modelo HI 9812-5, carbono orgánico (CO) mediante el método Walkley y Black (1934), y textura con el método Bouyoucos (1962). Se aplicó un análisis factorial de datos mixtos como una técnica de análisis multivariante que permitió explorar la relación entre los tipos de EV (datos categóricos) y las propiedades fisicoquímicas de los suelos (cuantitativos) respetando la naturaleza de los datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se puso a prueba una metodología específica, novedosa y que pueda ser ajustada a cada tipo de ciudad, para lo cual fue imprescindible contar con un número de muestras representativo que permitiera la discusión de las diferencias o similitudes entre las propiedades de los suelos de los distintos EV.

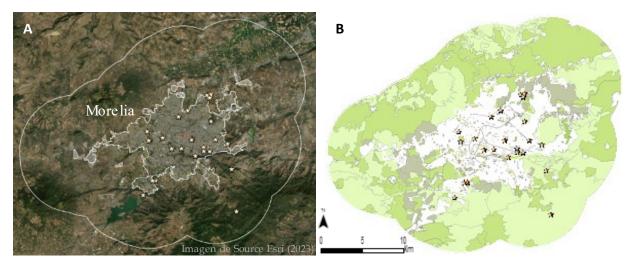


Figura 1. A) Límite urbano (línea blanca interior) límite periurbano (línea blanca exterior) de la ciudad de Morelia. B) EVU y EVPU (polígonos de tonos vedes). Los transectos muestreados se representan mediante los símbolos.

Los *levees*, las áreas institucionales y los camellones presentaron mayores porcentajes de FG. Los *levees*, zonas agrícolas y camellones presentaron mayores porcentajes de CO. Las zonas agrícolas presentaron DA alta. En todos los espacios el pH osciló entre ligeramente ácido y neutro y las texturas fueron arcillosas. El análisis multivariado mostró que existe relación entre los tipos de EV en general (Figura 2A) y entre las clases de EV y EVPU, en lo particular (Figura 2B). Se agruparon los EV ocupados por bosques de eucalipto, pino y pino-encino, lo cual indicó que, a pesar de la distinta vegetación, el manejo natural del área propició que se presenten suelos con propiedades similares. También, se agruparon los espacios verdes ocupados por camellón, institucional privado y *levee*.

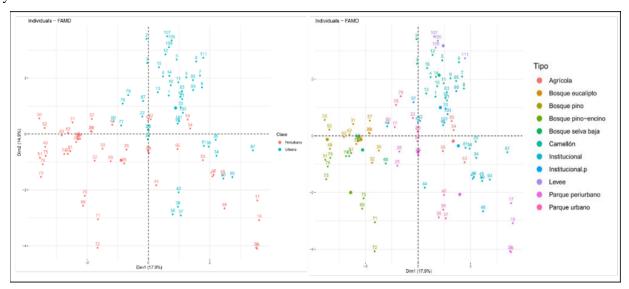


Figura 2. Biplot del análisis factorial de datos mixtos. Se muestran los sitios con base en A) urbano y periurbano y, B) tipología de los EV.

Los camellones y el *levee* a pesar de tener un manejo diferente, presentaron suelos similares debido al uso y tránsito habitual de la población. Los suelos mostraron compactación (DA más altas que otros espacios). Los EV institucionales no se agruparon debido a que se encuentran bajo diferentes manejos, determinados por cada institución, lo que propició que los suelos no presentaran propiedades similares. Los parques urbanos y periurbanos también mostraron suelos similares.

CONCLUSIONES

La metodología empleada es eficaz para el análisis y evaluación de las propiedades de los suelos en función de los tipos de espacios verdes urbanos y periurbanos, y adaptable a otras ciudades de México. Es necesario adaptar la tipología y la agrupación de EV en función de cada ciudad. En el caso de Morelia, las principales similitudes entre suelos se dan en: i) bosques; ii) áreas institucionales privadas, *levees* y camellones; y iii) parques, sin diferenciación entre clases de espacios verdes urbanos y periurbanos.

La información generada es clave con el fin de diseñar experimentos en áreas problemáticas para el análisis de la variación de los suministros de servicios ecosistémicos de acuerdo con la variación de la calidad del suelo. Así como, modelar espacial y temporalmente los servicios ecosistémicos de acuerdo con cambios en la erosión del suelo, manejo y cambio climático.

AGRADECIMIENTOS

A. Navarrete-Segueda agradece el apoyo recibido del CONAHCYT por la beca Estancias Posdoctorales por México-Académica 2022 (1). Este trabajo ha sido apoyado por el programa DGAPA-PAPIIT (UNAM) (Proyecto IN213922).

BIBLIOGRAFÍA

Bouyoucos, G.J. (1962). Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analysis of Soils. Agronomy Journal 54: 464–465

Delibas, M., Tezer, A., Kuzniecow Bacchin, T. (2021). Towards embedding soil ecosystem services in spatial planning. Cities 113: 103150. DOI: 10.1016/j.cities.2021.103150

Gómez-Baggethun, E., Barton, D.N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. Ecological Economics 86: 235–245. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2012.08.019

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2019). Conjunto de datos vectoriales de información topográfica escala 1:50 000. Carta E14A23.

Walkley, A., Black, A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29–38

TRASLOCACIÓN DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS (EPT'S) A ESPECIES VEGETALES EN UNA ZONA MINERA

Mariana Yedra Utrera1*; Luis Gerardo Martínez Jardines2; Francisco Martín Romero2

¹Facultad de Química, Circuito Escolar S/N, Coyoacán, Cd. Universitaria, 04510 Ciudad de México, México, *315044283@quimica.unam.mx; ²Instituto de Geología, Avenida Universidad 3000, Coyoacán, Cd. Universitaria, 04510 Ciudad de México, México.

RESUMEN

Actualmente, la fitorremediación es uno de los procesos de remediación de suelos más recomendados para el medio ambiente. En este estudio se evaluó la capacidad de fitorremediación de Elementos Potencialmente Tóxicos en seis especies de plantas procedentes de una presa de jales. Al analizar las muestras de plantas mediante espectrometría de emisión atómica, posterior a una digestión ácida asistida por microondas y fluorescencia de Rayos X, se obtuvo el Factor de Bioconcentración y el Factor de Bioacumulación, donde ambos fueron menores a 1, lo que indica que la mayoría de los metales están estabilizados en los jales. Sin embargo, al obtener el factor de traslocación se encontró que el proceso de fitorremediación llevado a cabo en las seis especies de plantas es la fitoextracción, donde el álamo fue la especie potencialmente adecuada para una fitorremediación del sitio contaminado. Por último, se compararon las técnicas de fluorescencia de Rayos X y espectrometría de emisión atómica. Ambas técnicas obtuvieron resultados estadísticamente iguales, a excepción de los analitos con concentraciones menores o cercanas a los límites de detección, o donde la relación señalconcentración deja de ser lineal, para estos casos, fluorescencia de Rayos X funcionó como una técnica semicuantitativa.

PALABRAS CLAVE: Biodisponibilidad; Fitoestabilización; Fitoextracción; Fitorremediación; Jales.

INTRODUCCIÓN

La contaminación de suelos mineros con alta concentración de metales pesados ha sido un problema preocupante por la alta toxicidad para la flora y fauna. En México, el 64% de las emisiones tóxicas corresponde a la contaminación de suelos causada por residuos mineros, estos desechos contienen Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT's), los cuales causan severos daños a los organismos y terminan siendo una amenaza para la salud humana y el ambiente. Algunos ejemplos de EPT's son: arsénico (As), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plomo (Pb), antimonio (Sb), selenio (Se), estaño (Sn), vanadio (V) y zinc (Zn) (González *et al.*, 2017). Según la NOM-141-SEMARNAT-2003, estos residuos mineros sólidos generados por la separación y concentración de minerales son conocidos como jales, los cuales se van almacenando en una presa y ésta termina siendo un sitio contaminado en donde se busca estabilizar los EPT's para minimizar el riesgo al entorno, ya que los suelos aledaños a las presas son afectados por la dispersión de estos residuos.

Debido a esta problemática ambiental se han buscado procesos de remediación, sin embargo, algunos métodos no son eficientes remediando y tampoco son económicos (Abdin *et al.*, 2020). Por ende, una alternativa más sustentable, económica, no invasiva y eficiente es la fitorremediación (González *et al.*, 2017). Este es un método biológico en el cual se utilizan plantas para disminuir la movilidad de los EPT's en las raíces (fitoestabilización) o extraerlos en las hojas (fitoextracción) (González *et al.*, 2017).

En el caso de la fitoextracción se debe determinar la concentración de los EPT's en la raíz, hojas y suelo para calcular tres factores de bioacumulación: 1) actor de Bioacumulación (FBA), 2) Factor de Bioconcentración (FBC) (Niu *et al.*, 2022) y 3) Factor de Traslocación (FT); estos factores estiman el potencial de fitoextracción y fitoestabilización de una planta (Rafati *et al.*, 2011). Si el FT < 1 la planta es exclusora, en cambio, si el FT > 1, la planta es acumuladora (González *et al.*, 2017). En el caso de la fitoestabilización, las plantas pueden absorber y precipitar los EPT's, por lo tanto, disminuye su biodisponibilidad y el riesgo a la exposición ambiental mediante la propagación de estos al subsuelo, aguas subterráneas y por la erosión de los organismos geológicos.

Una planta puede traslocar metales cuando están biodisponibles en el suelo y este puede tenerlos en tres formas distintas, donde las primeras dos son las formas reactivas, biodisponibles y tóxicas para el medio ambiente: a) Iones disueltos y complejos orgánicos; b) Iones intercambiables; y c) Co-precipitados, las cuales dependen de varios factores, como el pH del suelo, potencial redox, contenido de arcilla, contenido de óxidos de Fe y/o Mn, contenido de materia orgánica y la presencia de otros aniones y cationes en disolución (Liu *et al.*, 2018).

En este estudio se caracterizaron muestras de jal y se evaluó la capacidad de traslocación de EPT's en seis especies de plantas mediante un proceso biológico conocido como fitorremediación para recuperar la calidad de un suelo contaminado y restaurar las condiciones ambientales del sitio. Para ello, las muestras se analizaron por medio de espectrometría de emisión atómica (ICP-OES) y fluorescencia de Rayos X (FRX), y se hizo una comparación de los resultados obtenidos para ambas técnicas. Estos resultados serán útiles para definir si ocurren procesos de fitoextracción, fitoestabilización o ambos en las plantas y también para determinar cuál es la especie potencialmente adecuada para una fitorremediación de suelos contaminados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó desde agosto del 2022 hasta la fecha, y para ello se recolectaron 29 muestras de jal y 123 plantas en una presa de jales de una mina en el norte de México. Para el muestreo se consideraron 29 puntos, ya que algunas zonas se encontraron inundadas. En cada punto de muestreo se recolectaron dos ejemplares de cada especie y también se tomó una muestra de jal.

Las 29 muestras de jales se secaron en una estufa Binder a 50 °C, se disgregaron y se cuartearon para tomar dos partes: la primera se tamizó con malla 10 (2 mm de tamaño de poro) (Heredia *et al.*, 2022) y la segunda se molió en un pulverizador *Fritsch Pulverisette* 9.

Las 123 plantas se enjuagaron con agua corriente, se cortaron en raíces, troncos y hojas, y se cuartearon para su lavado con EDTA 0.1 M a pH 11 (quelante de cationes divalentes). Posteriormente, se secaron en la estufa, se trituraron en un molino y se pulverizaron (Heredia *et al.*, 2022).

Para conocer la concentración total de EPT´s en las muestras de jal, se utilizó una pistola portátil de fluorescencia de rayos X (FRX) *Thermo scientific Niton* XL3t. Para conocer la concentración de metales solubles, se realizó el análisis de geodisponibilidad, para lo cual se pesaron cinco gramos de cada muestra con una balanza *OHAUS Scout pro* y se agregaron 100 mL de agua en equilibrio con dióxido de carbono (CO₂); posteriormente, las muestras se dejaron agitando durante 18 h en un agitador orbital *Thermo Scientific* a 200 rpm, se filtraron, se les agregaron dos gotas de ácido nítrico (HNO₃) concentrado y se analizaron por ICP-OES mediante un espectrofotómetro de emisión óptica *Agilent Technologies* 5100.

Para conocer la concentración total de metales en cada parte de la planta (raíz, tronco y hoja) se utilizaron dos técnicas analíticas. En la primera se utilizó el equipo portátil de FRX. Para esta técnica se analizaron 19 ejemplares de sauces, 28 de pinos salados, cinco de álamos, seis de juncos, ocho de pastos y cuatro de espinacas. En la segunda técnica se hicieron digestiones ácidas para tres ejemplares de pino salado, tres de sauce llorón y cuatro de álamo. Para la predigestión se pesaron 0.4 g de cada muestra y se les agregó tres mL de H₂O₂ al 30% y 7 mL de HNO₃ al 70%. Para la digestión ácida se utilizó un horno de microondas *Ethos Easy Milestone* y las muestras se digirieron a 200 °C por 15 minutos. Posteriormente, se filtraron con papel filtro cuantitativo *Whatman* grado 40 y se aforaron a 50 mL para su posterior análisis mediante ICP-OES. Con los resultados obtenidos en ambas técnicas se calculó la media, mediana y desviación estándar de las concentraciones obtenidas organizadas por especie, el FT, FBA, FBC, y se compararon estadísticamente estos resultados mediante una prueba de hipótesis y una t de *student*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cuanto a los resultados de FRX y geodisponibilidad para las muestras de jal, se encontraron altas concentraciones totales de Fe, Mn y Ca (Cuadro 1), los cuales son elementos esenciales para las plantas, y de ellos, solo Mn es EPT. El Zn, Cu y V tienen concentraciones más bajas que los anteriores, sin embargo, el Ca resultó estar más biodisponible para la planta por ser un macronutriente. Los EPT's que tuvieron las concentraciones totales más bajas fueron Mo, Pb y As y sus concentraciones solubles también fueron muy bajas, por lo que la biodisponibilidad es muy baja y también el riesgo de toxicidad.

De acuerdo con la media, hay altas concentraciones medidas con XRF de Fe, Mn y Ca en las hojas de sauce llorón, álamo, junco y la espinaca. En los pinos salados solo se obtuvieron concentraciones altas de Ca. En los pastos hay altas concentraciones de Fe, Mn y Ca en las raíces. La desviación estándar fue muy alta y más aún cuando se trata de las hojas.

Para la mediana, los valores son ligeramente parecidos a la media; sin embargo, estos resultados solo son para estimar de manera general las concentraciones de la población de cada especie analizada, ya que las plantas crecieron en diferentes condiciones ambientales. Para el FT, el sauce llorón es acumulador de Zn, Fe, Mn, Cr y Ca y exclusor de Cu; el pino salado y el álamo son acumuladores de Cu, Zn, Fe, Mn, Cr y Ca; el junco es acumulador de Mo, Cu, Fe, Mn, Cr y Ca, y exclusor de Zn; y la espinaca es acumuladora de Mo, Cu, Fe, Mn y Ca, y exclusora de Zn. No se reportan datos para Pb, As y Cd porque el instrumento no los detectó. De acuerdo con lo reportado en investigaciones previas, solo el pino salado, el sauce y el álamo, cumplieron con ser acumuladoras o exclusoras de por lo menos un metal. Metales como Mo, Ca, Fe y Mn no son tan estudiados en todas las plantas por ser nutrientes esenciales para ellas, por lo tanto, no se encontraron datos para poder comparar. La mayoría de las especies presentaron un FBC y FBA menores a uno, ya que las concentraciones solubles en el suelo son muy bajas.

De acuerdo con la media, mediana y desviación estándar de las concentraciones de cada especie analizada por ICP-OES, solo el sauce llorón presentó altas concentraciones de Mn y Ca. Para las otras especies solo se presentaron altas concentraciones de Ca, por lo tanto, la técnica de FRX sobreestimó las concentraciones. Sin embargo, a pesar de que los límites de detección de ICP-OES son más bajos que FRX, también se obtuvieron concentraciones de Cr y Mo cerca o por debajo de éstos. Los resultados obtenidos del FT por medio del análisis de ICP-OES y con el análisis de FRX se observan con la misma tendencia para el sauce llorón, el pino salado y el álamo. Sin embargo, estas relaciones también son más altas en FRX para Fe y Mn. La mejor planta fitoextractora fue el álamo, ya que el FT fue el más alto para la mayoría de los metales. En el caso de los FBC y FBA por medio del análisis de ICP-OES se observó la misma tendencia para Mo, Cu y Fe, Zn, Mn y Ca.

En las pruebas estadísticas, FRX funcionó como una técnica cuantitativa en especies vegetales, con la limitante de que es semicuantitativa para elementos con concentraciones cercanas a los límites de detección y para concentraciones demasiado altas, en donde la relación entre la señal y la concentración deja de ser lineal.

Metal	Concentración total (mg/kg)	Concentración soluble (mg/kg)	% Metal soluble
Mo	21.55	0.02	1.76
Pb	77.40	0.0079	0.21
As	23.46	0.0098	1.01
Zn	167.72	1.62	19.65
Cu	422.79	1.51	6.17
Fe	25 051.72	0.32	0.02
Mn	1 028.77	9.08	17.69
V	164.91	0.0015	0.02
Ca	6 385.01	97.10	38.66

Cuadro 1. Promedios de los resultados de FRX y Geodisponibilidad.

CONCLUSIONES

De acuerdo con la capacidad de las seis especies de plantas para fitorremediar un suelo contaminado por Elementos Potencialmente Tóxicos, el proceso que se lleva a cabo es la fitoextracción. La especie de planta potencialmente adecuada para una fitorremediación de suelos contaminados, de acuerdo con su factor de traslocación, es el álamo. Al comparar la técnica de fluorescencia de rayos X con espectrometría de emisión atómica en especies vegetales, los resultados son estadísticamente iguales, sin embargo, ambas técnicas difieren cuando las concentraciones de los analitos son menores o cercanas a los límites de detección o donde la relación señal-concentración deja de ser lineal. Para estos casos, fluorescencia de rayos X funciona como una técnica semicuantitativa.

BIBLIOGRAFÍA

Abdin, Y., Usman, A., Ok, Y. S., Tsang, Y. F., Al-Wabel, M. (2020). Competitive sorption and availability of coexisting heavy metals in mining-contaminated soil: Contrasting effects of mesquite and fishbone biochars. Environmental Research, 181, 108846.

González, M. C. A., Carrillo, R., Sánchez, A. S. (2017). Definiciones y problemática en la investigación científica en aspectos de fitoremediación de suelos. AGROPRODUCTIVIDAD, 10, 3–7.

González, M. C. A., Carrillo, R., Sánchez, A. S., Ruiz, A. (2017). Alternativas de fitorremediación de sitios contaminados con elementos potencialmente tóxicos. AGROPRODUCTIVIDAD, 10, 8–14.

Heredia, B., Tapia, R., Young, B. J., Hasuoka, P., Pacheco, P., Roqueiro, G. (2022). Phytoextraction of Cu, Cd, Zn and As in four shrubs and trees growing on soil contaminated with mining waste. Chemosphere, 308, 136146.

Liu, L., Li, W., Song, W., Guo, M. (2018). Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: Principles and applicability. Science of The Total Environment, 633, 206-219. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.161

Rafati, M., Khorasani, N., Moattar, F., Shirvany, A., Moraghebi, F., Hosseinzadeh, S. (2011). Phytoremediation Potential of Populus Alba and Morus alba for Cadmium, Chromuim and Nickel Absorption from Polluted Soil. International Journal of Environmental Research, 5(4), 961-970. https://doi.org/10.22059/ijer.2011.453

Niu, X., Jia, Y., Wu, X., Wang, S., Hou, J., Zhang, W. (2022). Phytoremediation potential of indigenous plants growing in soils affected by mine activities in Gejiu City, Yunnan Province. International Journal of Phytoremediation, 1–9.

NOM-141-SEMARNAT-2003. (2004). 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.

NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. (2007). 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.

VARIABILIDAD ESTACIONAL DE FLUJOS DE DIÓXIDO DE CARBONO, VAPOR DE AGUA Y ENERGÍA EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA

Elí Rafael Pérez Ruiz ¹; Felipe Adrián Vázquez Gálvez ¹; Yazmin Guadalupe Hernández García ¹; Edith Flores Tavizón ¹; Abraham Ortínez Álvarez ²

¹Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Av. del Charro no. 450 Nte. Col. Partido Romero CP 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua; ²Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Blvd. Adolfo Ruíz Cortines 4209, Jardines en la Montaña, 14210, Coyoacán, Ciudad de México.

RESUMEN

Cambios antropogénicos a la superficie terrestre pueden provocar alteraciones en el intercambio de materia y energía entre la superficie y la atmósfera, por lo que entender su dinámica en las ciudades es fundamental. En este estudio se analizó la estacionalidad de los flujos de dióxido de carbono, vapor de agua y energía (calor sensible) en Ciudad Juárez, Chihuahua. Adicionalmente, se buscó establecer los factores biofísicos y/o antropogénicos que controlan los flujos. Se midieron flujos de dióxido de carbono, vapor de agua y calor sensible durante 2020-2021. Se analizaron los ciclos diurnos anuales y estacionales durante el periodo de estudio. Durante la estación fría, valores elevados de flujos de dióxido de carbono y valores bajos de vapor de agua y calor sensible se observaron, lo que coincide con períodos de alto uso de combustible para calefacción y vegetación inactiva. En contraste, durante la estación calurosa, valores altos de flujos de dióxido de carbono y vapor de agua se observaron coincidiendo con la actividad de la vegetación. El rol de la actividad antropogénica y la dinámica de la vegetación es claro en los flujos, sin embargo, es necesario entender como los procesos de respiración y evaporación del suelo contribuyen a los intercambios de materia y energía. De igual manera, es necesaria una clasificación del uso de suelo dentro del área de influencia de los flujos debido a la alta heterogeneidad de los sitios urbanos.

PALABRAS CLAVE: Atmósfera; Covarianza de vórtices; Flujos superficie; Zonas urbanas.

INTRODUCCIÓN

Cambios en las condiciones originales del suelo debido a actividades antropogénicas pueden generar afectaciones en las interacciones superficie-atmósfera (Velasco y Roth, 2010; Bergeron y Strachan, 2011). Materiales más impermeables y con elevada conducción térmica, así como la disminución de vegetación, pueden alterar significativamente el balance de materia y energía entre la superficie y la atmósfera (Pérez -Ruiz *et al.*, 2020). En los ecosistemas naturales, dichos flujos son dominados por la fotosíntesis y la respiración, mientras que en ecosistemas urbanos esto es una combinación del metabolismo natural y urbano. En las ciudades, la presencia de fuentes adicionales de gases, agua y calor genera un desbalance que se traduce generalmente en una fuente neta de emisiones (Velasco *et al.*, 2013, 2016).

Durante las últimas décadas se han incrementado el número de estudios tratando de comprender el comportamiento de las interacciones entre la superficie y la atmósfera en paisajes urbanos (Velasco $et\ al.$, 2016). En particular, hay un énfasis en la determinación de fuentes y sumideros de materia y energía, así como elucidar los elementos naturales y del ambiente construido que dominan la dinámica de los flujos de materia y energía. En este estudio se presentan resultados de mediciones de flujos de dióxido de carbono (FC), vapor de agua (λ ET) y calor sensible (H) en un campus universitario de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un campus universitario de la UACJ en Ciudad Juárez, Chihuahua, a través de la medición de flujos superficie-atmósfera (Figura 1). El sitio se puede clasificar como una zona climática local tipo 6, abierta de tamaño mediano (Stewart y Oke, 2012), compuesta por edificios de máximo tres pisos, estacionamientos, zonas peatonales, vegetación esparcida; y edificios de máximo tres pisos, rodeado de maquiladores, zonas residenciales y de esparcimiento, además de calles de tráfico mediano a alto, con suelo predominantemente Solonchak de textura media.

Obtención y procesamiento de datos

Se utilizó la técnica de covarianza de vórtices (EC) para medir los flujos durante el periodo 2020-2021. El sistema EC consiste en un analizador de gases infrarrojo LI-7500 para la medición de concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua, y un anemómetro sónico tridimensional CSAT-3 para medir velocidad y dirección del viento en sus tres componentes espaciales, así como temperatura del aire. Los instrumentos se encuentran instalados a una altura total de 21.3 m. Se recolectaron datos de alta frecuencia (10 mediciones por segundo de 10 Hz) y se promediaron cada 30 minutos mediante el uso del software EddyPro~7.0.6. Datos espurios fueron descartados mediante un control de calidad. Se obtuvieron valores diarios y ciclos diurnos de FC, λ ET y H de forma anual y estacional.

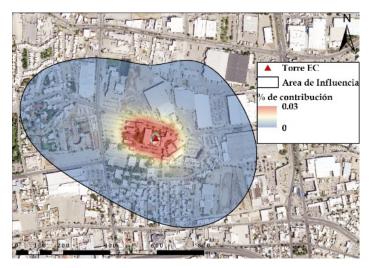


Figura 1. Sistema EC (triángulo rojo) en el sitio de estudio mostrando el área de influencia de flujos (línea negra).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

El comportamiento diurno de FC y λET mostró diferencias considerables entre 2020 y 2021 (Figura 2). Mientras en 2020 tenemos valores positivos más altos de FC (emisión); durante 2021 podemos ver una disminución considerable, sobre todo alrededor de mediodía, coincidiendo con la máxima actividad de la vegetación. Se pueden observar también picos de emisión coincidiendo con las horas pico de tráfico. Una situación similar se observa para λΕΤ, con valores más bajos durante 2020 con respecto a 2021. Esta diferencia puede ser explicada principalmente debido a la disminución de la actividad antropogénica alrededor del sitio de monitoreo durante la pandemia de COVID-19, así como una disminución de la irrigación y el uso de agua en al campus. El flujo de calor sensible no se vio afectado considerablemente.

Cuando observamos la variabilidad estacional de los ciclos diurnos de los flujos se pueden elucidar diferencias más claras en el comportamiento de estos (Figura 3). Por ejemplo, para FC, se observan diferencias más grandes en los flujos, especialmente durante el día, con valores mayores de emisión durante invierno y otoño de 2020 y una mayor captura de carbono durante la primavera y verano de 2021. De igual manera, se pueden notar patrones distintos diferenciados entre invierno-otoño y primavera-verano, con clara influencia de la vegetación. λΕΤ mostró valores menores durante todas las estaciones de 2020, en particular, por una disminución de la irrigación que restringió la cantidad de humedad en el suelo y su consecuente evapotranspiración. Valores mayores pueden ser observados durante la primavera y verano de 2021, periodo en que las actividades del campus, y la irrigación regresaron a la normalidad. Finalmente, el flujo de calor latente, el cual no está fuertemente influenciado por la actividad de la vegetacion, la humedad del suelo y el metabolismo urbano, no mostro cambios significativos en su comportamiento entre 2020 y 2021 a pesar de la pandemia.

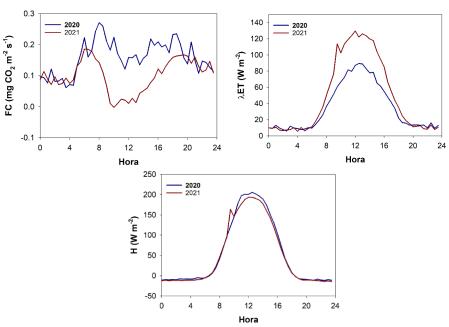


Figura 2. Ciclos diurnos de FC, λET y H para los años 2020 y 2021.

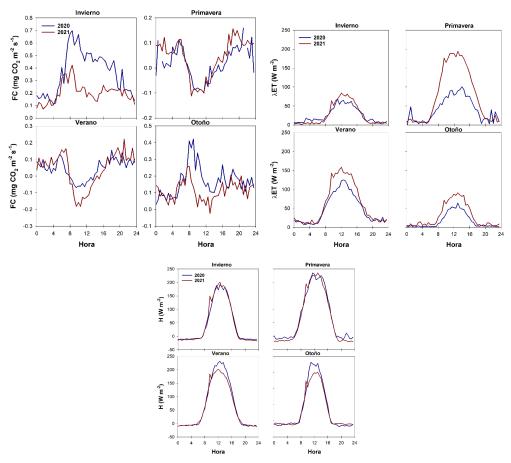


Figura 3. Ciclos diurnos de FC, λΕΤ y H para las estaciones del año durante 2020 y 2021.

CONCLUSIONES

La medición de flujos superficie-atmósfera en ecosistemas urbanos es fundamental para la comprensión de las fuentes y factores que controlan la dinámica de flujos de dióxido de carbono, vapor de agua y calor sensible. La alta heterogeneidad de estos sistemas requiere una caracterización más precisa del área de influencia de los flujos. Aun así, es posible elucidar algunos mecanismos de control. Por ejemplo, los datos muestran claramente que, durante la primavera y el verano, la vegetación y la humedad del suelo juegan un papel importante regulando los flujos de dióxido de carbono y vapor de agua, en particular durante mediodía. Sin embargo, picos de emisiones de flujos de dióxido de carbono coinciden con horas pico de tráfico. Mientras los flujos de materia se vieron fuertemente afectados por la disminución de la actividad antropogénica durante la pandemia de COVID-19, el flujo de calor sensible no mostró cambios significativos a pesar del aislamiento.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático a través del convenio UACJ/AG/CV-4/2016 con la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

BIBLIOGRAFÍA

Bergeron, O., Strachan, I. B. (2011). CO₂ sources and sinks in urban and suburban areas of a northern midlatitude city. Atmospheric Environment, 45(8), 1564-1573.

Stewart, I. D., Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. Bulletin of the American Meteorological Society, 93(12), 1879-1900.

Velasco, E., Roth, M., Tan, S. H., Quak, M., Nabarro, S. D. A., Norford, L. (2013). The role of vegetation in the CO 2 flux from a tropical urban neighbourhood. Atmospheric Chemistry and Physics, 13(20), 10185-10202.

Velasco, E., Roth, M. (2010). Cities as net sources of CO2: Review of atmospheric CO2 exchange in urban environments measured by eddy covariance technique. Geography Compass. 2010; 4(9): 1238–1259.

Velasco, E., Roth, M., Norford, L., Molina, L.T. (2016). Does urban vegetation enhance carbon sequestration? Landscape and Urban Planning.; 148: 99–107.

VALORACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA REPRODUCCIÓN DE PLANTAS EN VIVERO, LA COLABORACIÓN UNAM - CORENARD

<u>Lucy Mora Palomino</u>¹; Thalita Fernanda Abbruzzini¹; Luisa Tinoco¹; Miguel Ángel Delgado Reyes²; Blanca Lucía Prado Pano¹ y Rocío Alcantara¹

¹Instituto de Geología, Departamento de Ciencias Ambientales y del Suelo, Laboratorio de Edafología Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, C.P. 04510, México; ²Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (CORENADR), Avenida Año de Juárez 9700 colonia Quirino Mendoza, Alcaldía Xochimilco, C.P. 16710, Ciudad de México, México.

RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados de la valoración de los residuos sólidos urbanos como potencial de uso en la reproducción de especies forestales, en el contexto de la colaboración entre la UNAM y la CORENADR. El objetivo fue identificar el tipo de mezclas, el manejo y las especies sensibles a las propiedades de Tecnosoles, para uso alternativo al *peat moss* en la reproducción de plantas en vivero. El trabajo consistió en dos etapas. En la primera etapa se identificó las mezclas con mejores condiciones de reproducción de cinco especies forestales Dodonaea viscosa, Pinus hartwegii, Fraxinus uhdei, Prunus serotina y Salix bonplandiana. Y en la segunda etapa se manejaron propiedades físicas y fertilización para acondicionar la mejor mezcla identificada, se sembraron cinco especies de árboles de uso urbano. En la primera etapa, el desempeño de dos especies F. uhdei y S. bonplandiana fueron menos sensibles al tipo de sustrato, y las mezclas con mejor desempeño fueron concreto + residuos de poda + compost, y excavación + residuo de poda + compost. En la segunda etapa, las especies F. uhdei, E. japonica y S. bonplandiana en concreto + residuo de poda + compost fueron las menos sensibles al tipo de sustrato sin uso de fertilización. Este trabajo muestra la selección de mezcla usando Tecnosoles con RSU e identifica las especies poco sensibles como buena oportunidad de valorización de los RSU frente al uso de *peat moss* en los viveros para la reproducción masiva de plantas destinadas a la y revegetación en la CDMX.

PALABRAS CLAVE: Residuos sólidos urbanos; Reproducción forestal; Tecnosuelos.

INTRODUCCIÓN

El sellamiento de los suelos urbanos aumenta en la misma proporción del crecimiento de las ciudades y en este sentido el reverdecimiento urbano cada vez es más importante en las prioridades de ciudades sostenibles. Por otro lado, el manejo de los residuos es otro reto en las urbes. La ciudad de México en el 2002 concentró una población de 9.2 millones de habitantes (INEGI 2002) y la generación de los residuos sólidos urbanos (RSU) entre 2012-2023 fue de 4,407,860 t/año, de los cuales el 41. 5% son residuos orgánicos y 58.5 % Inorgánicos (SEDEMA 2021). En México, los trabajos de Flores (2017), Lomelí (2018), Kowalke (2019) proponen que los RSU tienen un potencial uso para la producción de diferentes especies vegetales a partir de la construcción de Tecnosoles. En vivero estos materiales se han considerado, pero no se cuenta con estándares de reproducción para la producción masiva de plantas, por lo que es necesario identificar el tipo de mezcla y las

condiciones de manejo de los residuos. Este trabajo presenta los resultados de la valoración de diferentes mezclas de RSU en Tecnosoles para la producción de especies arbóreas y su manejo. Además, muestra los esfuerzos entre la academia (UNAM) y las entidades públicas para atender un problema urbano.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experimentación se llevó a cabo en los viveros de la CORENADR, en la Alcaldía de Xochimilco, Ciudad de México (CDMX), a partir de dos etapas experimentales. En la primera etapa se realizó la identificación de una mezcla que compitiera con el *peat moss*, considerando el cultivo de las siguientes especies forestales: 1) *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.; 2) *Pinus hartwegii* Lindl.; 3) *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh.; 4) *Prunus serotina* subsp. capuli (Cav.) McVaugh; y 5) *Salix bonplandiana* Kunth, las cuales se sembraron en cinco mezclas de Tecnosoles (T1a al T5a) elaborados a partir de mezclas de RSU (Cuadro 1) y el testigo *peat moss* utilizado para la reproducción masiva de las plantas en el vivero.

Cuadro 1. Composición de los Tecnosoles y sustrato testigo. La mezcla se expresa en porcentaje en volumen (%v/v).

Tratamientos	Desechos de concreto	Desechos de excavación	Residuos de poda	Astillas de madera	Compost	Biocarbón
			%			
M1a	30	-	30	-	40	-
M2a	30	-	-	30	40	-
М3а	-	30	-	30	40	-
M4a	-	30	30	-	40	-
M5a	30	-	-	20	40	10
Testigo			100% peat mos	ss		

En la segunda etapa se manejó la mejor mezcla evaluada de la primera etapa, que fue concreto, residuos de astillas y compost. A partir de la cual se prepararon dos mezclas, una con concreto de tamaños finos (M1b) y otra modificada físicamente con 2 tamaños de partículas (50% fino + 50% grueso) (M2b). Se prepararon cinco tratamientos, los cuales se probaron con y sin fertilización, y el testigo *peat moss*. Se sembraron cinco especies forestales: 1) *Bauhinia variegata*, 2) *Fraxinus udhei*, 3) *Eriobotrya japonica*, 4) *Abies religiosa*, y 5) *Salix bomplandiana*.

Con respecto a los componentes de los sustratos, se utilizaron diferentes RSU, tales como residuos de concreto proporcionados por la empresa Concretos Reciclados, S.A. de C.V.; residuos de poda o *mulch* a partir de residuos gruesos de plantas, troncos y cortezas de las áreas verdes la Alcaldía Xochimilco, y el compost elaborado de residuos de jardinería en la Planta de Compostaje de Ciudad Universitaria. Para la evaluación del desarrollo de las plantas se consideraron el porcentaje de germinación, altura y diámetro de las plantas. Durante los primeros 36 días se evaluó el porcentaje de germinación, posteriormente, se evaluó la altura y diámetro del tallo hasta finalizar cada periodo experimental. Para evaluar la altura de plantas y diámetro de tallo se seleccionaron al azar

cinco plantas de cada unidad experimental. Con este esquema de muestreo, a seis meses y 12 meses, se estimó la biomasa aérea y radicular de cada especie. Al inicio y al final del experimento se analizaron en los Tecnosoles la densidad aparente, densidad real y porosidad, pH, conductividad eléctrica (C.E.), contenidos de carbono orgánico, nitrógeno total y fósforo disponible. Se realizaron análisis de varianza para establecer las diferencias entre tratamientos (Tecnosoles y *peat moss*), además se realizaron pruebas de Tukey (probabilidad del 5 %) para las comparaciones entre tratamientos. Se utilizó el software R (R Core Team, 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El *peat moss* presentó una densidad aparente significativamente más baja (0.20 a 0.40 g cm⁻³) en ambas etapas de los experimentos. En la primera etapa, la mezcla con menor porosidad fue M2a (concreto + madera + compost) mientras que los tratamientos M5a (concreto + madera + compost + biocarbón) y *peat moss* fueron los que tuvieron mayor porosidad (aproximadamente 70%). El aporte de biocarbón en las mezclas vislumbra un potencial para aumentar la porosidad, ya que su estructura porosa aumenta el área superficial específica (Escalante *et al.*, 2016). En la segunda etapa la porosidad identificada en la mezcla M2b tiene diferencias significativas con el tratamiento M1b y el *peat moss*. El pH del *peat moss* fue ácido y difirió significativamente de las todas las mezclas de Tecnosoles, ya que estos presentaron pH alcalinos, variando entre 7.3 (T1 y T4) y 7.9 (T3 y T5). La C.E. no fue diferente en los tratamientos T1, T3 y T4, los cuales fueron mayores al *peat moss* y Tecnosoles T2 y T5. Los contenidos iniciales de carbono orgánico, nitrógeno total y fósforo disponible en el *peat moss* fueron significativamente mayores en comparación a los Tecnosoles (p <0.05) (Cuadros 2 y 3). En las mezclas de la etapa 2, todas las propiedades químicas difirieron con respecto al *peat moss*.

Cuadro 2. Características físicas y química de la Mezclas en la primera etapa.

Mezcla	pH (H ₂ O)	C.E.	C orgánico	N total	P disponible
		μS cm ⁻¹	%_		mg kg-1
M1a	7.3	5073	9.39	0.71	289.5
M2a	7.8	3698	9.44	0.77	570.8
М3а	7.9	5135	8.86	0.71	329.5
M4a	7.3	5925	9.09	0.81	314
M5a	7.9	3507	13.46	0.86	348
Testigo	5.0	2750	37.50	0.90	1035.4

Cuadro 3. Características físicas y química de la Mezclas en la segunda etapa.

Mezcla	pH (H ₂ O)	CE	C orgánico	N total	P disponible
		μS cm-1	%_		mg/kg
M1b	9.55	3250	7.42	0.53	81.44
M 2b	8.63	4565	11.12	0.76	112.64
Testigo	4.46	1593	25.71	0.52	1035.4

Con respecto a la evaluación del crecimiento y desarrollo de las plantas, en la primera etapa se observó que en el *peat moss* la altura y diámetro del tallo de las plantas cultivadas al final del experimento son mayores. No obstante, en las unidades experimentales *F. uhdei* y *S. bonplandiana* son comparables a los observados en el *peat moss*, de la tal forma que estas especies muestran menos sensibilidad al tipo de sustrato (Figura 1 y Figura 2).

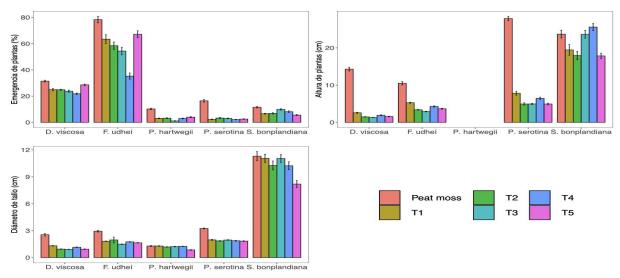


Figura 1. Emergencia, altura y diámetro de tallo de las plantas cultivadas en los tratamientos evaluados (sustrato testigo *peat moss* y Tecnosoles T1 al T5) al inicio del ciclo de cultivo de especies forestales.

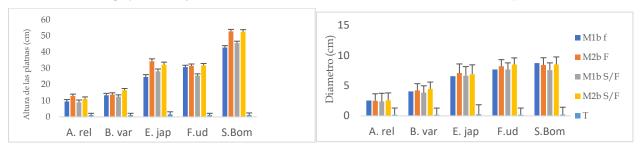


Figura 2. Altura y diámetro de tallo de las plantas cultivadas en los tratamientos evaluados (sustrato testigo *peat moss* y Tecnosoles M1b y M2b) al final cultivo de especies forestales.

En la segunda etapa, la altura y el diámetro la muestra M2b en *E. japonica, uhdei y S. bonplandiana* no muestran diferencias significativas con respecto a testigo o *peat moss*. Por otro lado, en todas las especies no se muestras diferencias significativas por efecto de la fertilización en ambas mezclas, mostrando que, a excepción del *A. religiosa*, las plantas no son sensibles al tipo de sustrato, así como a la fertilización. El *A. religiosa* fue la especie que mostro menor crecimiento (altura y diámetro), así como biomasa aérea y radicular en las mezclas M1b y M2b, con respecto del *peat moss*; esta especie se identifica como muy sensible a valores de pH mayores a 7. Por lo tanto, es importante identificar las especies que son factibles reproducir en Tecnosoles.

CONCLUSIONES

En la primera etapa el desempeño general de *F. uhdei* y *S. bonplandiana* fue menos sensible al tipo de sustrato en comparación a las demás especies, en las cuales se han

encontrado mayores diferencias entre el tratamiento control y los demás. En la segunda etapa, las especies *F. uhdei*, *E. japonica* y *S. bonplandiana* en la mezcla de concreto + residuo de poda + compost fueron las especies menos sensibles al tipo de sustrato y no requieren fertilización. De esta manera se muestra que una buena selección de mezcla en especies poco sensibles es una buena oportunidad de valorización de los RCD como alternativa al *peat moss* en los programas de reproducción masiva de especies forestales y revegetación en la CDMX.

BIBLIOGRAFÍA

Flores, D.S. (2017). Generación de sustratos como soporte de plantas para áreas verdes urbanas utilizando residuos de construcción. UNAM, México.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2002). Síntesis de resultados. Zona metropolitana de la Ciudad de México: XII Congreso General de Población y Vivienda 2000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. e: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825496579/702825496579_1.pdf

Kowalke, A.L. (2020). Crop performance in green roof substrates made from urban wastes. Institute of Ecology. Technische Universität Berlin.

Lomelí Ramírez, D. (2018). Diseño de sustratos a partir de residuos sólidos urbanos con uso potencial en la construcción de azoteas verdes. UNAM. México.

Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA). (2021). Inventario de residuos sólidos de la Ciudad de México 2021. Secretaría de Medio Ambiente.

La agrícultura será sustentable cuando díseñemos una para cada suelo



Fotografía de Ángeles Gallegos