



Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente

Revista de Divulgación de la
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.



Vol. 2 – Núm. 3 – 2024

ISSN: 2992-8125



¡ Tenemos Sede !



Enseñar la explotación de la tierra,
no la del hombre

**El Departamento de Suelos de la Universidad
Autónoma Chapingo será la sede del
49 Congreso Mexicano de la Ciencia de Suelo**

**¡ Separa la fecha y participa !
Texcoco, Estado de México, México
Octubre de 2025**





Mesa Directiva de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (2023-2025)

Dr. Fabián Fernández-Luqueño Presidente Cinvestav Saltillo	Dra. Dámaris Leopoldina Ojeda Barrios Vicepresidente Universidad Autónoma de Chihuahua	
Dra. Yunuen Tapia Torres Secretaría General UNAM/ENES Morelia	Dra. Dulce Yaahid Flores Rentería Tesorería Investigadora por México-Cinvestav Saltillo	Dr. Bruno Manuel Chávez Vergara Secretaría Técnica UNAM/Instituto de Geología
Dr. Julián Delgadillo Martínez Secretaría de Eventos Nacionales e Internacionales Colegio de Postgraduados	M. C. Miriam Galán Reséndiz Secretaría de Relaciones Públicas Universidad Autónoma Chapingo	M.C. Iris del Carmen Morales Espinoza Subsecretaría de Fomento a la Integración, Promoción y Mercado; UAAAN
Dr. Hermes Pérez Hernández Secretaría de Acción Juvenil Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro	M.C. Ricardo González Zavaleta Secretaría de Promoción de Membresías Universidad Autónoma de Guerrero	Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega Secretaría de Educación y Enseñanza Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Dr. Alonso Méndez López Secretaría de Difusión y Comunicación Social Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro	M.C. Sandra Monserrat Barragán Maravilla Subsecretaría de Creación de Contenido Digital Colegio de Postgraduados	Dr. José Luis García Hernández Secretaría de Gestión de Redes de Innovación Universidad Juárez del Estado de Durango

Comité Editorial de Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente

Editores en Jefe

Dr. Fabián Fernández-Luqueño
Cinvestav Saltillo

Dra. Dámaris Leopoldina Ojeda Barrios
Universidad Autónoma de Chihuahua

Dra. Dulce Yaahid Flores Rentería
Investigadora por México-Cinvestav Saltillo

Editores Adjuntos

Dr. Edgar Vázquez-Núñez
Universidad de Guanajuato

Dr. Hermes Pérez-Hernández
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

M.C. Langen Corlay Chee
Universidad Autónoma Chapingo

Dr. José Rafael Paredes Jácome
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dr. César Roberto Sarabia Castillo

Dra. Dulce Yaahid Flores Rentería
Investigadora por México-Cinvestav Saltillo

Biol. Mariana Tovar-Castañón
UNAM

Dra. Dámaris Leopoldina Ojeda-Barrios
Universidad Autónoma de Chihuahua

Dr. Fernando López-Valdez
CIBA-IPN

Dra. Alma C. Hernández Mondragon
Cinvestav Zacatenco

Dr. Julián Delgadillo Martínez
Colegio de Postgraduados

Dra. Mariana Miranda Arámbula
CIBA-IPN

Dra. Rosalía Castelán Vega
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Dr. Fabián Fernández-Luqueño
Cinvestav Saltillo

Dra. Susana González Morales
Investigadora por México-UAAAN

Dra. Yunuen Tapia Torres
UNAM/ENES Morelia

Editores Asociados

M.C. Nayelli Azucena Sigala Aguilar
Cinvestav Saltillo

M.C. Gabriela Guillén-Cruz
Cinvestav Saltillo

M.C. Andrés Torres-Gómez
Cinvestav Saltillo

M.C. Jessica Elizabeth Martínez-Vázquez
Cinvestav Saltillo

M.C. Oscar Fernández-Fernández
Universidad Autónoma Chapingo

M.C. Sarahi Moya-Cadena
Cinvestav Saltillo

Lic. Naomi Shimizu
UNAM

M.C. Karla Liliana López García
Cinvestav Saltillo

M.C. Rene Juárez Altamirano
Cinvestav Saltillo

M.C. Carmina Gámez Barajas
FES-Zaragoza-UNAM

Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente; Año 2, Número 3, julio 2024 a septiembre 2024, es una publicación trimestral editada por la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (SMCS), Dom. Con. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, Estado de México, Tel. 595-95-21721, <https://smcsmx.org/index.php>, smcsissn@gmail.com, Editor Responsable: Dr. Fabián Fernández Luqueño. Reserva de Derechos 04-2023-110710445600-102, ISSN 2992-8125, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Fabián Fernández Luqueño. Fecha de última actualización, septiembre 30 de 2024.

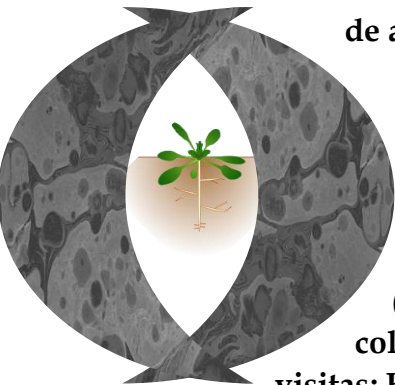
Todos los derechos reservados© 2024 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (SMCS).

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Se autoriza la reproducción total o parcial de la publicación siempre y cuando se cite adecuadamente la fuente.



Editorial

La Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. (SMCS), presenta el Volumen 2, Número 3, 2024, de la revista de divulgación **Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente**. En este número se incluyen 10 contribuciones de un total de 15 manuscritos recibidos. Con este número se cumplen 12 meses de arduo trabajo por parte de los autores, árbitros y editores.



En este primer año, **Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente** ha publicado 61 contribuciones en 450 páginas. Para publicar esas 61 contribuciones se recibieron 81 manuscritos y se requirió la participación de más de 130 árbitros y 150 autores, de más de 30 Universidades o Centros de Investigación. Además, su página web (vocesdelsuelo.org.mx) ha sido visitada más de 12, 500 veces por colegas de 63 países, entre los que destacan México, con el 48% de visitas; Estados Unidos de América con 32% y Australia con 2.3%.

Así, a solo un año de la fundación de la revista, esta se ha ganado un lugar como medio de divulgación y expresión para y desde el público general, incluyendo infantes, jóvenes, profesores, tutores, productores, profesionistas o especialistas.

Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente está cumpliendo con el objetivo de brindar un espacio en el que especialistas, productores o divulgadores comparten sus experiencias, enfoques y perspectivas sobre la importancia del suelo, sus funciones y sus servicios ecosistémicos. En este espacio se brinda información en un formato fresco y entretenido, mediante una comunicación clara, amena y con rigor (el valor de la verdad, aplicabilidad, consistencia y neutralidad).

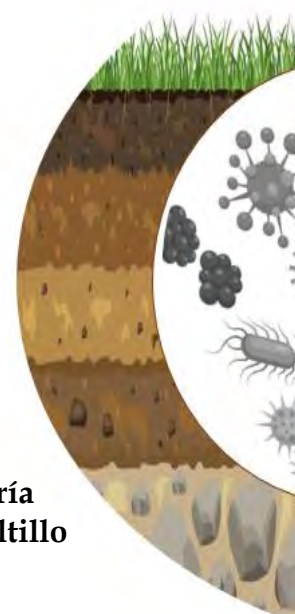
Participa, infórmate y comparte tu conocimiento y experiencias.

Editores en Jefe

Dr. Fabián Fernández-Luqueño
Cinvestav Saltillo

Dra. Dámaris Leopoldina Ojeda-Barrios
Universidad Autónoma de Chihuahua

Dra. Dulce Flores-Rentería
Investigadora por México (Conahcyt)-Cinvestav Saltillo



| Editorial |



Discurso Inaugural del 48 Congreso Mexicano de la Ciencia del Suelo

14 de octubre de 2024

Buen día, con el permiso de los distinguidos integrantes del presidium dirigiré unas palabras.

Me da mucho gusto saludar a un conjunto de soñadores, a un grupo de gente capaz, preparada, motivada y con ganas de ver un México diferente; porque para eso estamos aquí para aprender, cambiar, transformar, contribuir al crecimiento, ayudar a soñar a nuestros semejantes y a hacer que sus aspiraciones personales o profesionales se conviertan en realidad.

Esta semana estamos aquí para conocer lo que los especialistas de la Ciencia del Suelo, en muy diversas disciplinas, realizan en México y en el extranjero. Elegimos la ciudad de Chihuahua porque el Maestro Luis Alfonso Rivera Campos, Rector de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UA Chihuahua) nos abrió las puertas de esta gran casa de estudios. Decidimos estar aquí, porque el Dr. Ricardo Arón González Aldana brindó su confianza a los socios de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. (SMCS) y a los interesados en estas disciplinas y sí, estamos aquí porque en las aulas y laboratorios de la UA Chihuahua se desempeña nuestra vicepresidenta, la Dra. Damaris Leopoldina Ojeda Barrios.

A ellos tres, les brindo un especial y sincero agradecimiento por todo el trabajo y gestión que han realizado. Sin embargo, no puedo limitar ese agradecimiento solo a ellos, pues sé que decenas de profesores, administrativos y estudiantes han organizado el 48 Congreso Mexicano de la Ciencia del Suelo (48CMCS) durante varios meses. A cada uno de ellos, les digo ¡Muchas gracias! Agradezco también a los científicos extranjeros que aceptaron acompañarnos con alguna conferencia especializada (de Turkia, Estados Unidos de América, Canadá y España). Thanks to foreign scientists for joining us during this 48 Mexican Congress of Soil Science.

También gracias a aquellos que fungieron como coordinadores de alguna actividad y a aquellos que con muchas ganas de contribuir se sumaron a alguna de las comisiones.



**48° CONGRESO MEXICANO DE LA
CIENCIA DEL SUELO**
CHIHUAHUA 2024
"Suelos Sanos y Resilientes para el Desarrollo Sostenible"

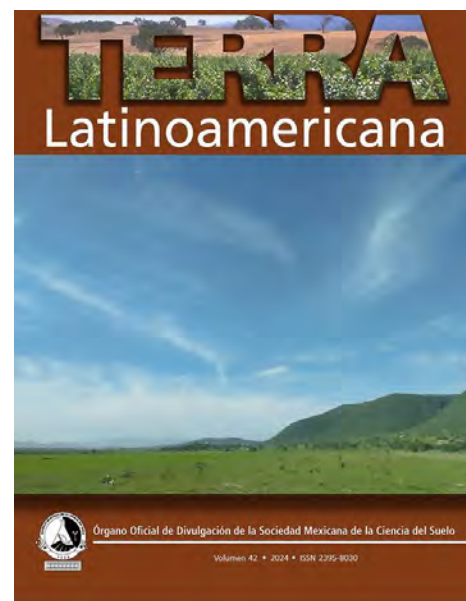




Mi gratitud a las dependencias gubernamentales de distintos órdenes de gobierno y a los patrocinadores y reconozco a los integrantes de la Mesa Directiva de la SMCS y a cada uno de ustedes que aquí se encuentra el día de hoy.



La SMCS fue fundada el 19 de octubre de 1962. En 62 años 29 presidentes me han precedido. De esos 29 expresidentes solo una es mujer, la Dra. Edna María Álvarez Sánchez, del Departamento de Suelos de la UA Chapingo. Además, hoy está con nosotros quien será a partir de octubre del próximo año la segunda presidenta de la SMCS y quien durante este 48CMCS presidió el Comité Organizador, sí, me refiero a la Dra. Damaris Leopoldina Ojeda Barrios. Muchas gracias Dra. Damaris por todo el entusiasmo, energía y compromiso que usted y su equipo han puesto al organizar lo que aquí estamos atestiguando. También se encuentran con nosotros seis expresidentes a quienes con frecuencia saludo en los Congresos, me refiero a los doctores Víctor Manuel Ordaz Chaparro, del Colegio de Postgraduados; Dr. José Antonio Cueto Wong, del INIFAP; Dr. Adalberto Benavides Mendoza de la UAAAN, Dr. Ricardo David Valdez Cepeda de la UA Chapingo, Dr. Enrique Troyo Diéguez del CIBNOR, y Dr. Juan Pedro Flores Margez de la UA de Ciudad Juárez. Gracias colegas, por acompañarnos un año más.





También nos participan aquí varios miembros titulares de secretarías o subsecretarías de la actual mesa directiva que presido. Muchas gracias por todo el trabajo que han realizado y por sus contribuciones a la SMCS, en la que todos participamos de forma honorífica.

La SMCS tiene dos revistas, la primera Terra Latinoamericana, es de difusión científica, fue fundada en 1983 y en estos 41 años ha tenido ocho Editores en Jefe, hoy nos acompaña uno de ellos, quien fuera Editor en Jefe del 2000 al 2006, me refiero al Dr. Antonio Vázquez Alarcón, del Departamento de Suelos de la UA Chapingo. Muchas gracias por su presencia Dr. Alarcón. Debo decir, que este año la revista Terra Latinoamericana recibió su primer facto de impacto en el Journal Citation Report, por lo que agradezco a los cientos, quizá miles, de autores, árbitros y editores que han participado en la construcción de Terra Latinoamericana y destaco en especial la participación del Dr. Bernardo Murillo Amador del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, quien ha fungido como Editor en Jefe desde el 2018.



La segunda revista de la SMCS fue fundada hace apenas un año, fue presentada durante el 47CMCS del año pasado, celebrado en la UNAM. La revista de divulgación se llama Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente y en solo cuatro ediciones ha publicado 61 contribuciones en 450 páginas de divulgación. Esta revista está dirigida por las Editoras en Jefe, doctoras Damaris Leopoldina Ojeda Barrios, la Dra. Dulce Yaahid Flores Rentería y un servidor.

Además, la SMCS ha organizado decenas de eventos académico-científicos especializados, entre los que destacan: a) El VI Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo en 1977, b) XV Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo, en 1994 y el XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo en 2007.

Así, hoy estamos aquí celebrando este 48 CMCS, dando continuidad al trabajo realizado por decenas de especialistas, muchos de los cuales fueron mis profesores y aún con fortuna se les puede saludar en los pasillos de sus respectivas y diversas instituciones de adscripción.



Para mí es un gran orgullo poder dirigir estas palabras a un grupo de profesores especialistas, exmaestros, colegas, amigos, exalumnos y alumnos. Somos un grupo de soñadores, porque queremos un México mejor, pero también somos un grupo de luchadores porque el camino no ha sido fácil. Hoy en México a pesar de las diversas limitaciones, formamos jóvenes honestos, exitosos y muy capaces. Los jóvenes han desarrollado sus alas en nuestras aulas y se preparan para dar el vuelo.

Nuestros jóvenes quieren volar, porque saben que los más de 8 mil millones de personas en la Tierra y los más de 130 millones de mexicanos necesitamos comer, requerimos materias primas, energía, un medioambiente próspero y un suelo sano, pero también requerimos paz, estabilidad y bienestar.

Necesitamos paz, necesitamos creer que aún se puede, entender que aun ante la adversidad podemos crecer, podemos contribuir a alcanzar la prosperidad y podemos ser mejores. No vamos a las universidades por un Título, ni cursamos un posgrado para conseguir un Diploma, asistimos a las escuelas para transformar nuestras vidas, formar familias de paz y porque queremos un México mejor.

Los mexicanos y el mundo requerimos suelos sanos y resilientes, alimentos inocuos y asequibles, energías verdes, medioambiente en equilibrio y sociedades de paz. Sin embargo, tenemos frente una crisis climática y una crisis de la naturaleza relacionada con millones de hectáreas de suelo cultivable perdidas por algún tipo de degradación. La Oficina para la Reducción de Riesgos de Desastres de la Organización Mundial de las Naciones Unidas y la Organización Mundial para las Alimentación y la Agricultura estimaron que cada año se pierden globalmente 12 millones de hectáreas de suelos agrícolas por algún tipo de degradación. Ya en 2019 la Organización Mundial de las Naciones Unidas reportó que un millón de especies enfrentan la extinción.



Como profesionales de la Ciencia del Suelo tenemos muchas condiciones severas que nos limitan y dificultan nuestro trabajo, pero necesitamos y debemos seguir adelante. Debemos seguir soñando. Nuestra participación es crítica y fundamental. Debemos estar más informados, más preparados, practicar la crítica constructiva y aprender a contribuir y trabajar en equipo para generar bienestar y paz.



Los tiempos han cambiado. Como lo señalé hace unos momentos, para los jóvenes los títulos y diplomas académicos no son suficientes para ser un ciudadano responsable. Para los académicos e investigadores hoy generar conocimiento y formar recursos humanos tampoco es suficiente, necesitamos incidir en la atención y solución de problemas reales, debemos contribuir al beneficio social y participar en la creación de política pública para el bienestar y la paz.

No he dicho que sea fácil, no lo es, pero no podemos esperar que las cosas cambien si nosotros continuamos haciendo lo mismo.

Necesitamos un México mejor, urgen alternativas a lo que hoy consideramos calidad de vida, debemos repensar lo relativo al consumismo y generación de residuos, requerimos revalorizar la relación naturaleza-ser humano, debemos impulsar la equidad, reducir desigualdades y seguir soñando.

Colegas y estudiantes, no dejemos de soñar. Necesitamos y merecemos un mejor México.

Es cuanto, muchas gracias.

Fabián Fernández Luqueño
Investigador Cinvestav
Presidente de la SMCS

Discurso incluido en este número a solicitud de dos de los Editores en Jefe de **Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente**, las Dras. Dámaris Leopoldina Ojeda Barrios y Dulce Yaahid Flores Rentería.



**SOCIEDAD MEXICANA DE LA
CIENCIA DEL SUELO, A.C.**



Contenido

SECCIÓN, SUBSECCIÓN, TÍTULO Y AUTORES	Páginas
SECCIÓN I. FACTORES DE FORMACIÓN DEL SUELO	
Subsección IA: Material Parental Sin contribuciones aceptadas	n.a.
Subsección IB: Clima Sin contribuciones aceptadas	n.a.
La vida de Gaia y su repentina fiebre Sarahi Moya-Cadena; Diana Baños-Peláez; Fabián Fernández-Luqueño	1
Subsección IC: Topografía	
Subproductos de la agroindustria cañera, alternativa para contrarrestar pérdida de fertilidad del suelo en caña de azúcar José C. García-Preciado; Marcelino Álvarez Silva	8
Impulsando la agricultura sostenible con electroestimulación del suelo Perla Cecilia Meléndez-González; César Roberto Sarabia-Castillo	16
Subsección ID: Organismos	
Comunicación y señales químicas producidas por los microorganismos del suelo Eduardo Valencia-Cantero; Lourdes Macías-Rodríguez	23
Cochinillas de tierra o bichos bola: ¡pequeñas guerreras que descontaminan el suelo! José Antonio Huertos Ramírez; Hermes Pérez Hernández	35
Hongos micorrízicos arbusculares frente al estrés hídrico: una oportunidad para el cultivo del nogal Sandra Pérez Álvarez; Yonaisy Mujica Pérez; Esteban Sánchez Chávez; Luisa Patricia Uranga Valencia; Joel Rascón Solano	44
Subsección IE: Tiempo	
El hierro, un aliado en la remediación del suelo Marisela Calderón-Jurado; María Laura Díaz-Vaca; Ofelia Adriana Hernández-Rodríguez; Oscar Cruz-Álvarez; Damaris Leopoldina Ojeda-Barrios	50

n.a.= No aplica

Continúa en la siguiente página.

| Septiembre 2024 |



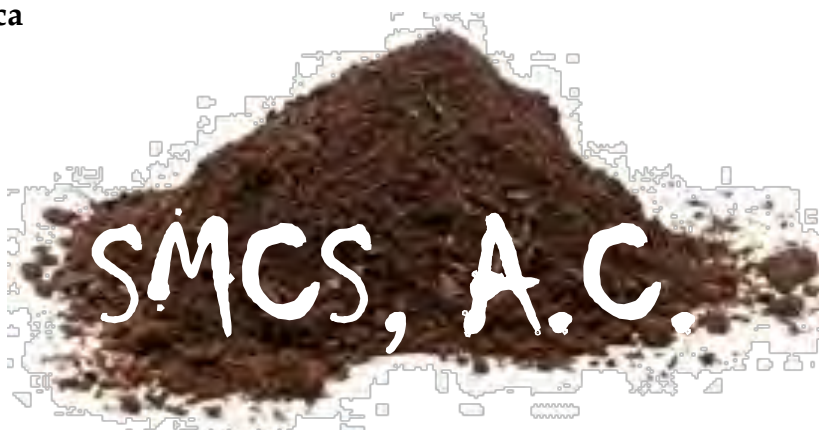


Contenido

...continuación.

SECCIÓN, SUBSECCIÓN, TÍTULO Y AUTORES	Páginas
SECCIÓN II. PROCESOS DE FORMACIÓN DEL SUELO	
Subsección IIA: Adición	
Sí, chiquititos, pero con mucha fuerza: Nanoaditivos para estabilizar suelos Jessica E. Martínez-Vázquez; Fabián Fernández-Luqueño	60
Subsección IIB: Transformación	Sin contribuciones aceptadas
Subsección IIC: Translocación	Sin contribuciones aceptadas
Subsección IID: Pérdida	
Desertificación: La Pérdida Silenciosa de la Tierra Nayelli Azucena Sigala-Aguilar; Rodrigo Morales- García; Fabián Fernández-Luqueño	74
SECCIÓN III. LA ARCILLA	
Estructura del suelo Sandra Monserrat Barragán-Maravilla; Gabriel Alejandro Hernández-Vallecillo; Patricio Sánchez-Guzmán	85
SECCIÓN IV: HORIZONTES GENÉTICOS MAYORES Y CAPAS	
Subsección IVA: Horizonte O	Sin contribuciones aceptadas
Subsección IVB: Horizonte L	Sin contribuciones aceptadas
Subsección IVC: Horizonte A	Sin contribuciones aceptadas
Subsección IVD: Horizonte E	Sin contribuciones aceptadas
Subsección IVE: Horizonte B	Sin contribuciones aceptadas
Subsección IVF: Horizonte C	Sin contribuciones aceptadas
Subsección IVG: Capa R	Sin contribuciones aceptadas
Subsección IVH: Capa M	Sin contribuciones aceptadas
Subsección IVI: Capa W	Sin contribuciones aceptadas
Sección V. Ciclos del Suelo	Sin contribuciones aceptadas
Sección VI. Entisol	Sin contribuciones aceptadas
Agradecimientos a revisores	90

n.a.= No aplica





49 CONGRESO MEXICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO

*Departamento de Suelos
Octubre 2025*



Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México, México



El Comité Editorial de **Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente** y la Mesa Directiva de la SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO, A. C., felicitan al Dr. Bernardo Murillo Amador, Editor en Jefe de la revista **Terra Latinoamericana**, y a todo su Comité Editorial por la inclusión de esta revista en el Journal Citation Reports™, obteniendo así su primer Factor de Impacto luego de 41 años de edición.

Felicitaciones!



TERRA
Latinoamericana



La vida de Gaia y su repentina fiebre

Sarahi Moya-Cadena^{1*}
Diana Baños-Pelaez¹
Fabián Fernández-Luqueño¹

¹ Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav Saltillo); Ramos Arizpe, Coahuila de Zaragoza, México.

*Autor para correspondencia: sarahimoya8@gmail.com

La Tierra, ha pasado por miles de cambios a lo largo de su vida (46 años), tratando de conseguir las condiciones idóneas para que sus habitantes puedan coexistir en armonía. Este artículo cuenta el origen de la Tierra (Gaia) considerando su edad geológica (4600 millones de años) y, por tanto, 100 millones de años en tiempo geológico corresponden a un año de edad de Gaia, con un total de 46 -hasta ahora-. Esto implica que en solo las últimas 28 horas (correspondientes a 315, 000 años en tiempo geológico) Gaia ha recibido a un nuevo inquilino; el *Homo sapiens sapiens*, sin imaginar que éste le causaría una repentina fiebre, con repercusiones en todo su cuerpo.

Introducción

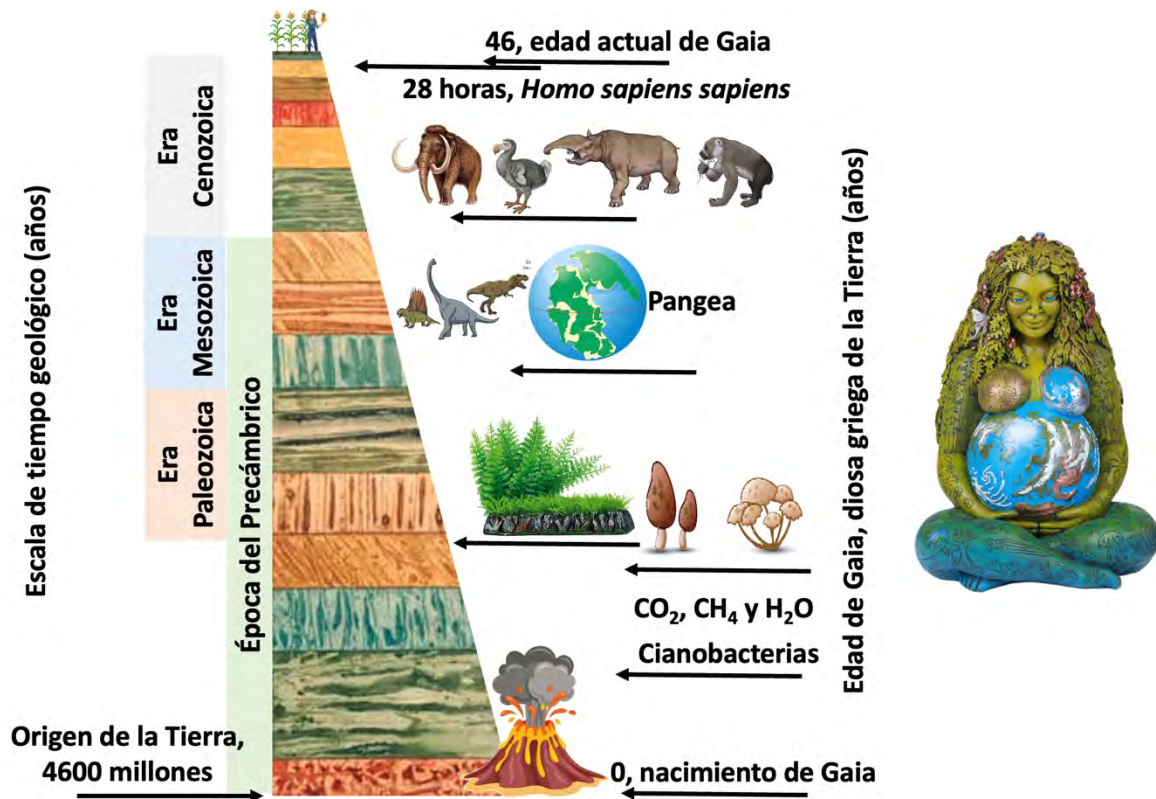
Imaginemos al planeta Tierra como una mujer de 46 años a la cual llamaremos Gaia, en referencia a la diosa Griega de la Tierra, simbolizando la interconexión de todos los seres vivos y los ecosistemas de nuestro planeta. Gaia ha pasado por una variedad de cambios a lo largo de su vida. No obstante, nunca había sentido un cambio tan repentino al tratarse de una fiebre.





Desarrollo

El objetivo de Gaia siempre ha sido ser el hogar para muchas formas de vida en una interacción simbiótica mutualista. Esto quiere decir que tanto ella como los organismos que viven dentro de ella se benefician al coexistir. Desde la niñez hasta la adultez de esta mujer, se han producido cambios corporales con repercusiones en su temperatura. De esta manera, al crecer con el paso del tiempo, su temperatura corporal aumentaba o disminuía, albergando en cada proceso diferentes tipos de vida.



Hablemos un poco acerca de la vida de Gaia, la mujer de 46 años que tiene la capacidad de albergar vida. Sin embargo, no siempre fue así. La primera etapa de su vida, conocida como el Precámbrico, la pasó muy incómoda. En esta época, durante 40.5 años, nuestra protagonista experimentó cambios extremos en su cuerpo mientras trataba de encontrar las condiciones idóneas para albergar vida. Durante sus primeros siete años de vida, Gaia ardió en llamas debido a que en ese momento su cuerpo era muy inestable... Meteoritos, falta de luminosidad, radiactividad y otros fenómenos transcurrían todos al mismo tiempo.



Poco a poco, las condiciones dentro de su cuerpo fueron cambiando y dieron paso a las primeras formas de vida de las que tenemos evidencia: las cianobacterias. Estos organismos fotosintéticos contenían clorofila, lo que les permitía producir carbohidratos y oxígeno a partir de dióxido de carbono (CO_2) y agua, utilizando la luz solar como fuente de energía. A medida que aumentaba la concentración de oxígeno,

disminuían algunos de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) más importantes, como el CO_2 , el agua y el metano (CH_4). Este proceso redujo el efecto invernadero, que se produce cuando los GEI en la atmósfera atrapan la radiación infrarroja del sol y calientan el planeta. Durante todo este tiempo, Gaia aumentaba y disminuía su temperatura corporal al tratar de encontrar un equilibrio... sin mucho resultado. Aún debía mejorar, ya que para ella no era suficiente simplemente albergar vida para organismos como las cianobacterias.

Durante los próximos 3.3 años, Gaia inició otra etapa conocida como "Era Paleozoica", en la que empezaron a coexistir organismos más complejos. En este periodo, y gracias al tiempo transcurrido para que las cianobacterias evolucionaran, los nuevos organismos desarrollaron la capacidad de formar caparazones y esqueletos calcáreos. No obstante, un nuevo inquilino iba a asumir el control para mejorar aún más las condiciones del planeta: el hongo. Los hongos, organismos descomponedores, comenzaron a aportar nutrientes esenciales a la Tierra para albergar a nuevos inquilinos mediante la descomposición de la materia orgánica.





Durante esta etapa, Gaia continuaba buscando las condiciones óptimas en su cuerpo para proveer un hogar tranquilo a sus ocupantes. En el proceso, variaba su temperatura, eliminando a los organismos más frágiles y seleccionando aquellos que evolucionaron para ser más resistentes y adaptarse a los cambios. Todo esto influyó para desencadenar las condiciones específicas para la proliferación de otros tipos de vida, como las plantas. Hasta este punto, Gaia había pasado casi el 95 % de su vida tratando de mejorar su cuerpo con fines evolutivos; sin embargo, ella sabía que aún faltaba camino por recorrer.

La siguiente etapa, fue conocida como “Era Mesozoica” y Gaia cada vez se sentía más cerca de lograr su cometido con la ayuda de los nuevos habitantes. En esta era, Gaia consideró que formar un nuevo continente llamado Pangea rodeado de un vasto océano era buena idea... pero no resultó. Como consecuencia de esto, la temperatura variaba mucho dependiendo del lugar donde se situaban los organismos, creando un ambiente hostil y difícil de entender.

En las orillas del nuevo gran continente, el clima era extremadamente húmedo y en el centro, extremadamente cálido y árido, dificultando la vida de sus nuevos inquilinos. En consecuencia, Gaia decidió fragmentar esta nueva masa para tratar de uniformar la temperatura global de su cuerpo, durando aproximadamente 1.2 años en el proceso. Con esto, consiguió disminuir la temperatura media de su cuerpo de 70 °C a 25 ± 3 °C, lo que dio como resultado un hogar mucho más estable para la proliferación de la vida.



Gracias a que Gaia ahora presentaba condiciones más estables, miles de nuevos organismos llegaron con grandes y mejores estructuras para resistir; los dinosaurios, quienes reinaron el cuerpo de nuestra protagonista por 1.1 años hasta su extinción por un meteorito. Gaia se sentía muy triste en este punto, pues los dinosaurios eran



los organismos que siempre deseó albergar... así que trató de encontrar nuevamente las condiciones idóneas para la vida de nuevos organismos en una etapa conocida como “Era Cenozoica”, aumentando y disminuyendo su temperatura corporal y hospedando cada vez más inquilinos en su cuerpo.

Hoy en día, Gaia tiene 46 años y hace 28 horas apareció un nuevo huésped que despertó su interés debido a su gran ingenio... el *Homo sapiens sapiens*. Gaia estaba fascinada con este nuevo habitante, pues suponía una inteligencia superior a través de prácticas como la cocción de alimentos, agricultura, lenguaje, domesticación de animales, apreciación del arte y desarrollo de ciencia y tecnología. De pronto, ella se da cuenta que esos 46 años tratando de encontrar las



condiciones idóneas para albergar vida, han valido la pena. No obstante, hace tan solo 90 segundos comenzó a sentirse enferma con un aumento en su temperatura corporal de 1.1 °C. En estos momentos, Gaia se encuentra incrédula ante tan repentina fiebre.

Recordemos que el objetivo de Gaia siempre ha sido ser hogar para millones de huéspedes distintos, pero le inquieta pensar que una sola especie que llegó a su cuerpo hace apenas 28 horas la ha desequilibrado, afectando a miles



Normalmente en otras eras, habría tenido mucho más tiempo para adaptarse a este incremento de temperatura. Se le viene a la mente la época de su vida que pasó durante la Era Mesozoica donde descendió la temperatura media de su cuerpo de 70 °C a 25 ± 3 °C en 1.2 años. Rápidamente se asusta, ya que se da cuenta de que, si estuviera en esa época, tardaría 11 días para incrementar o disminuir 1.1 °C y no solo 90 segundos.



Gaia comprende que no es un proceso natural por el cual está pasando, sino que algo dentro de ella le está provocando tan repentina fiebre. Pareciera que 1.1 °C no son suficientes para desencadenar cambios en el cuerpo de esta mujer, pero comienza a sentir escalofríos, fiebre, y sudor, debido a la incapacidad de su cuerpo para adaptarse. Recordemos que el objetivo de Gaia siempre ha sido ser hogar para millones de huéspedes distintos, pero le inquieta pensar que una sola especie que llegó a su cuerpo hace apenas 28 horas la ha desequilibrado, afectando a miles de otros habitantes.



A este proceso tan repentino por el que está pasando nuestra querida Gaia, se le conoce como calentamiento global y está relacionado con la rapidez con la que estamos acelerando los procesos naturales de la Tierra a través de la quema de combustibles fósiles, la tala de bosques o el uso indiscriminado de los recursos naturales. Esto desencadena inundaciones, sequías, huracanes, disminución de especies, contaminación de agua, aire y suelo, plagas y enfermedades... sin mencionar las pérdidas humanas y económicas. A esto se le conoce como cambio climático y comenzó a afectar a Gaia desde hace 90 segundos, cuando inició la revolución industrial (264 años geológicos). Así, Gaia ha sufrido durante algunos segundos, debido al uso indiscriminado de los recursos que con tanto esfuerzo ella generó durante toda su vida para que pudiéramos vivir en armonía.

A pesar de que existen diversas teorías sobre el origen del cambio climático, es de suma importancia que el ser humano desarrolle una conciencia ambiental para impulsar a cambiar su relación con el entorno. Esto implica adoptar prácticas más sustentables como el reciclaje, el consumo responsable, el uso eficiente de la energía o el apoyo a programas de conservación de la biodiversidad. De acuerdo con el ecólogo africano Baba Dioum... al final, los seres humanos solo conservaremos lo que amemos, pero para llegar a amar algo, debemos entenderlo y para entenderlo, nos debe ser enseñado



Hace tan solo 90 segundos, Gaia comenzó a sentirse enferma con un aumento en su temperatura corporal de 1.1 °C.



Conclusiones

Ahora que conocemos la historia de la vida en la Tierra, el tiempo que tomó para tratar de encontrar las condiciones idóneas para existir y los problemas que hemos desencadenado en tan poco tiempo, es nuestro deber vivir en armonía con nuestro hogar, Gaia.

Literatura recomendada

Uriarte, A. (2009). Historia del Clima de la Tierra. Eusko Jaurlaritza. 2da edición. ISBN: 978-84-457-3037-9.

Tucker, M. E., Benton, M. J. (1982). Triassic environments, climates, and reptile evolution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 40(4), 361-379.

Duarte, C. M., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo Buendía, M., & Valladares, F. (2006). Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra. CSIC.



Semblanzas de autores

Sarahi Moya-Cadena. Estudiante de Doctorado en Ciencias en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Saltillo. Ramos Arizpe, Coahuila de Zaragoza.

Diana Baños-Pelaez. Practicante en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Saltillo. Ramos Arizpe, Coahuila de Zaragoza.

Fabián Fernández-Luqueño: Investigador del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Saltillo. Adscrito a los Programas de Maestría en Ciencias y Doctorado en Ciencias en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía, Doctorado en Ciencias en Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad y Doctorado en Ciencias en Nanociencias y Nanotecnología.

Envía tus contribuciones científicas a la revista **Terra Latinoamericana**, órgano de difusión de la SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO, A. C.

TERRA
Latinoamericana



ISSN Electrónico 2395 - 8030

<https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra>



Subproductos de la agroindustria cañera, alternativa para contrarrestar pérdida de fertilidad del suelo en caña de azúcar

José C. García-Preciado^{1*}
Marcelino Álvarez Silva¹

¹ INIFAP-CIRPAC Campo Experimental
Tecomán/Sitio Experimental Costa de Jalisco.

*Autor para correspondencia: garcia.concepcion@inifap.gob.mx

En zonas agrícolas cañeras por diferentes factores ha disminuido la fertilidad del suelo, entre ellos la nula incorporación de materiales orgánicos. En este sentido la agroindustria cañera tiene potencial para contrarrestar dicha degradación, ya que cuenta con subproductos orgánicos útiles para reincorporarlos al sistema de producción.

Introducción

Uno de los principales problemas de las zonas agrícolas cañeras son los procesos de degradación de suelo, existen diferentes factores que disminuyen la fertilidad de la capa arable. Este fenómeno ha incrementado principalmente por la nula incorporación de materiales orgánicos, la quema de residuos de cosecha y el uso inadecuado de fertilizantes minerales de origen sintético. Datos de la SEMARNAT, describen que la principal causa de degradación edáfica en Jalisco y Colima (occidente de México) es la “pérdida de fertilidad”, la cual es resultado de la

disminución de la materia orgánica y de los nutrientes. Esto genera la disminución de rendimiento y calidad de caña de azúcar. Por tal motivo, es importante utilizar e incorporar residuos de cosecha, así como compuestos y/o sustancias de origen orgánico. En este sentido, los residuos orgánicos del cultivo y de la agroindustria cañera son subproductos útiles para contrarrestar la degradación del suelo, mediante su reincorporación a las parcelas de producción.





Residuos orgánicos de la agroindustria

Cachaza de caña de azúcar. Durante el proceso de elaboración de azúcar se obtiene el subproducto cachaza o torta de filtro. Dicho residuo es una alternativa para utilizar como fertilizante orgánico por poseer altos contenidos de minerales como calcio, fósforo, nitrógeno y es rico en materia orgánica. Experiencias de aplicar de 40 a 60 t ha⁻¹ de cachaza en mezcla con estiércol de bovino proporción 1:1, y proceso previo de vermicomposteo; demuestran la mejora en la estructura del suelo (más granulada y menos compacta), aumentó la materia orgánica y permanece por más tiempo, esto, en suelos arcillosos y francos (Sánchez et al., 2005).

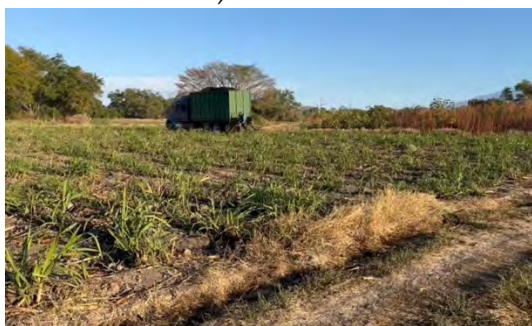


Figura 1. Aplicación de cachaza fresca con equipo especializado en una parcela de caña de azúcar de temporal, dos meses después de la tercera cosecha.

Durante un ciclo de cultivo no es práctico incorporar volúmenes altos de residuos orgánicos al suelo, más aún, cuando ya se tiene el cultivo establecido. Por ello, aplicaciones de compost y otros compuestos orgánicos deben realizarse a través de varios años (ciclos); considerando la capacidad económica y operativa del productor. En los estados de Colima y Jalisco la aplicación de cachaza, compost y vermicompost no es una práctica frecuente; y en las parcelas donde se realiza, las dosis oscilan entre una y tres t ha⁻¹. Sin embargo, esta práctica mejora la retención de

nutrimentos, absorción de agua, mantiene la humedad e incrementa la producción. En el área cañera del estado de Colima, se utiliza equipo mecanizado para aplicación de cachaza fresca en parcelas con el cultivo establecido (Figura 1). La cual tiene que adicionarse en dosificaciones no mayores a cuatro t ha⁻¹, para evitar problemas de inmovilización del nitrógeno y otros, por tratarse de un residuo sin compostar. Es menos común que se incorpore cachaza fresca o recién salida de la agroindustria, generalmente se distribuye en terrenos de descanso (Figura 2), posteriormente se incorpora durante la preparación del suelo.



Figura 2. Aplicación de cachaza en una parcela próxima a sembrarse con caña de azúcar.



Además, una investigación realizada en la zona de abasto del Ingenio azucarero presidente Benito Juárez, en Tabasco, demuestra que al mezclar una $t\ ha^{-1}$ de cachaza base seca con 60 kg de urea y 20 kg de cloruro de potasio (KCl), y realizando un composteo con duración de 24 días, se obtuvo abono órgano-mineral de cachaza (AOMC). Cuando se fertilizó con el AOMC de 10 y 15 $t\ ha^{-1}$, se superó la fertilización química utilizada en la zona (120-60-60 de N-P-K respectivamente), mejorándose características químicas del suelo y la producción de biomasa aérea (Arreola-Enriquez et al., 2004).

Se ha evaluado la actividad microbiana mediante la evolución del gas CO_2 en suelos franco y arcilloso; adicionándoles cachaza fresca, compostada y vermicompost, las cuales fueron obtenidas del Ingenio Tamazula en Jalisco. La cachaza fresca, compostada y vermicompost generaron mayor acumulación de CO_2 durante 70 días de incubación, esto, al compararse con suelos sin la adición de dichos compuestos.

Aunque la vinaza es rica en nutrimentos, no se recomienda aplicar recién salida de la destilería debido al riesgo de salinización

Vinaza. Este subproducto o sustancia orgánica proveniente de la agroindustria cañera, es resultado de la destilación del alcohol etílico. La vinaza contiene principalmente material orgánico disuelto y minerales como el potasio, su pH es ácido, al igual que la cachaza se puede adicionar al suelo. En campos de cultivo de caña de azúcar se aplica individualmente o en combinación

con agua, se traslada en pipas, ductos y canales hacia las parcelas. Aunque la vinaza es rica en nutrimentos, no se recomienda aplicar recién salida de la destilería debido al riesgo de salinización. Para reducir dichos riesgos la vinaza debe aplicarse en forma fraccionada, o diluida con agua para disminuir su concentración. En los ingenios azucareros que producen alcohol, la vinaza puede emplearse procesada a través de fermentaciones aeróbicas. Durante dicho proceso es factible adicionar minerales y microorganismos benéficos, para enriquecerla y finalmente aplicar mediante el uso de pipas, aguilonos o equipos adaptados; se recomienda realizar la aplicación tipo drench, para dirigir el efluente de vinaza ya sea sola o tratada directamente al suelo. Mediante la técnica drench el producto aplicado obtendrá mayor eficiencia debido a que será dirigido al área radical, lo que generará mejores resultados.





Incorporación de materiales orgánicos y su manejo

Es benéfico para el suelo no quemar la paja y puntas de tallos de caña (cogollos) después de la cosecha mecanizada en verde (sin quemar), posteriormente, incorporarlos al suelo (reciclaje de nutrientes) con el uso de implementos especiales (Figura 3).



Figura 3. Equipo para fertilizar e incorporar los residuos de cosecha de la caña de azúcar.

Otra opción es alternar el residuo entre surcos, o simplemente dejarlo intacto sobre la superficie del suelo. Para facilitar el manejo del residuo después de la cosecha, pueden emplearse equipos como el de elaboración de pacas (Figura 4), y así generar ingresos adicionales. Cuando se opte por dejar el 100% del residuo en la parcela, es recomendable la adición de 10 a 15 kg de urea y 1.5 kg de melaza por cada 100 litros de agua, los cuales serán asperjados sobre el colchón del residuo. Para potenciar la descomposición de residuos de cosecha, utilizar microorganismos celulíticos combinados con entomopatógenos (*Trichoderma* y *Beauveria bassiana*), asperjados en agua limpia sin cloro. Implementando dicha actividad, se logrará incrementar por lo menos al doble la desintegración del residuo para su posterior incorporación al suelo.



Figura 4. Elaboración de cordones con residuos de cosecha de caña de azúcar sin quemar para la obtención de pacas.



Figura 5. Presencia de hongos saprófitos en los residuos de cosecha.

Con la reincorporación del residuo de cosecha se mejora la población de organismos benéficos en suelo. Estudios realizados por el INIFAP, en los ingenios San Francisco Ameca, Melchor Ocampo y José María Morelos en Jalisco; evaluaron tratamientos que consistieron en dejar sobre el suelo el 50, 75 y el 100 % de los residuos de caña de azúcar cosechada en verde, más un nivel 0%, que correspondió al tratamiento donde se realizó la requema después de la cosecha. Los datos obtenidos mostraron presencia de 3, 10, 10 y 12 hongos saprófitos por cada 10 m lineales de surco (Figura 5), en los tratamientos: 0, 50, 75 y 100 % de residuos respectivamente. Así como la cantidad de 4.3, 11.0, 12.0 y 10.0

lombrices nativas por metro cuadrado (m²) de suelo (Figura 6). También, 0.0, 0.8, 1.0 y 1.8 de larvas de gallina ciega por m² de suelo respectivamente. En relación con la productividad del cultivo evaluaciones realizadas por el INIFAP Costa de Jalisco, describen un incremento de 5 a 16 t ha⁻¹ debido a la cosecha a ras del suelo, es decir, el levante de la caña cosechada es eficiente por no dejar trozos en el cogollo.



Figura 6. Lombrices nativas y huevecillos (cocones) extraídas del suelo con cosecha mecánica en verde.

Desde el punto de vista de calidad industrial, con la cosecha en verde aumenta un 0.2% el contenido de sacarosa de la caña de azúcar, respecto a la quemada

Otros beneficios del manejo e incorporación de los residuos de cosecha son: poca germinación de malas hierbas, bajo encharcamiento en épocas de lluvias, menor emisión de gas CO₂ y óxido nitroso, e incremento de carbono orgánico fijado en suelo. Consecuentemente aumenta el almacenamiento de agua, poblaciones de mezo y micro fauna benéfica (lombrices, micorrizas, bacterias solubilizadoras, entre

otros). A mediano o largo plazo se mejora la estructura y la cantidad de los agregados del suelo, los cuales actúan como reservorio de nutrientes que la planta puede utilizar de manera lenta y regular. Desde el punto de vista de calidad industrial, con la cosecha en verde aumenta un 0.2% el contenido de sacarosa de la caña de azúcar, respecto a la quemada. También, se reduce el costo de cosecha un 20%.

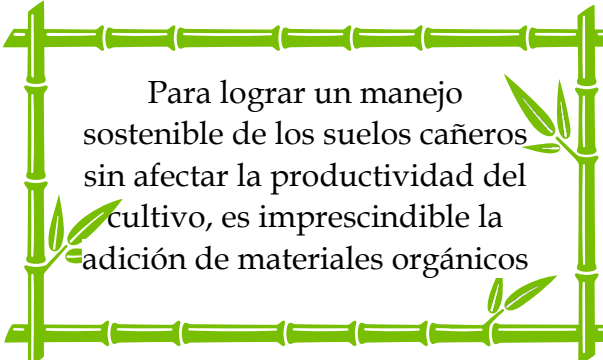




Comentarios y sugerencias

La agroindustria de la caña de azúcar posee la ventaja de aportar subproductos útiles para reincorporarlos al sistema de producción primaria. De esta manera contribuir a mejorar la calidad del suelo, incrementar rendimiento, obtener ingresos adicionales, la generación de empleos locales y disminución de contaminación en suelo.

Para lograr un manejo sostenible de los suelos cañeros sin afectar la productividad del cultivo, es imprescindible la adición de materiales orgánicos, la cual tendrá que ser un componente más del paquete tecnológico durante el ciclo del cultivo. Por otro lado, se deben racionar los fertilizantes de origen mineral como el NH_4 , NO_3 , $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, K_2SO_4 o KCl durante las distintas aplicaciones, siendo las fuentes nitrogenadas las que en mayor proporción tendrán que ser fraccionadas. Utilizar solo lo necesario de fertilizantes y enmiendas para mejorar suelo, esto se logrará empleando herramientas de diagnóstico como el análisis de fertilidad de suelo y la extracción de nutrimentos del cultivo. Combinar o alternar la aplicación de fertilizantes minerales con los residuos de la agroindustria cañera (cachaza, cenizas, vinazas), con proceso previo de compostaje. Desde luego se pueden emplear otros insumos orgánicos como estiércoles de bovino, porcino y gallinaza. El método de aplicación, tiempo y cantidades a incorporar al suelo dependerán de las circunstancias que cada unidad de producción contenga. Al igual de la información que el análisis de suelo otorgue, disponibilidad y pertinencia de los insumos orgánicos.

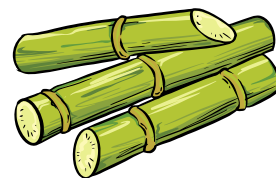


Para lograr un manejo sostenible de los suelos cañeros sin afectar la productividad del cultivo, es imprescindible la adición de materiales orgánicos



Conclusiones

El aprovechamiento de los residuos de cosecha en verde de la caña de azúcar ya sea incorporado al suelo o dejándolos sobre la superficie, participan en el incremento de las poblaciones de hongos saprófitos, lombrices nativas y la materia orgánica. Incorporar los residuos orgánicos de la agroindustria cañera con proceso previo de compostaje, aumenta la fertilidad del suelo y actividad microbiana. Aplicaciones de compost de residuos agroindustriales y otros compuestos orgánicos deberán ser fraccionadas a través de varios ciclos de cultivo (años), considerando la disponibilidad, operatividad y facilidades económicas del productor.





Literatura recomendada

Arreola-Enriquez, J., Palma-López, D. J., Salgado-García, S., Camacho-Chiu, W., Obrador-Olán, J. J., Juárez-López, J. F., & Pastrana-Aponte, L. (2004). Evaluación de abono organo-mineral de cachaza en la producción y calidad de la caña de azúcar. *Terra Latinoamericana*, 22(3), 351-357.



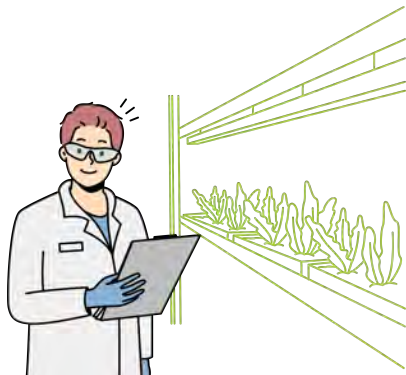
Salgado-García, Sergio & E., Aranda-Ibañez & Castelán-Estrada, Mepivoseth & Laurel, Hipólito & Palma, David & Cordova Sanchez, Samuel. (2013). Qué hacer con la paja de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar. *Agroproductividad*. 7. 3-8.

Sánchez Hernández, Rufo, Ordaz Chaparro, Víctor M, Benedicto Valdés, Gerardo Sergio, Hidalgo Moreno, Claudia I, & Palma López, David J. (2005). Cambios en las propiedades físicas de un suelo arcilloso por aportes de lombricomposto de cachaza y estiércol. *Interciencia*, 30(12), 775-779.



Semblanzas de autores

José C. García-Preciado. Originario de Jalisco, México. Egresado de la Universidad de Guadalajara como Ingeniero en Recursos Naturales y Agropecuarios. Fue productor de caña de azúcar, trabajó como asesor y en programas gubernamentales. Realizó la Maestría en Ciencias en Edafología (COLPOS). Actualmente, colabora en proyectos de investigación-innovación para la producción agrícola integral y sostenible.



Marcelino Álvarez Cilva. Nació en Michoacán, egresado de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo como Ingeniero Agrónomo Fitotecnista. Estudios de Maestría en la Universidad de Colima, especialidad en biofertilización. Productor de caña desde temprana edad. Con más de 30 años como responsable y colaborador de proyectos de investigación y transferencia en caña de azúcar.





¡ Tenemos Sede !



Enseñar la explotación de la tierra,
no la del hombre

**El Departamento de Suelos de la Universidad
Autónoma Chapingo será la sede del
49 Congreso Mexicano de la Ciencia de Suelo**

**¡ Separa la fecha y participa !
Texcoco, Estado de México, México
Octubre de 2025**





Impulsando la agricultura sostenible con electroestimulación del suelo

Perla Cecilia Meléndez-González^{1*}
César Roberto Sarabia-Castillo²

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Químicas, Ave. Universidad S/N, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza N.L. México, C.P. 66455

²Universidad Vizcaya De Las Américas Campus Saltillo, Boulevard Venustiano Carranza 4925, Saltillo Coahuila de Zaragoza México, C.P. 25210

*Autor para correspondencia: perla.melendez.glz@outlook.com perla.melendezg@gmail.com

En la búsqueda de proveer soluciones para enfrentar el desafío de la hambruna mundial, el acondicionamiento de suelos y producción sostenible de cultivos es de vital importancia. Una de las técnicas innovadoras y prometedoras para mejorar la fertilidad y salud del suelo es la electroestimulación. Esta tecnología aplica corrientes eléctricas al suelo, lo cual promueve el crecimiento de plantas y su adecuada nutrición, lo que provoca una disminución de uso de fertilizantes impulsando prácticas de agricultura sostenibles. Y lo más importante incrementar la producción de cultivos con el fin de que los alimentos estén disponibles y con accesibilidad para la población.

Introducción

La agricultura sostenible se enfrenta al gran reto de alimentar a una población en crecimiento acelerado y minimizar el impacto ambiental que esto conlleva. Además de proveer alimento permanente a poblaciones en regiones poco afortunadas. Una de las prometedoras soluciones para mejorar la salud del suelo e incrementar el desarrollo y crecimiento de cultivos es la electroestimulación.

La electroestimulación del suelo es una técnica que mejora la fertilidad y salud de este. A demás, no solo optimiza el crecimiento de cultivos o plantas, si no que mejora el uso de nutrientes disminuyendo el uso de fertilizantes y pesticidas. El funcionamiento consta en aplicar corrientes eléctricas que estimulan la disponibilidad de nutrientes y optimiza la actividad microbiana del suelo, además de favorecer la correcta absorción de agua promoviendo un desarrollo saludable y rápido en la planta.





La electroestimulación, es una herramienta de gran poder para impulsar la agricultura sostenible, ofreciendo una solución viable al enfrentar retos como el aumento de producción de cultivos agrícolas destinados a la nutrición de la población.

Electroestimulación del suelo, ¿Qué es y cómo funciona?

Es una técnica agrícola en donde se utilizan corrientes eléctricas a distintos voltajes con el fin de mejorar el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Esta técnica funciona aplicando campos eléctricos en el suelo mediante electrodos, como se observa en la Figura 1, mejorando la tasa de germinación de semillas, estimulando el crecimiento de las raíces y optimizando la absorción de nutrientes por parte de la planta. También, interacciona en la dinámica de los nutrientes del suelo,

modificando la estructura del suelo logrando cambiar sus propiedades físicas y químicas.

¿Qué se necesita?

Es posible aplicar corrientes eléctricas en el suelo de cultivo considerando el tipo de suelo y sus características. Además, sin

Es una técnica agrícola en donde se utilizan corrientes eléctricas a distintos voltajes con el fin de mejorar el crecimiento y desarrollo de los cultivos



olvidar el tipo de materiales del cual estén compuestos los electrodos mediante los cuales se aplica la corriente eléctrica, ya que de esto dependerán los beneficios de la técnica. La superficie de contacto de los electrodos con el suelo es esencial ya que desempeñan un papel directo en la eficiencia de la estimulación eléctrica. Los materiales utilizados deben ser conductores de electricidad, duraderos y no reactivos en el ambiente del suelo para asegurar la eficiencia y perdurabilidad del proceso de electroestimulación (Figura 2).

Una alta conductividad eléctrica (movimiento de electrones, que permiten el paso de la corriente eléctrica) asegura la eficiencia de la transmisión de la corriente desde la fuente de poder hasta el suelo, asegurando que la corriente aplicada llegue de manera homogénea y efectiva hasta la profundidad deseada, así como a la zona de las raíces. Además, un material conductivo minimiza las pérdidas de energía durante el proceso de electroestimulación.

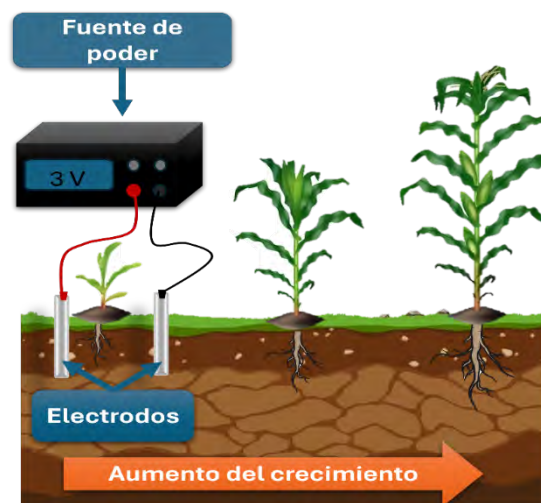


Figura 1. Acomodo de electrodos en el proceso de electroestimulación de plantas.



Figura 2. Características de los electrodos que garantizan su efectividad en el proceso de electroestimulación.

La segunda característica importante es la resistencia a la corrosión (degradación del material), ¿por qué? Porque es importante que los materiales de los electrodos puedan soportar las condiciones ambientales del suelo como las variaciones de pH, la humedad, la presencia de sales y minerales. Ya que una estabilidad en relación con una lenta degradación en los electrodos garantiza que los resultados sean confiables.

Y, por último, la durabilidad, ya que al poseer esta característica se reducen gradualmente los costos de mantenimiento y operación en el reemplazo de electrodos al resistir adecuadamente las condiciones del campo. Otras características que también se buscan es que los materiales que se utilicen no sean tóxicos, si no que tengan una interacción positiva con las plantas obteniendo un crecimiento saludable.

Generalmente se eligen materiales de fácil acceso y que cumplan con las características anteriormente mencionadas, por ejemplo, el acero inoxidable que es duradero y resistente a los ambientes del suelo, igual que el aluminio el cual tiene la ventaja de ser ligero y resistente a la corrosión. También se suelen utilizar diferentes aleaciones especiales como el titanio combinado con platino, níquel, cobre, e incluso se han utilizado materiales de carbón como el grafito y el carbón activado.

La superficie de contacto de los electrodos con el suelo es esencial ya que desempeñan un papel directo en la eficiencia de la estimulación eléctrica



¿Qué beneficios tiene en la planta y el suelo?

La electroestimulación presenta diversos beneficios como el aumento del crecimiento y rendimiento de los cultivos en menor tiempo. Los científicos reportan que las plantas de cultivo sometidas a electroestimulación muestran un vigoroso crecimiento y un alto rendimiento en relación con la biomasa, así como en la producción de frutos. Otro de los beneficios es que la planta aumenta su resistencia a enfermedades y plagas, lo que evita el uso de herbicidas.

En el caso del suelo, los beneficios ofrecen una mejora en la eficiencia de disponibilidad de nutrientes, por ejemplo; la aplicación de corriente o microcorriente en el suelo facilita el movimiento de iones (Figura 3) primordiales en el suelo como iones nitrógeno, fósforo y potasio.

Además, ayuda a la disminución de contaminantes, ya que ayuda a degradar contaminantes orgánicos, reduciendo la toxicidad del suelo y mejorando la calidad para el posterior crecimiento de las plantas. También estimula la actividad microbiana lo que promueve la descomposición de materia orgánica. Otro beneficio importante es que se puede optimizar la adsorción de agua ya que la electroestimulación mejora la agregación de partículas del suelo, mejorando su estructura.

Estos beneficios mejoran significativamente la productividad agrícola en un camino sostenible.

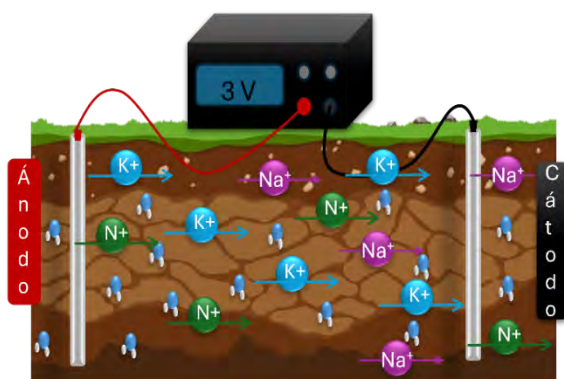


Figura 3. Movimiento de iones por la acción de la corriente aplicada en el proceso de electroestimulación.

La electroestimulación es una técnica prometedora para mejorar las condiciones del suelo y además tiene la ventaja de incrementar el crecimiento y desarrollo de plantas



¿Cómo ayuda la electroestimulación a solucionar la hambruna mundial?

Proveyendo de alimentos nutritivos en menor tiempo, ya que es una herramienta que ofrece aumentar la producción agrícola mejorando el crecimiento y desarrollo de las plantas (Figura 4), creando sistemas agrícolas más sostenibles y resilientes, y como un plus mejorando la eficiencia de los recursos como el agua en los cultivos. Esos beneficios desempeñan un rol crucial en la mitigación de la hambruna mundial promocionando la seguridad alimentaria global.



Esta tecnología aplica corrientes eléctricas al suelo, lo cual promueve incrementar la producción de cultivos con el fin de que los alimentos estén disponibles y con accesibilidad para la población

¿Cuáles son las implicaciones y el futuro de la electroestimulación del suelo?

Las implicaciones y perspectivas en cuanto a este tema se muestran prometedoras, ya que esta herramienta representa un rol clave en las potenciales aplicaciones de la agricultura y transformarla, además de contribuir en la seguridad alimentaria mundial. Mediante la ciencia básica se seguirá enfocando en los materiales de los electrodos más eficientes y durables, que cumplan con las características antes dichas, buscando una optimización y reducción de costos.

El avance tecnológico busca eficientizar las corrientes aplicadas además de ser una herramienta segura que se pueda implementar en los diferentes tipos de suelos y condiciones climáticas.

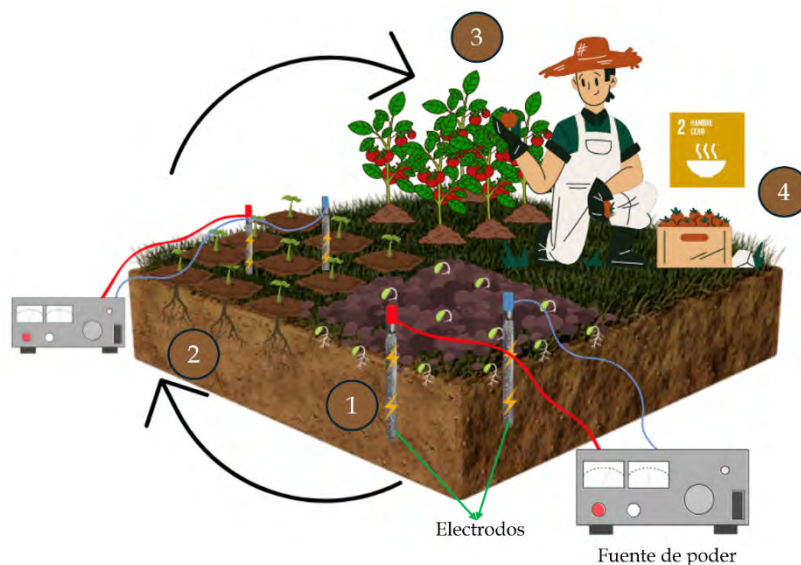


Figura 4. Representación de la aplicación de la electroestimulación en sistemas agrícolas como herramienta para garantizar la disponibilidad de alimentos. 1) Aumento en la tasa de germinación de semillas, 2) estimulación del crecimiento de las raíces de las plantas cultivadas, 3) incremento del rendimiento de los cultivos en menor tiempo y 4) acceso y disponibilidad de alimentos.



Una de las perspectivas sería la integración del uso de energías renovables para alimentar los sistemas de electroestimulación ya sea con energía solar, o eólica fomentando la sostenibilidad y disminuyendo la huella de carbono. Desde luego la implementación a gran escala que permita grandes cultivos agrícolas en las regiones vulnerables a la inseguridad alimentaria.

Conclusiones

La aplicación de la electroestimulación tiene el prometedor impacto de mejorar el aumento de la productividad agrícola, promover la sostenibilidad ambiental, reducir la dependencia de químicos, beneficiar a agricultores y consumidores. Además, ofrece la posibilidad de ser aplicado a cultivos de alto valor nutrimental y económicos, ampliando su alcance a zonas con escaso acceso al alimento y conjuntamente beneficios en la agricultura en general. Toda persona interesada en la innovación agrícola y en la sostenibilidad del suelo y cultivos es participe de explorar más, sobre esta importante y prometedora técnica. Participar en las investigaciones y aplicaciones prácticas abre camino a oportunidades para que el futuro de la agricultura sea equitativo y próspero.

Literatura recomendada

Murr, L. (1963). Plant Growth Response in a Simulated Electric Field-environment. *Nature*, 200, 490–491. <https://doi.org/10.1038/200490b0>

Solís, S.M. Contreras-Ramos, F.J. Bacame-Valenzuela, Y. Reyes-Vidal, E. González-Jasso, E. Bustos. (2023). Comparison of the effects of biological and electrical stimulation on the growth of *Zea mays*. *Electrochimica Acta*. 448, 142193. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2023.142193>

S. Lee, O. Myung-Min. (2023). Electric field: a new environmental factor for controlling plant growth and development in agriculture. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 64, 955–961. <https://doi.org/10.1007/s13580-023-00525-y>

Semblanzas de autores

César Roberto Sarabia-Castillo. Ingeniero en Sistemas Ambientales por la Universidad Politécnica de Durango, Maestría y Doctorado en Ciencias en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía por el Cinvestav-Salttillo. Miembro del Sistema Estatal del Investigadores de Coahuila. Sus Investigaciones se enfocan en el estudio de nanomateriales y sus efectos en las interacciones Planta-Suelo-Microorganismos.

Perla Cecilia Meléndez-González. Química por la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila, Maestría en Ciencias en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía, y Doctorado en Nanociencias y Nanotecnología por el CINVESTAV. Actual investigadora posdoctoral en la Universidad Autónoma de Nuevo León. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Sus áreas de investigación abarcan los nanomateriales aplicados para en técnicas electroquímicas de remediación ambiental





Soil Mapping for Sustainable Land Use Planning

3rd JOINT WORKSHOP ON DIGITAL SOIL MAPPING & GLOBAL SOIL MAP

21st - 24th January 2025
Bengaluru, India

ICAR-National Bureau of Soil Survey
and Land Use Planning, Nagpur

in association with

Indian Society of Soil Survey and Land Use Planning (ISSLUP), Nagpur
The International Working Group of Digital Soil Mapping &
The International Working Group of GlobalSoilMap



[Haga clic aquí para descargar el folleto](#)



Comunicación y señales químicas producidas por los microorganismos del suelo

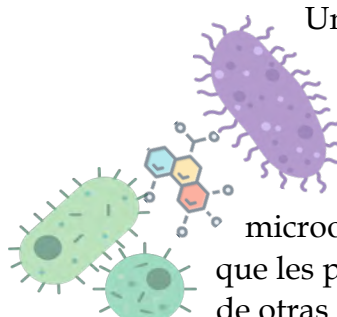
Eduardo Valencia-Cantero¹
Lourdes Macías-Rodríguez^{1*}

¹ Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich. México.

*Autor para correspondencia: lourdes.macias@umich.mx

Los microorganismos del suelo son una alternativa para una agricultura sustentable y el manejo de cultivos orgánicos. Estos microorganismos producen distintos tipos de moléculas que son liberadas al ambiente favoreciendo la nutrición, el rendimiento y la adaptación de las plantas a distintos tipos de estrés. Además, son percibidas por los animales, entre ellos los insectos modificando su comportamiento ya sea de oviposición o alimenticio, lo que resulta conveniente en programas de control biológico de insectos herbívoros.

Introducción



Una señal química es una molécula producida por un organismo que desencadena una respuesta en otro organismo. El organismo que produce la molécula es el organismo emisor, y el organismo en el que se desencadena la respuesta es el organismo receptor u “organismo blanco”; esto es válido también en organismos unicelulares. Los microorganismos del suelo son capaces de liberar señales químicas al ambiente que les permiten intercambiar información con individuos de la misma especie o de otras especies. Parece extraño, pero los microorganismos producen estas señales como una forma de comunicación elemental mediante la cual coordinan actividades como población. Interesantemente, muchas de estas señales son propias de un grupo de microorganismos en particular, lo que permite que el reconocimiento y la comunicación sean “específicos”. Esto es posible porque una vez liberados los compuestos señal, pueden viajar y entrar en contacto con muchos tipos de organismos; para que la señal sea percibida y surta efecto, el “organismo blanco” debe de contar con el aparato molecular adecuado para captar la señal, que usualmente es un conjunto de proteínas especializadas que se llaman proteínas receptoras.

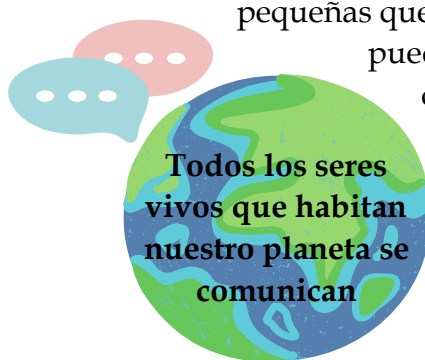




La capacidad de emitir señales está grandemente afectada por la nutrición, fase de crecimiento y el tipo de metabolismo del microorganismo, entre otros factores. Entonces podemos afirmar, en un contexto ecológico, que los microorganismos del suelo se comunican con otros microorganismos, con las plantas y con los animales, y que son participantes cruciales para el correcto funcionamiento de un agroecosistema.

Hay señales químicas microbianas que van a donde las lleve el viento

Las señales químicas que participan en la comunicación de los microorganismos con su entorno derivan principalmente del metabolismo secundario, es decir, que no son realmente vitales pero que tienen un alto valor adaptativo y suelen producirse en condiciones de agotamiento de nutrientes en el entorno, o bien, en momentos clave del ciclo de vida en las que son importantes, tales como la formación de esporas y las transformaciones que las células llevan a cabo para especializarse. Por supuesto, la estructura molecular de las señales químicas es diversa, y depende en buena medida de la ruta metabólica de la cual derivan. Entre las señales químicas producidas por los microbios se encuentran moléculas pequeñas que están en estado gaseoso a temperatura ambiente, por lo tanto, pueden ser transportadas por el viento y ser detectadas a kilómetros de distancia de la fuente emisora. Por lo que son esenciales en las relaciones dentro de las especies (intraespecíficas), o bien, entre las especies (interespecíficas) de un ecosistema, recibiendo así el nombre genérico de compuestos orgánicos volátiles (COV).



Todos los seres vivos que habitan nuestro planeta se comunican

Quando hablamos de comunicación, estamos acostumbrados a pensar en la comunicación humana, que es compleja, y que abarca distintas formas de intercambio de información complementarias al de las palabras tal como los gestos, las posturas, o el olor característico que emana una persona. Quizás por ello, resulte extraño utilizar la palabra “comunicación” en la naturaleza, pero el término en sí refiere al intercambio de información entre dos o más participantes. Por lo tanto, todos los seres vivos que habitan nuestro planeta se comunican, porque la comunicación es una necesidad para alimentarse, reproducirse, adaptarse o evitar la depredación. Como se ha mencionado, dicha comunicación se lleva a cabo al menos en parte mediante los COV.

A lo largo de la historia, el ser humano ha aprovechado la habilidad de los microorganismos para producir compuestos con olores característicos, y los ha utilizado durante la elaboración de alimentos y bebidas.



Actualmente, es de interés el estudio de aquellos compuestos microbianos que puedan tener alguna aplicación en agroecología. En este punto debemos hacer un paréntesis para hablar acerca de las denominadas “rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal”, también conocidas como “PGPR” (por sus siglas en inglés). Los criterios para definir a un grupo bacteriano como PGPR han variado desde su primera definición por Joe Kloepper (~1976), pero en general son aquellas bacterias que colonizan activamente la rizósfera, sobreviven, se multiplican, compiten con la microbiota y promueven el crecimiento de la planta mediante distintos mecanismos, tal como, la adquisición incrementada de nutrientes, la producción de fitohormonas, la inducción de mecanismos de resistencia a patógenos y la antibiosis directa contra fitopatógenos (Figura 1).

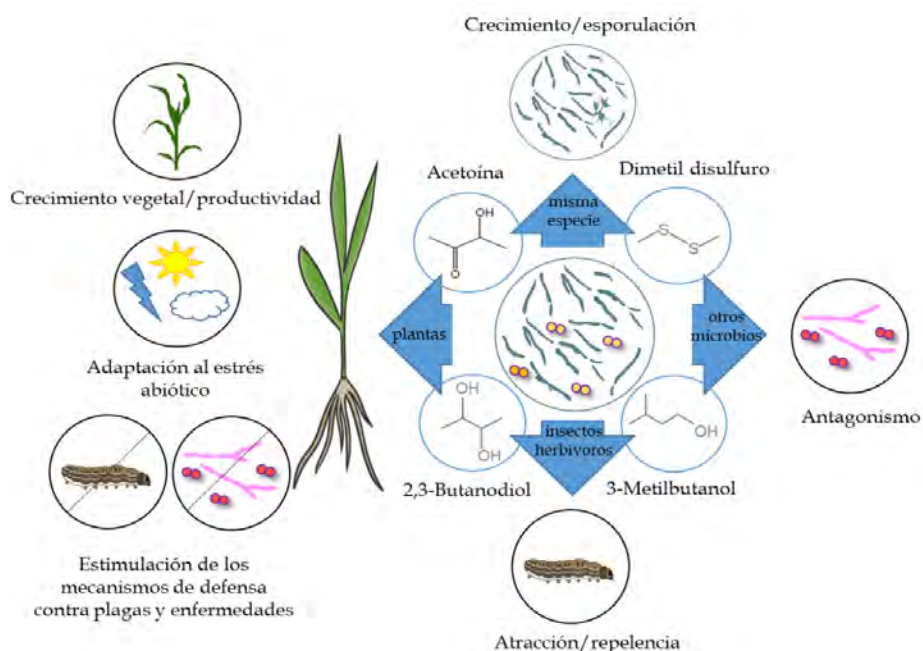


Figura 1. Ejemplos de compuestos orgánicos volátiles producidos por microorganismos del suelo y sus funciones biológicas durante la comunicación microbiana o bien con plantas e insectos.

En 2003, se describió por primera vez que la PGPR *Bacillus subtilis* GB03 emite los COV 3-hidroxi-2-butanona (acetoína) y 2,3-butanodiol, que son reconocidos por las plantas estimulando su crecimiento y desarrollo. A partir de ese momento han surgido diversos estudios que relacionan a los COV microbianos con la activación de los mecanismos vegetales que participan de la toma de nutrientes del suelo, la estimulación de la inmunidad y la tolerancia al estrés del tipo biótico (de origen biológico) o abiótico (de origen ambiental), entre otros.



Por ejemplo, *Arthrobacter agilis* UMCV2, una PGPR aislada de la rizósfera de maíz, produce el compuesto *N,N*-dimetilhexadecilamina que estimula el crecimiento vegetal e inhibe el crecimiento de hongos patógenos de plantas, o sea, fitopatógenos como *Botrytis cinerea* que es causante del moho gris (Tabla 1). Otro ejemplo de la función biológica de los COV microbianos en la naturaleza, es durante la interacción de microorganismos con insectos. Dicha interacción puede ser mutualista (si ambos organismos se benefician) o patogénica (si uno infecta al otro), como el caso de los microorganismos entomopatógenos. Los insectos perciben aromas en concentraciones extremadamente bajas, en el orden de un billonésimo de gramo (pg) por metro cúbico de aire en lapsos de milisegundos, para algunos compuestos en específico. Esto los convierte en organismos altamente sensibles a moléculas aromáticas. De esta forma, los insectos se crean una percepción global de su entorno. Esta capacidad constituye una parte importante en su supervivencia, utilizándola para encontrar fuentes de alimento, sitios de refugio, para la búsqueda de pareja, la evasión de potenciales amenazas y para la selección de sitios de anidamiento.

Así pues, se reporta que diversos COV microbianos actúan como atrayentes, repelentes, modulan patrones de alimentación y postura de sus huevos (oviposición), entre otros. Esto sucede, por ejemplo, en la relación mutualista de la polilla de la manzana (*Cydia pomonella*) con las levaduras del género *Metschnikowia*. La polilla de la manzana es una plaga de gran importancia económica y su interacción con la levadura es esencial para su supervivencia, pues las larvas de *C. pomonella* se alimentan de las levaduras, promoviendo el desarrollo y reduciendo la mortalidad del insecto. A su vez, las levaduras proliferan a causa de la presencia del insecto que propicia su diseminación en el fruto. Además, las hembras adultas de la polilla son atraídas por los COV emitidos por las levaduras y prefieren ovipositar en manzanas inoculadas con la levadura.

Los insectos perciben aromas en concentraciones extremadamente bajas, en el orden de un billonésimo de gramo (pg) por metro cúbico de aire en lapsos de milisegundos

Una de las cosas que llama mucho la atención es que frecuentemente, en una relación de patogénesis tal como la de los hongos entomopatógenos que se especializan en parasitar y consumir a diferentes grupos de artrópodos, entre ellos a los insectos, se observa que los hongos entomopatógenos tienen la capacidad de alterar la conducta reproductiva de sus huéspedes insectos, lo que facilita la dispersión de los hongos en el ambiente.



Por una parte, el patógeno hace que el insecto infectado resulte más atractivo para otros insectos sanos por el cambio en la huella de COV que emite, o bien, modifica la conducta del huésped infectado al incrementar su frecuencia de cópula o el tiempo que le toma el acto. Esto ha sido observado como una estrategia de propagación de la infección por el entomopatógeno *Entomophthora muscae*, que produce el compuesto etil octanoato que estimula a los machos sanos la actividad de copular con los cadáveres de hembras de moscas infectadas.

Tabla 1. Ejemplos de señales químicas producidas por algunos microorganismos con actividad biológica

Microorganismos	Señal química	Organismo receptor	Efecto
Bacterias			
<i>Bacillus subtilis</i> GB03	Acetoína	Plantas	Promotor del crecimiento vegetal y activación de los mecanismos de defensa en plantas
		Microorganismos	Antimicrobiano
<i>Arthrobacter agilis</i> UMCV2	N,N-Dimetilhexadecilamina	Plantas	Promotor del crecimiento vegetal y activación de los mecanismos de defensa en plantas
Hongos			
<i>Trichoderma atroviride</i> IMI 206040	6-Pentil-piran-2-ona	Plantas	Promotor del crecimiento vegetal y activación de los mecanismos de defensa en plantas
		Microorganismos	Antimicrobiano
		Artrópodos herbívoros	Disuasivo sobre el forrajeo, atracción de enemigos naturales de los artrópodos
<i>Beauveria bassiana</i> AI2	3-Metilbutanol	Artrópodos herbívoros	Modulación de la oviposición de sus hospederos



¿Cómo se estudian los COV microbianos?

Para estudiar la función biológica de los COV microbianos, se utilizan sistemas con compartimentos separados donde los microbios del suelo se comunican con otros organismos exclusivamente mediante la emisión de COV. Ejemplos de estos sistemas experimentales pueden observarse en la Figura 2, que ilustra cajas de Petri con una división y frascos para el cultivo in vitro de plantas con un pequeño frasco adentro, que fueron utilizados para conocer el efecto de los compuestos emitidos por la *Bacillus methylotrophicus* M496 (PGPR) en la promoción del crecimiento en plantas de *Arabidopsis thaliana* y de fresa (*Fragaria x ananassa*).

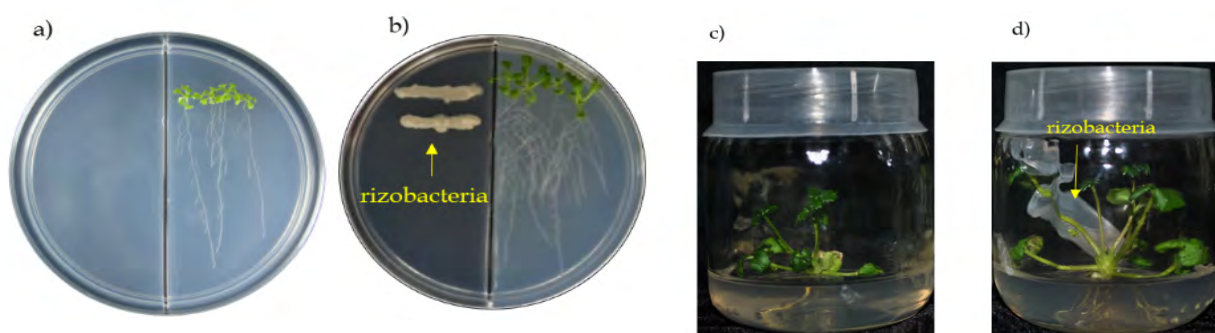


Figura 2. Efecto de los compuestos orgánicos volátiles producidos por la rizobacteria *Bacillus methylotrophicus* M496 sobre el crecimiento y desarrollo de plantas. a) Plantas de *Arabidopsis* crecidas en cajas de Petri con una división física. b) Plantas de *Arabidopsis* estimuladas en su crecimiento y desarrollo por los compuestos bacterianos. c) Plantas de fresa crecidas en frascos de vidrio. d) Plantas de fresa estimuladas en su crecimiento y desarrollo por los compuestos bacterianos. La figura muestra que los compuestos producidos por la bacteria estimulan la acumulación de biomasa foliar y radicular en ambos tipos de plantas en comparación al control sin inóculo bacteriano.

Actualmente, existen diversas estrategias para el análisis de COV microbianos, sin embargo, la técnica más revolucionaria ha sido quizás la microextracción en fase sólida (SPME, por sus siglas en inglés). Esta técnica tiene la ventaja de que no emplea disolventes para la extracción y no es necesario un manejo de muestra previo, lo cual es altamente deseable. La técnica de SPME fue desarrollada por Arthur y Pawliszyn en 1990 y simula una jeringa. Al interior de la aguja se encuentra una fibra de núcleo de sílice fundida (aproximadamente 1 cm en longitud) recubierta con un adsorbente que captura los COV. Posteriormente, los COV son desorbidos térmicamente de la fibra en el puerto de inyección de un cromatógrafo de gases (equipo para análisis de gases, Figura 3).



El cromatógrafo de gases, es una maravilla moderna, permite separar las moléculas que componen una muestra (mezcla) al hacerlas pasar por lo que podemos describir como un tubo sumamente estrecho de unos 30 m de longitud llamado columna y con base a las diferencias en las propiedades físicas y químicas de las moléculas, unas se desplazan y salen más rápido del tubo que otras. Finalmente, se analizan ya “puras” por un detector que da información sobre la identidad química de los COV.

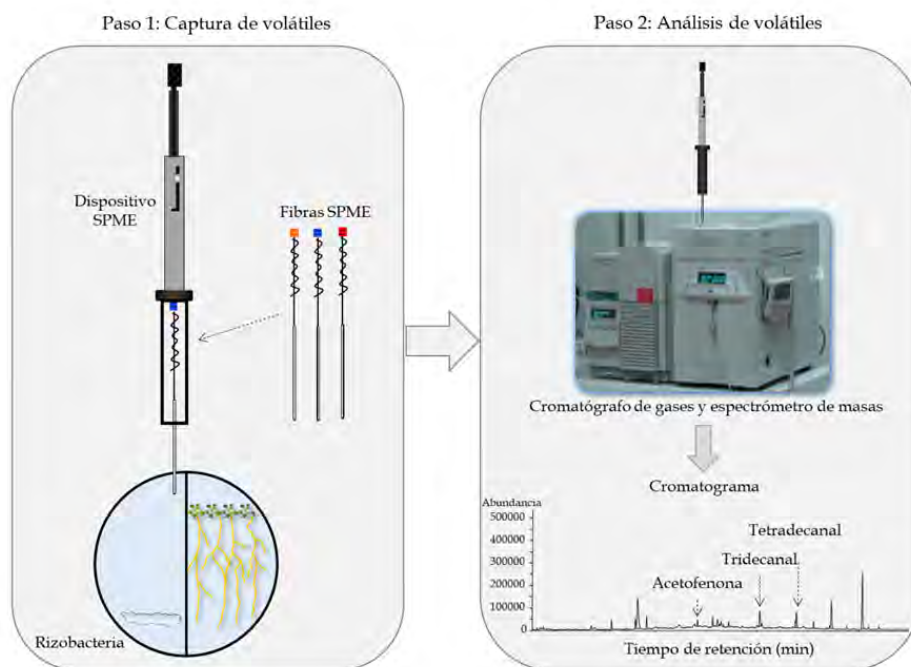
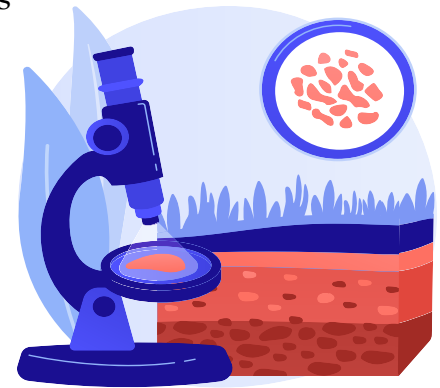


Figura 3. Pasos para el análisis de compuestos orgánicos volátiles (COV) por la técnica de microextracción en fase sólida (SPME) durante la interacción planta-microorganismo en un sistema de caja de Petri con división. El paso 1 consiste en la introducción de la fibra de SPME previamente activada con calor al interior de la caja de Petri. Al cabo de un tiempo aproximado de 30 min, se retira el SPME y durante el paso 2, se introduce la fibra en el puerto de inyección de un cromatógrafo de gases con un detector de espectrometría de masas, donde los compuestos capturados serán desorbidos con temperatura y analizados. El software del equipo proporciona un gráfico conocido como cromatograma. Cada señal que sale del detector en el tiempo, representa a un compuesto identificado. Como ejemplo se menciona a la acetofenona, tridecanal y tetradecanal, cuya identidad se corrobora con compuestos puros que se adquieren de forma comercial.




Conclusiones

La funcionalidad y regulación de un ecosistema depende en buena medida de la comunicación entre sus miembros. Este es un evento altamente coordinado que involucra el intercambio de diferentes señales químicas, algunas de ellas volátiles. Definitivamente, las señales químicas producidas por los microorganismos del suelo son cruciales, contribuyen al equilibrio en el ambiente y suelen ser específicas hacia un receptor, lo que vuelve más eficiente el canal de comunicación con el paso de las generaciones. Con el tiempo, la cantidad de metabolitos microbianos reportados ha ido en aumento. En la literatura se reportan más de mil metabolitos, lo que va de la mano con el aumento en el conocimiento de la diversidad microbiana que existe en la naturaleza. Estudiar la actividad biológica de todas estas moléculas requiere de un trabajo exhaustivo. Sin embargo, actualmente se trabaja en el diseño de estrategias biotecnológicas viables para su aplicación en el campo y como complemento al uso de bioinoculantes en beneficio del ambiente y manejo integrado de los cultivos.



Literatura recomendada



Velázquez-Becerra, C., Orozco-Mosqueda, M.C., Macías-Rodríguez, L., Flores-Cortez, I., Santoyo-Pizano, G. & Valencia-Cantero E. (2011). La planta leguminosa *Medicago truncatula* y la rizobacteria *Arthrobacter agilis* se perciben mutuamente por medio de sus compuestos orgánicos volátiles. *Ciencia Nicolaita* 54, 41-54.

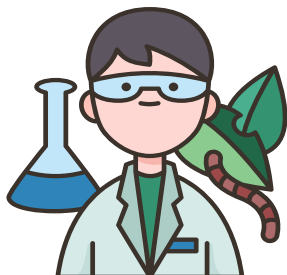
Macías-Rodríguez, L. (2016). Contribución de la química analítica al estudio de la interacción planta-microorganismo. En Santoyo-Pizano, G. & Reyes de la Cruz, H. (Eds.). *Avances en las ciencias químico biológicas* (pp. 105-110). Fontamara, México.

Macías-Rodríguez, L. & Valencia-Cantero, E. (2020). *Arthrobacter agilis* UMCV2: Múltiples mecanismos de promoción del crecimiento vegetal. En Orozco-Mosqueda, M.C. & Santoyo-Pizano, G. (Eds.). *Bacterias promotoras del crecimiento vegetal. Aspectos básicos y aplicaciones para una agricultura sustentable* (pp. 169-182). Fontamara, México.





Semblanzas de autores



Dr. Eduardo Valencia Cantero. Es Biólogo por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, cuenta con estudios de Maestría en Ciencias con especialidad en Biotecnología y Doctorado en Ciencias con especialidad en Biotecnología de Plantas por Cinvestav-IPN. Su especialidad se centra en ecología microbiana. Es miembro del SNII, nivel III.

Dra. Lourdes Macías-Rodríguez. Es Químico Farmacobiólogo por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, cuenta con estudios de Maestría en Ciencias y Doctorado en Ciencias con especialidad en Biotecnología de Plantas por Cinvestav-IPN. Su especialidad se centra en química analítica, metabolómica e interacción planta-microorganismo. Es miembro del SNII, nivel II



Envía tus contribuciones científicas a la revista **Terra Latinoamericana**, órgano de difusión de la SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO, A. C.

Terra Latinoamericana es de publicación continua y publica artículos científicos originales de interés para la comunidad de la ciencia del suelo y agua.

TERRA
Latinoamericana



ISSN Electrónico 2395 - 8030

<https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra>



ESTRUCTURA DEL SUELO

1. ¿Qué es?

Es el arreglo de las partículas de arenas, limos y arcillas en unidades más grandes (agregados) con una coherencia y estabilidad variable.

2. De acuerdo con su desarrollo...

Se tienen dos grupos: las estructuras pedales que se relacionan con la edafogénesis (desarrollo y evolución del suelo), y las estructuras apedales, que se asocian con el arreglo original de los materiales (sin procesos evolutivos).

3. Tipos de estructuras



4. Es importante conocer la estructura del suelo porque...

Es un factor que influye en el desarrollo de raíces, movimiento del agua en el suelo, recarga de acuíferos, labranza, manejo y productividad agrícola, entre otras funciones ambientales que los suelos nos proporcionan.

Sandra Monserrat Barragán Maravilla,
 Gabriel Alejandro Hernández Vallecillo y
 Patricio Sánchez Guzmán.



Información relacionada con la infografía publicada en las páginas 32 y 33

Estructura del suelo

Sandra Monserrat Barragán-Maravilla*
Gabriel Alejandro Hernández-Vallecillo
Patricio Sánchez-Guzmán

Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo

*Autor para correspondencia: sandy.barragan.maravilla@gmail.com

Literatura recomendada

Bronick, C.J. & Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124 (1-2):3-22.
Ortiz-Solorio C.A. (2019). *Edafología*. Tercera Edición. Editorial Trillas.

Semblanzas de autores

Sandra Monserrat Barragán Maravilla. Bióloga, egresada de la FES-Zaragoza, UNAM. Maestra en Ciencias y Candidata a Doctora en Ciencias, Posgrado de Edafología, Colegio de Postgraduados. Ha descrito y clasificado suelos en proyectos Nacionales, Estatales y Municipales. Realiza estudios de Génesis y Clasificación de suelos.

Gabriel Alejandro Hernández Vallecillo. Biólogo, egresado de la FES-Zaragoza, UNAM. Maestro en Ciencias y Candidato a Doctor en Ciencias, Posgrado de Edafología, Colegio de Postgraduados. Ha realizado mapeo digital de suelos en los proyectos como el Tren Maya y el Levantamiento de Suelos del ex lago de Texcoco. Realiza estudios del efecto de incendios forestales en las propiedades de los suelos.

Patricio Sánchez Guzmán. Ingeniero Agrónomo especialista en suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Maestro en Ciencias, Posgrado de Edafología, Colegio de Postgraduados. Investigador Adjunto, Responsable del Laboratorio de Génesis, Morfología y Clasificación de Suelos y del Museo Nacional de Suelos. Realiza estudios de Entnopedología, Ordenamiento Territorial y Levantamientos de Suelos.





Cochinillas de tierra o bichos bola: ¡pequeñas guerreras que descontaminan el suelo!

José Antonio Huertos Ramírez ¹,
Hermes Pérez Hernández ^{2*}

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. C.P. 25350. México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Edzná, Campeche. C.P. 24520. México.

*Autor para correspondencia: hermesph@hotmail.com

Las cochinillas de tierra son crustáceos terrestres que habitan por debajo de piedras, troncos caídos o cualquier objeto que les brinde protección y humedad. Por insignificantes que parezcan, tienen la capacidad de descomponer materia orgánica, participan en el ciclo de nutrientes, contribuyen a la fertilidad del suelo y sobre todo, son consideradas guardianes silenciosos de nuestros ecosistemas; descontaminan suelos agrícolas y urbanos.



Introducción

En los rincones oscuros de nuestros jardines y bosques, existen un grupo de artrópodos fascinantes poco conocidos para muchos de nosotros y que desempeñan un papel muy importante para la salud de nuestros ecosistemas. Me refiero a los isópodos de tierra, más comúnmente conocidos como “cochinillas de tierra” o “bichos bola”. Si buscamos en los jardines o parques podemos encontrarlos; en las piedras o cualquier resto vegetal que mantenga humedad, pero con seguridad, se pueden avistar por debajo de los tallos y ramas caídas de espacios agrícolas o bosques.

A lo largo de este artículo, nos adentraremos en conocer la vida de estos organismos y la relación con su entorno. Descubriremos cómo han capturado la atención de los científicos y amantes de la naturaleza a lo largo de décadas de estudio y observación. Desde su uso en la investigación científica hasta su contribución a la educación ambiental, los isópodos del suelo demuestran una vez más que la naturaleza está repleta de maravillas ocultas esperando a ser descubiertas, con ello, nos recuerda que incluso en los lugares más inesperados, la vida florece en toda su belleza y complejidad.



¡Si quieres conocer más sobre estos fascinantes bichos de tierra!, únete a este emocionante viaje hacia los recónditos hábitats del suelo que, a pesar de su tamaño y apariencia insignificante, son en realidad maestros de la descomposición, reciclaje de nutrientes y de la descontaminación del suelo, desempeñando así un papel crucial en la mejora de la calidad de los suelos, por si fuera poco, se caracterizan por su asombrosa adaptación a la vida terrestre. Estamos a punto de descubrir un mundo bajo nuestros pies que, una vez revelado, cambiará nuestra percepción de la vida del suelo, realmente, estos pequeños tesoros subterráneos merecen nuestra atención y aprecio.

Desarrollo

¿Qué son los isópodos del suelo?

Quizás has escuchado hablar de los crustáceos, dentro de ellos se incluyen a los camarones, langostas, cangrejos de mar y río. ¿Qué crees? Los isópodos o conocidos como "cochinilla de tierra" también son crustáceos, pero de tierra. A pesar de su apariencia no agradable para muchos, estos diminutos habitantes del suelo tienen una historia evolutiva fascinante. Con un promedio de vida de 3 años y con un máximo de tamaño de 10 mm de largo, las cochinillas se han adaptado a vivir en tierra firme junto a nosotros, desarrollando un caparazón resistente y segmentado con la capacidad para respirar en ambientes terrestres y recónditos. Su cuerpo está constituido por tres zonas que en conjunto forman un esqueleto fascinante de admirar (Figura 1). Las partes específicas externas se mencionan a continuación:

1. Cabeza: alberga las estructuras sensoriales como los ojos y las antenas, las cuales son importantes, permiten la detección de olores que a la vez les sirve para orientarse.
2. Tórax: consta de varios segmentos, cada uno con un par de patas. Las cochinillas de tierra tienen siete pares de patas, las utilizan para caminar y moverse perfectamente en espacios reducidos.





3. Abdomen: constituidos de varios segmentos, uno sobre otro, esto les permite enrollarse en una bola para protegerse de sus depredadores.
4. Uropodios: son apéndices que ayudan a la movilidad del isópodo, además, tiene la función en la regulación y conservación del agua en su cuerpo.
5. Placas dorsales: algunos isópodos de tierra tienen placas dorsales o escudos que cubren parte de su cuerpo, proporcionando una protección adicional.

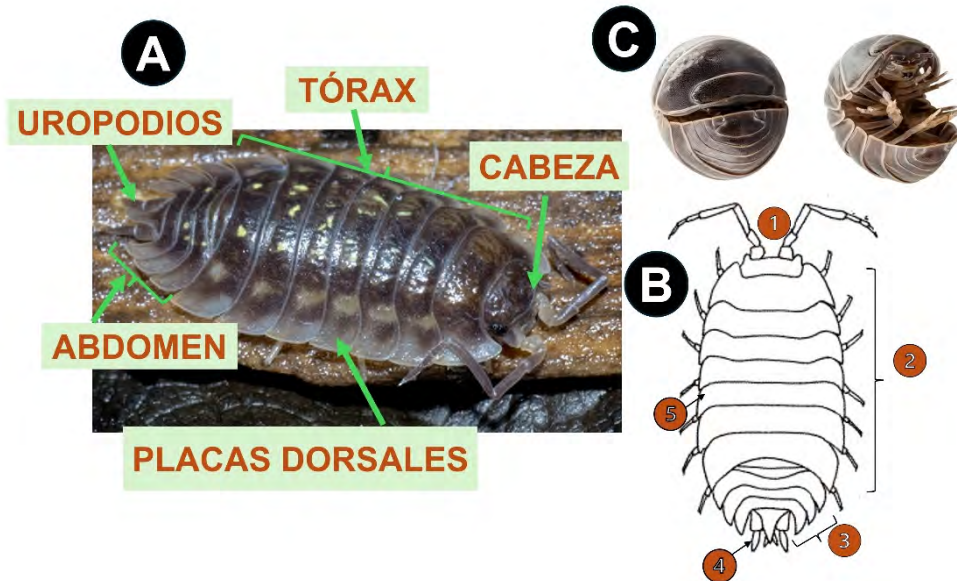


Figura 1. Principales partes externas que componen a las cochinillas de tierra (A) y (B) y la forma que adquiere el cuerpo cuando se siente amenazadas por los depredadores y por contacto cuando las tocamos (C).

Estrategias de vida y adaptaciones únicas

Las cochinillas del suelo han desarrollado estrategias de vida para prosperar a entornos los cuales no pudiéramos imaginar. Las cochinillas evitan la exposición a la luz del día, salen de sus refugios por la noche para buscar alimento. Además, al realizar sus actividades durante las horas de oscuridad evitan la desecación y al mismo tiempo les sirve para evadir a los depredadores diurnos. Realmente, son presas muy fáciles, sobre todo porque no pueden correr, trepar o saltar.

¡Tristemente, no logran escapar de sus depredadores!, pero ¿Por qué son presas deseadas? Bien, en este punto, te voy a contar algo interesante. La armadura o caparazón está formada por calcio y muchos otros minerales como el magnesio, sodio, hierro y cobre, además, son ricos en proteínas, grasas y fibras, esto quiere decir que para los depredadores es un alimento apetecible. ¡Ahhhhhhhh! ¿Sabías que tienen una estrategia fascinante para protegerse de los depredadores? ¿Los has visto enrollarse o hacerse bola?



Las cochinillas son animalitos fascinantes, su caparazón se asemeja a la armadura de guerreros medievales y se enrollan en una bola que les sirve de protección cuando se sienten amenazados por sus depredadores.

La capacidad de enrollarse en una bola sucede precisamente cuando se sienten amenazados, es una adaptación única y defensiva que les proporciona protección (Figura 1 C). Entonces, *¡que no te sorprenda!*, por naturaleza estos pequeños gigantes nacen protegidos con armaduras, *¡sí! ¡como si fueran guerreras medievales!* Es más, no nos dejan de sorprender, cuando algún depredador les causa daño, las cochinillas experimentan un proceso de muda; implica el desprendimiento de su antiguo exoesqueleto (armadura) y de esta manera reemplazan sus caparazones dañados, o

bueno, posiblemente ya envejecidos. Cuando tengas la oportunidad, obsérvalos detenidamente y verás que los segmentos son como una armadura de metal.

Otro aspecto importante que destacar de las impresionantes cochinillas, es la forma de socializar, en realidad viven en grupos, el agruparse, además que les proporciona una mayor protección contra depredadores, les ayuda a mantener una atmósfera húmeda y estable en sus refugios.

¿Sabías que los isópodos de tierra son vulnerables a la desecación? A diferencia de otros organismos que tienen una cutícula cerosa, las cochinillas no, esta condición los hace vulnerables a la pérdida de agua. Sin embargo, estos organismos son asombrosos, tienen la capacidad de absorber agua a través de un órgano llamado uropodio. Quiero que te imagines como un tipo de miniesponja adheridos al cuerpo, es como un sistema colector de agua y retenedor de humedad. Además, este órgano tiene la función de excretar gases o amoníaco que acumulan en sus cuerpos cuando consumen y descomponen materia orgánica. Con lo que te acabo de contar, que no te sorprenda ver a las cochinillas en áreas con alta humedad por debajo de las piedras, tronco caído o cualquier objeto que les sirva de hogar. *¿Qué pasa si les quitamos los refugios?* Los bichos bola pueden dispersarse a nuevas áreas en busca de alimento, refugio y condiciones ambientales más adecuadas, incluso, en ocasiones podemos avistarlos en nuestros hogares, en los jardines, en los baños e incluso en la cocina.

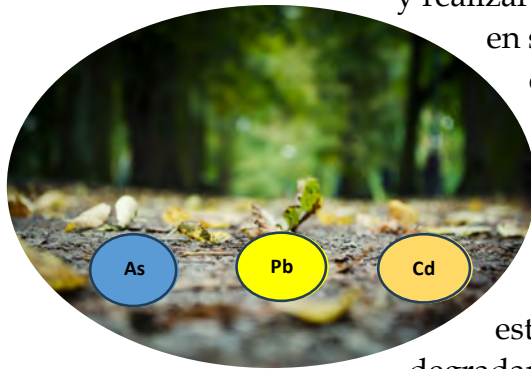
Las cochinillas o bichos bola, además de ayudar en la descontaminación de suelos, son consideradas colaboradoras en la investigación científica



Guardianes del suelo y aliados del ambiente

Además de todo lo mencionado, descubrirás más cosas de estos animalitos del suelo. Las cochinillas, además de tener un rol importante en la descomposición de la materia orgánica, son claves en el ciclo de nutrientes, ya que se alimentan de hojas, restos vegetales, heces de animales, hongos y de todo tipo de residuo orgánico que puedan encontrar a su paso. A través del proceso de digestión, transforman los desechos orgánicos en nutrientes esenciales, contribuyendo así a la fertilidad del suelo, *¡pero aunque no lo creas!, ¿sabías que los bichos bola se les considera guardianes silenciosos de nuestros ecosistemas?*

Hace un par de décadas, se descubrió que los bichos bola pueden descontaminar el suelo. Técnicos, estudiantes y científicos, han demostrado que después de capturar y realizar análisis en aquellas cochinillas que permanecieron en suelos contaminados, encontraron altas



concentraciones de arsénico (As), plomo (Pb) y cadmio (Cd) por arriba de lo permitido en suelos urbanos y agrícolas (Figura 2). Te preguntarás, *¿dónde se acumulan?* El hepatopáncreas es el principal órgano dentro del intestino donde se acumulan metales pesados. La función principal de este órgano, es la liberación de enzimas digestivas para degradar sustancias orgánicas y absorber nutrientes. Las

mismas funciones que realizan el páncreas y el hígado en el cuerpo de los humanos. En el caso de los bichos bola, el hepatopáncreas, aunque representa solo el 5% del peso corporal, puede acumular entre el 75% y el 95% de sustancias tóxicas, incluyendo los metales pesados. Algo sorprendente, es que a pesar de consumir contaminantes, en los animalitos no se logran percibir efectos dañinos. ¡que asombroso! ¿Te imaginas? Sin embargo, como en todos casos, hay un límite, cuando las concentraciones de contaminantes son elevadas, han provocado daños en los genes, en el crecimiento, la reproducción y la sobrevivencia de las asombrosas aliadas del ambiente.

El hepatopáncreas, es el principal órgano de las cochinillas dentro del intestino en el que acumulan metales pesados como el cromo, zinc, cobre, cadmio, plomo y mercurio

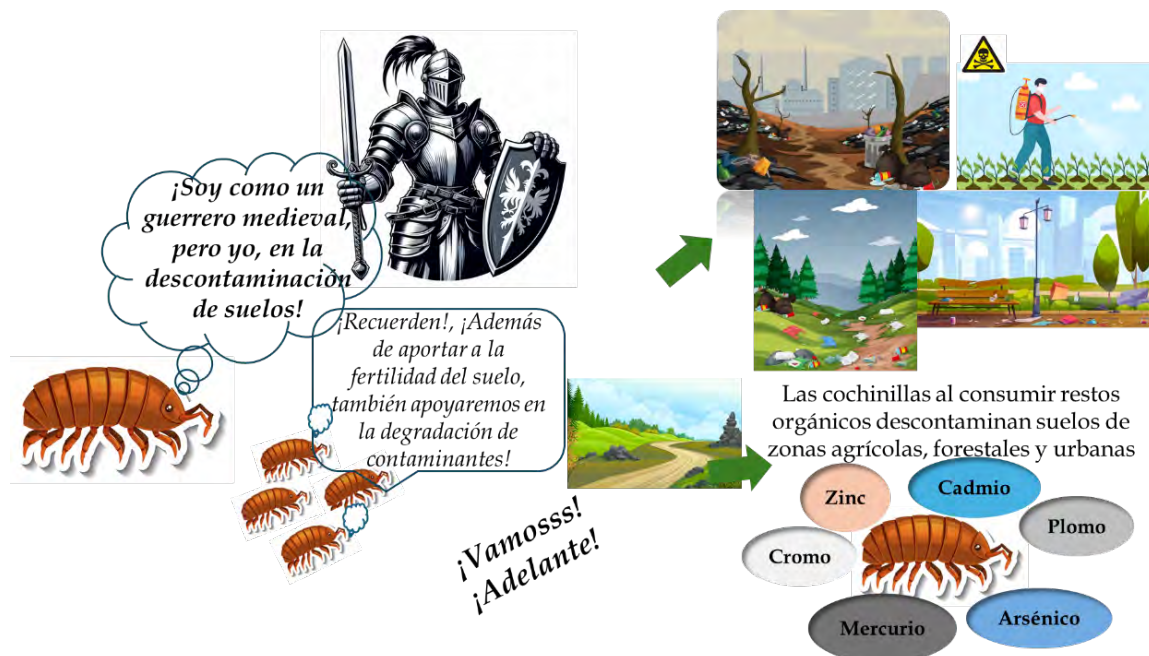


Figura 2. Las cochinillas de tierra cumplen la función de descontaminar suelos de zonas agrícolas, forestales y urbanas.

Estudios de laboratorio han probado una infinidad de compuestos tóxicos, periodos de exposición y distintas concentraciones de contaminantes sobre las cochinillas de tierra. Por ejemplo, dentro de los pesticidas (insecticidas y fungicidas) se ha evaluado el clorpirifos, dimetoato, endosulfán, imidacloprid, glifosato, paratión, mancozeb y otros. En el caso de metales pesados, el cromo (Cr), zinc (Zn), cobre, cadmio, plomo y mercurio. Por otra parte, las investigaciones han demostrado que las concentraciones de contaminantes entre los 10 y 3000 mg por kilogramo (mg kg^{-1}) de suelo seco, han sido el rango probado en los estudios de laboratorio, demostrando que concentraciones superiores a los 200 mg kg^{-1} provocaron daños en los organismos e incluso la muerte.

Importancia en las investigaciones científicas

Las cochinillas se encuentran distribuidas en casi en todo el mundo, encontrando así un número diverso de especies y, por lo tanto, de características distintivas en tamaño y color. De acuerdo con la literatura científica, las especies más utilizadas son *Porcellio scaber*, *Armadillidium vulgare* y *Armadillo officinalis* en estudios de ecotoxicología, definido este como la ciencia experimental que permite comprender los efectos directos de compuestos o sustancias sobre individuos o poblaciones de organismos en condiciones naturales reducidas (Figura 3).



En el contexto anterior, en una investigación realizada en Austria, investigadores observaron que, cuando se colocaron las cochinillas en suelos de áreas urbanas, encontraron que la concentración del plomo en los cuerpos estaba relacionada con la densidad del tráfico; es decir, entre más vehículos circulaban por las calles por día, mayor era la presencia del metal pesado en el suelo y en el cuerpo de las cochinillas. En caso contrario, los bichitos bola que fueron colocados en áreas con poco tráfico, la presencia de plomo en el cuerpo fue nulo.

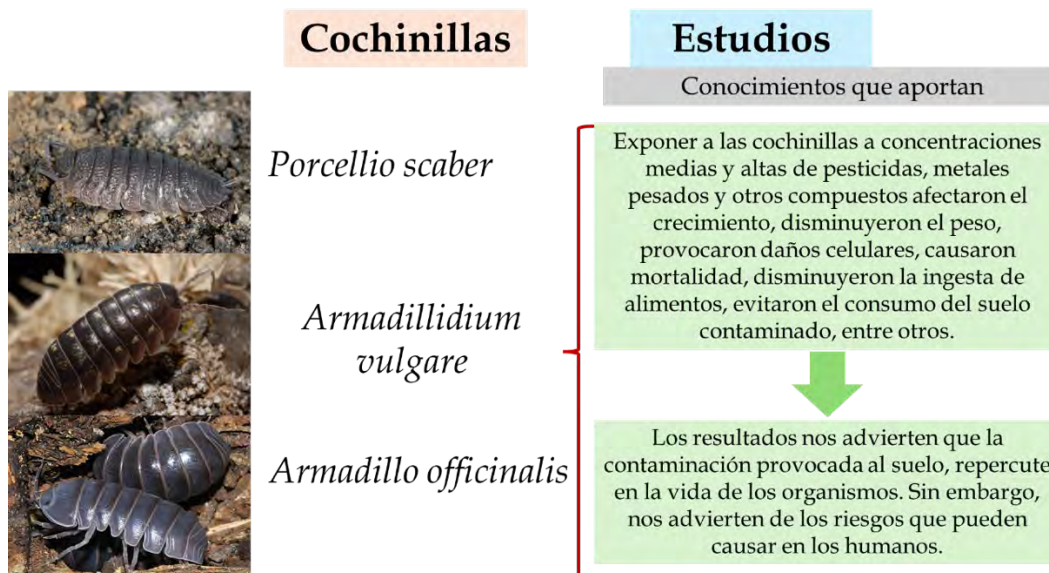


Figura 3. Principales cochinillas de tierra utilizadas en la investigación científica.

En otro estudio interesante, se demostró que el sedimento de los lagos utilizados en los suelos agrícolas bajo la idea de incrementar la fertilidad, se encuentran contaminados por metales pesados. En detalle, fueron los científicos de la Universidad de Túnez quienes revelaron que cuando expusieron las cochinillas durante tres semanas a sedimentos colectados del lago Ghar El Melh en Tunez, observaron una disminución en el crecimiento y esto fue a causa de una excesiva acumulación de cobre y zinc en las células del hepatopáncreas. Anteriormente leíste, es el órgano de las cochinillas que pueden acumular altas concentraciones de sustancias tóxicas, incluyendo los metales pesados.

Lo que acabas de leer, ¿Qué nos tratan de decir los científicos? En realidad nos muestran que si los agricultores utilizan sedimentos para incorporarlos a los suelos agrícolas, la práctica puede representar un daño mayor. Las plantas al absorber nutrientes del suelo y de los sedimentos, posiblemente estarán acumulando cobre y zinc en la hojas y frutos; órganos de las plantas que consumimos día a día y que al estar contaminados, podrían causar daños a la salud, incluso padecer de cáncer por el resto de nuestras vidas.



Sin duda alguna, las maravillas de la naturaleza nos sorprenden cada vez más. Las cochinillas de tierra no solo son aliadas y guerreras en la descontaminación del ambiente, si no también colaboradoras en la investigación científica.

Conclusión

El artículo nos invitó a reflexionar sobre lo increíble que son los organismos para el ambiente. Sin duda alguna, en este momento tienes otra perspectiva del mundo lleno de vida y de las interacciones que sucede por debajo de nuestros pies. Las cochinillas de tierra o bichos bola son criaturas asombrosas que desempeñan un papel esencial en la salud de los ecosistemas, desintegran la materia orgánica, ayudan en la fertilidad del suelo y son guerreras de batalla en la descontaminación del suelo y sobre todo, son colaboradoras en la investigación científica en todo el mundo.

Literatura recomendada



Leclercq-Dransart, J., Pernin, C., Demuyneck, S., Grumiaux, F., Lemiére, S., y Leprêtre, A. (2019). Isopod physiological and behavioral responses to drier conditions: An experiment with four species in the context of global warming. *European Journal of Soil Biology*, 90, 22-30. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2018.11.005>.

Ortiz, M., y Lalana, R. (2018). Lista de especies y distribución de los isópodos (Crustacea: Peracarida) de Cuba. *Novitates Caribaea*, (12), 102-126. <https://www.doi.org/10.33800/nc.v0i12.87>

Tapa-Coral, S., Teixeira, A., Velásquez, E., & Waldez, F. (2016). Macroinvertebrados del suelo y sus aportes a los servicios ecosistémicos, una visión de su importancia y comportamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 8, 260-267. <https://doi.org/10.24188/recia.v8.n0.2016.380>

Semblanzas de autores

M.C. José Antonio Huertos Ramírez, es estudiante de doctorado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Sus líneas de investigación se centran en la aplicación de nanotecnología en la agricultura, nutrición de cultivos hortícolas, manejo agroecológico de cultivos hortícolas y biotecnología agrícola.

Dr. Hermes Pérez Hernández, es Investigador titular C en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Es miembro del SNII I. Su línea de investigación se centra en la fertilidad de suelos y nutrición vegetal en cultivos básicos, evalúa la aplicación balanceada de fertilizantes inorgánicos y nanomateriales en cultivos comestibles desde la perspectiva agroecológica y evalúa las implicaciones de los fertilizantes convencionales y nanomateriales en la cadena trófica.



Luego de 62 años de la fundación de la SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO, A. C. y 41 años del lanzamiento de la revista **Terra Latinoamericana**, esta consigue su primer factor de impacto en el Journal Citation Reports™.

Envía tus contribuciones científicas a la revista **Terra Latinoamericana**, órgano de difusión de la SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO, A. C.

Terra Latinoamericana es de publicación continua y publica artículos científicos originales de interés para la comunidad de la ciencia del suelo y agua.

TERRA
Latinoamericana



ISSN Electrónico 2395 - 8030

<https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra>



Hongos micorrízicos arbusculares frente al estrés hídrico: una oportunidad para el cultivo del nogal

Sandra Pérez Álvarez^{1*}
Yonaisy Mujica Pérez²
Esteban Sánchez Chávez³
Luisa Patricia Uranga Valencia¹
Joel Rascón Solano¹

¹ Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad Autónoma de Chihuahua, Km 2.5, carretera Delicias-Rosales, Campus Delicias, CD. Delicias, Chihuahua, México, CP. 33000

² Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) Carretera a Tapaste, San José de las Lajas, Cuba, CP. 32700

³ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Unidad Delicias, Av. Cuarta Sur 3828, Delicias, Chihuahua, México, CP. 33089

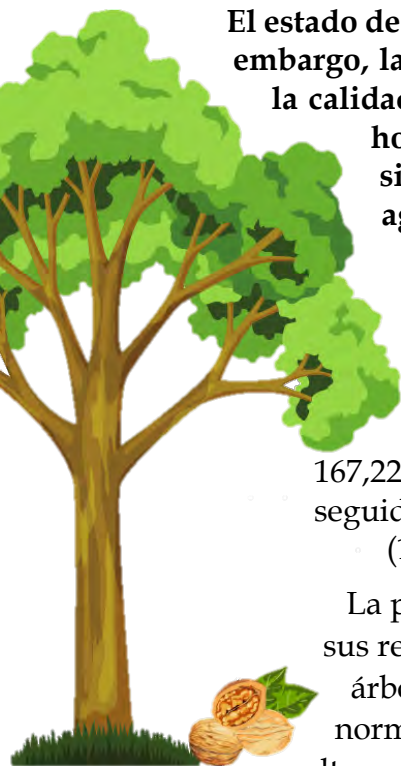
*Autor para correspondencia: spalvarez@uach.mx

El estado de Chihuahua es el principal productor de nuez pecanera en México, sin embargo, la falta de agua puede disminuir considerablemente el rendimiento y la calidad de la nuez. Una alternativa amigable con el ambiente es el uso de hongos micorrízicos arbusculares quienes forman una relación simbiótica con las raíces de las plantas, lo que mejora la absorción de agua y nutrientes, así como la resistencia a condiciones adversas.

Introducción

El nogal pecanero (*Carya illinoensis* Koch) es un frutal importante en México, en el 2023 se sembraron 166,311.54 ha con un rendimiento de 167,226.79 t ha⁻¹, Chihuahua fue el primer estado productor (100,206.84 t ha⁻¹) seguido de Sonora (27,568.18 t ha⁻¹), Coahuila (18,253.06 t ha⁻¹) y Durango (10,758.12 t ha⁻¹).

La producción del nogal pecanero depende en gran medida del agua, y sus requerimientos son elevados (entre 1,170 y 1,310 mm por año para los árboles adultos). Sin embargo, en las zonas de clima árido donde normalmente se planta, el agua escasea, por lo que, es crucial buscar alternativas para aprovechar al máximo el agua disponible, considerando factores como el tipo de riego y el clima local.





El estado de Chihuahua es el principal productor de nuez pecanera en México, sin embargo, el estrés hídrico puede disminuir el rendimiento

Una de las opciones para mejorar el aprovechamiento del agua en los nogales son las micorrizas que son hongos que establecen una relación de simbiosis con las raíces de las plantas, incrementando la absorción de agua y nutrientes, así como promoviendo la resistencia de la planta hospedera a condiciones adversas. Diversos estudios han evidenciado que la aplicación de micorrizas puede aumentar la calidad de la nuez pecanera y el rendimiento, así como reducir el consumo de fertilizantes y el índice de alternancia.

Además, las micorrizas pueden favorecer la colonización natural de hongos ectomicorrízicos en las raíces del nogal, lo que contribuye a la diversidad fúngica y a la salud del sistema radicular. Por lo tanto, las micorrizas son un elemento importante para mejorar el aprovechamiento del agua en el nogal pecanero, tanto en condiciones naturales como en sistemas de riego.

Desarrollo

Las micorrizas son hongos que forman una relación simbiótica con gran cantidad de plantas terrestres comestibles y no comestibles (más del 80 %), y los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son los más comunes, ya que se han descrito > 244 especies.

La simbiosis de los HMA se debe a que estos hongos no pueden completar su ciclo de vida en ausencia de una raíz hospedera ya que las plantas le dan azúcares y otros carbohidratos que producen durante la fotosíntesis lo que es esencial para el crecimiento y la reproducción de los HMA y a cambio, las micorrizas mejoran la absorción de agua y nutrientes en general, protegen contra patógenos y contribuyen a una mejor estructura del suelo (Figura 1).

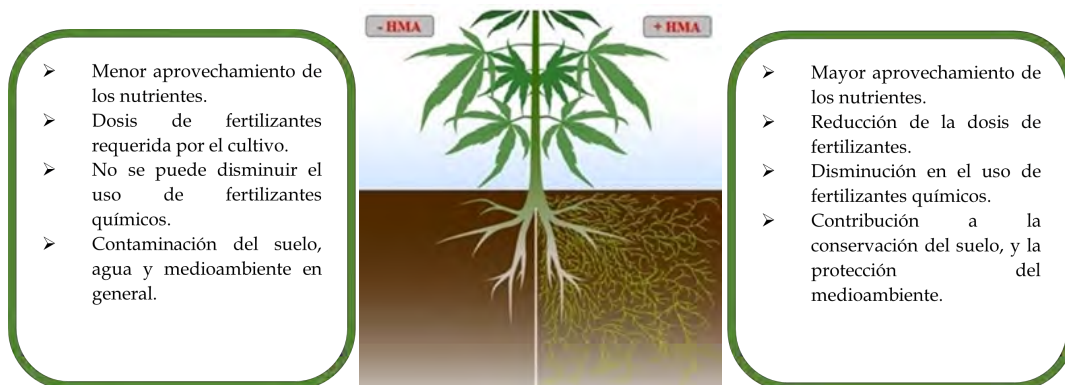


Figura 1. Aportes de los HMA a las plantas. Izquierda: plantas no inoculadas; Derecha: plantas inoculadas



Un ejemplo de HMA es *Glomus cubense*, un hongo micorrízico arbuscular que forma asociaciones no solo con plantas en invernadero sino también en condiciones de campo (Figura 2).



Figura 2. Esporas del HMA *Glomus cubense* donde A: Vesículas; B: Hifas intracelulares



El nogal pecanero durante la temporada de crecimiento puede necesitar entre 1 170 y 1 310 mm de precipitación por año



Las micorrizas arbusculares y el estrés hídrico

La sequía y el estrés hídrico son dos factores críticos que afectan la producción del nogal pecanero. La sequía, que se caracteriza por la falta de precipitación, reduce la disponibilidad de agua en el suelo, lo que puede afectar el crecimiento y desarrollo de los árboles. El estrés hídrico, por otro lado, ocurre cuando las plantas no reciben suficiente agua para satisfacer sus necesidades, lo que puede provocar marchitez, pérdida de hojas y disminución en la producción y calidad de las nueces.



A pesar de que las plantas tienen mecanismos de adaptación a la falta de agua, como lo es el cierre estomático, esto no es suficiente pues cuando los cultivos no tienen agua disponible se origina también una falta de nutrientes ya que muchos de ellos entran disueltos en dicho elemento.

Para afrontar el estrés hídrico (cuando la demanda de agua supera la cantidad disponible durante un período determinado), una estrategia efectiva es establecer relaciones con microorganismos benéficos, entre los que se destacan los HMA. Algunas de las ventajas de esta simbiosis se muestran en la figura 3.

Como se aprecia en la figura 3 las micorrizas son sin duda una alternativa a utilizar en regiones áridas o semiáridas de México las cuales se caracterizan por tener una escasez de agua y condiciones climáticas extremas, por ejemplo, las precipitaciones anuales en estas regiones suelen estar entre 500 y 800 mm.



Las plantas que tienen hongos micorrízicos asociados regulan sus tasas de transpiración, lo que les ayuda a hacer frente a las condiciones de estrés hídrico.



El transporte de agua se ve facilitado por el micelio fúngico (hilos de hongos o red de hongos), especialmente en suelos con poca capacidad de retener agua.



La nutrición mineral, el suministro de agua y la resistencia a diferentes estreses ambientales pueden mejorar en las plantas colonizadas por HMA.



La simbiosis HMA tiene un efecto positivo sobre el rendimiento de las plantas en condiciones de estrés hídrico.

Figura 3. Ventajas que le confieren los HMA a las plantas en condiciones de estrés hídrico



Las micorrizas arbusculares en el nogal pecanero

El nogal pecanero requiere grandes cantidades de agua para desarrollarse adecuadamente. Durante la temporada de crecimiento, el árbol adulto puede necesitar 1 170 y 1 310 mm por año. La demanda hídrica es particularmente alta durante el verano, cuando el árbol está en pleno crecimiento y desarrollo de las nueces.

Una gestión adecuada del agua asegura un desarrollo óptimo de las nueces, influenciando su tamaño, peso y calidad por lo que el estrés hídrico puede provocar nueces más pequeñas, llenado incompleto y una mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades.

Los HMA son una herramienta poderosa en el cultivo del nogal pecanero, ofreciendo múltiples beneficios que van desde una mejor absorción de nutrientes y agua hasta una mayor resistencia a estreses abióticos y bióticos. La integración de estas simbiosis en las prácticas agrícolas puede llevar a un cultivo más productivo y sostenible, aprovechando al máximo los recursos naturales y mejorando la salud general del árbol y del suelo.

Una de las opciones para mejorar el aprovechamiento del agua en los nogales es el uso de los hongos micorrízicos arbusculares.



Los hongos micorrízicos arbusculares mejoran la absorción de agua y nutrientes, así como la resistencia a condiciones adversas en cultivos como el nogal.



Los HMA en árboles ya establecidos se pueden incorporar al suelo removiendo este a una profundidad mínima de 5-10 centímetros y luego regar. También se pueden disolver en agua y utilizar esta solución para regar. En caso de que se vaya a realizar un trasplante del vivero al campo los HMA se pueden aplicar directamente a las raíces de los árboles y luego sembrarlos.

Los investigadores continúan explorando las interacciones específicas entre diferentes cepas de HMA y el nogal pecanero, buscando optimizar la simbiosis para incrementar la sostenibilidad y productividad del cultivo. Los avances en biotecnología también están facilitando la identificación y aplicación de cepas de HMA más eficientes.



Conclusiones

El impacto positivo de los hongos micorrízicos arbusculares en las plantas de nogal es significativo, ya que no solo estimula respuestas de crecimiento robustas, sino que también mejora considerablemente la absorción de nutrientes. Esta simbiosis micorrízica fortalece el sistema radicular, aumentando su eficiencia y resistencia. Como resultado, las plantas de nogal se vuelven más resilientes, adaptándose mejor a condiciones de estrés hídrico y otras adversidades ambientales, lo cual es crucial para mantener la salud y productividad del cultivo en condiciones climáticas variables.

Literatura recomendada

Blaszowski J. (2019). Species descriptions and illustrations. Consultado el 22 de enero de 2024 en Disponible en: <http://www.zor.zut.edu.pl/>

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola [Statistical Yearbook of Agricultural Production]. Consultado el 22 de enero de 2024 en <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>

Zermeño González, A., Cruz Santes, C.E., Munguía López, J.P., Catalán Valencia, E.A., Campos Magaña, S.G., Cortés Bracho, J.J. (2014). Efecto del sistema de riego y clima en la eficiencia del uso de agua de nogal pecanero. *Terra Latinoamericana*, 32: 23-33.



Semblanzas de autores

Dra. Sandra Pérez Álvarez. Profesora titular C de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Del SNII nivel 1, miembro del grupo disciplinar "Manejo sustentable de sistemas agrícolas y forestales" trabajando la LGAC Manejo de los recursos naturales para la mejora integral de sistemas agrícolas y forestales. Tiene más de 40 publicaciones en revistas indexadas, 18 capítulos de libros publicados, 8 de ellos con editorial Springer y 2 libros.

Dra. Yonaisy Mujica Pérez. Investigadora del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) del grupo de micorrizas arbusculares donde realizó su tesis de maestría en el 2009 y en el 2021 culmina sus estudios de doctorado. Ha participado en más de 30 congresos científicos nacionales e internacionales, ha dirigido 10 tesis de estudiantes de universidad y de maestría, ha colaborado en varios proyectos internacionales, miembro del claustro de profesores del sistema de posgrado y ha recibido reconocimientos por sus méritos científicos.

Dr. Esteban Sánchez Chávez. Investigador Titular del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 3, líder del Grupo de Investigación en Fisiología y Nutrición Vegetal. Las líneas de investigación que cultiva son: Biofortificación con micronutrientes en cultivos agrícolas, Nanotecnología aplicada a la agricultura, Nutrición de cultivos hortofrutícolas y Fisiología del estrés en plantas.



Dra. Luisa Patricia Uranga Valencia. Docente investigador de tiempo completo en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Miembro del Sistema Nacional de investigadores Nivel I. Colaboradora del Cuerpo Académico Consolidado UACH-CA-15 con la línea de Investigación Agroforestería Sustentable en donde desarrolla investigación de Histología y Anatomía de la Madera y Tecnología de la Madera

Dr. Joel Rascón Solano. Docente investigador de tiempo completo en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Miembro del Grupo Disciplinar “Manejo sustentable de sistemas agrícolas y forestales” trabajando la LGAC Manejo de los recursos naturales para la mejora integral de sistemas agrícolas y forestales. Es coordinador de la carrera Ingeniero Forestal.

Envía tus contribuciones científicas a la revista **Terra Latinoamericana**, órgano de difusión de la SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO, A. C.

TERRA
Latinoamericana



ISSN Electrónico 2395 - 8030

Terra Latinoamericana es de publicación continua y publica artículos científicos originales de interés para la comunidad de la ciencia del suelo y agua.

<https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra>



 Soil Health
Forum

Budapest Soil Health Forum

Artificial Intelligence, Soil Organic Carbon,
Improving soil health and Management innovations

December 4, 2024
Budapest, Hungary

Visit soilhealthforum.hu for more details

Más información en: <https://www.soilhealthforum.hu/>

La inscripción y participación son gratuitas.



El hierro, un aliado en la remediación del suelo

Marisela Calderón-Jurado¹
María Laura Díaz-Vaca²
Ofelia Adriana Hernández Rodríguez¹
Oscar Cruz-Álvarez¹
Dámaris Leopoldina Ojeda-Barrios^{1*}

¹Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, 3100, México.

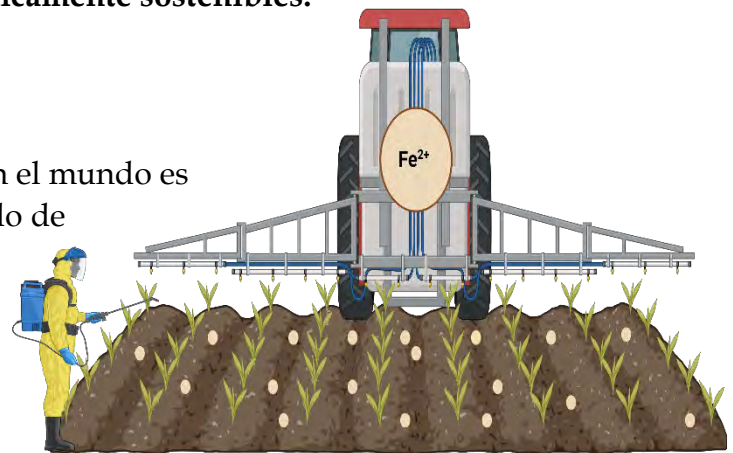
²Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua, 33000 Delicias, Chih., México.

*Autor de correspondencia: dojeda@uach.mx.

El hierro (Fe^{2+}) es un micronutriente esencial para el desarrollo de las plantas, el cual participa en diversos procesos metabólicos y enzimáticos a lo largo de su ciclo vital. En las últimas décadas, la preocupación por la contaminación y degradación del suelo ha crecido considerablemente, considerándose un problema de escala global. Estudios recientes indican que la agricultura es la segunda área de mayor aplicación de la nanotecnología, después del sector energético. En ese contexto, la nanotecnología puede combinarse con técnicas convencionales para ofrecer soluciones viables para remediar suelos contaminados con metales pesados, mediante la eliminación o estabilización de estos elementos. Un ejemplo de esto es la remoción de cromo (Cr) con nanopartículas de Fe^{2+} . No obstante, un desafío importante radica en garantizar que estas tecnologías sean también económicamente sostenibles.

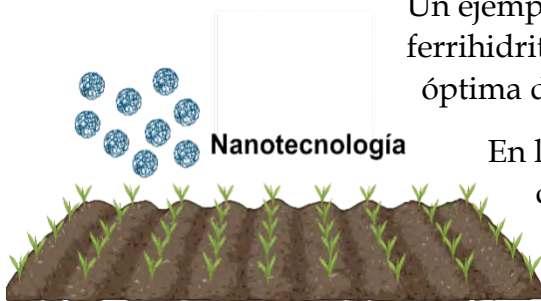
Introducción

La contaminación y degradación del suelo en el mundo es causado principalmente por el uso desmedido de pesticidas, fertilizantes y mecanización en la agricultura. Afortunadamente, la nanotecnología promete ser una solución de dimensiones microscópicas con efectos significativos en la agricultura.





Un ejemplo son las nanopartículas de óxido de hierro (como ferrihidrita, hematita y magnetita), que promueven una absorción óptima de Fe^{2+} por las plantas, conocidas como nanofertilizantes.



En la actualidad existen investigaciones que han demostrado que las nanopartículas de óxido de hierro pueden mejorar el rendimiento de diversos cultivos, como el arroz, trigo, tomate, cacahuate, soja y espinacas (Fig. 1). El uso de estas nanopartículas estimula diversos procesos

metabólicos como la fotosíntesis, la respiración y la producción de proteínas; también mejora la germinación y el crecimiento de las plantas. Las nanopartículas magnéticas mejoran el crecimiento de hongos micorrízicos simbióticos, la formación de nódulos fijadores de nitrógeno, y la actividad fijadora de nitrógeno de las bacterias. Hoy en día los desechos producidos por la industrialización son una preocupación para la salud pública en todo el mundo. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación estima que el crecimiento demográfico aumentará la producción agrícola en casi un 70% para 2050. Para lograr este objetivo es necesaria una cantidad elevada de fertilizantes sintéticos, principalmente por la baja efectividad actual de estos. Una estrategia para mejorar la eficiencia de los fertilizantes, es desarrollar estrategias sostenibles para reducir su pérdida. Para la mayoría de los cultivos que se establecen en suelos calcáreos, el contenido de hierro es bajo, reduciendo su rendimiento y calidad.

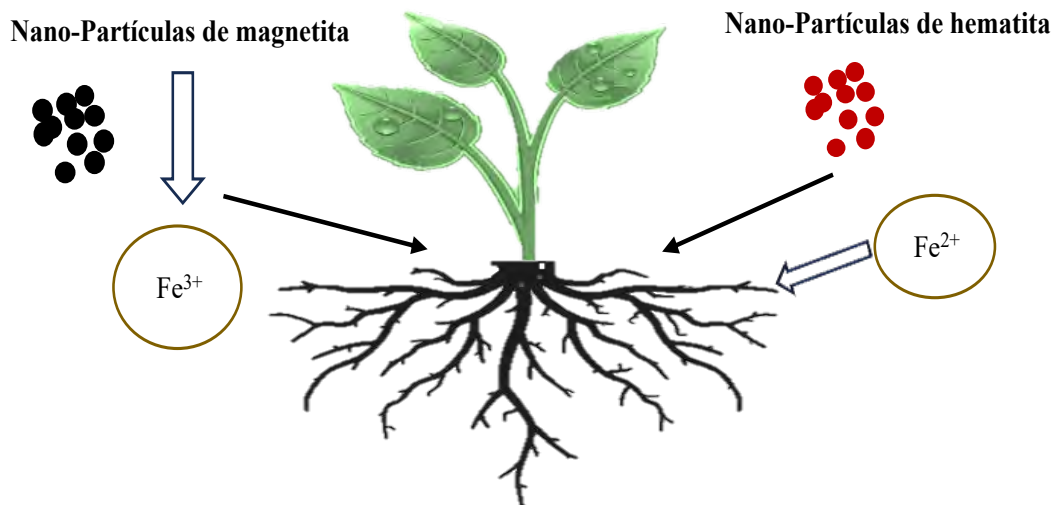


Figura 1. El crecimiento de las plantas depende en gran medida de la disponibilidad de hierro (Fe) y nanopartículas de óxido de hierro, como la magnetita y la hematita en el suelo.



Esto resulta en una deficiencia del elemento en las plantas, lo que reduce la producción y la calidad de las cosechas. Una de las formas más efectivas de corregir esta deficiencia es adicionando hierro quelado al suelo, sin embargo, esta técnica es costosa. La nanotecnología se puede combinar con métodos tradicionales y es una alternativa prometedora para enmendar suelos contaminados con metales pesados (eliminandolos o estabilizándolos).



Desarrollo

El uso de hierro en el suelo

El símbolo químico Fe^{2+} se utiliza para representar hierro o fierro, el cual es un metal de transición, de color grisáceo, al que se le han encontrado múltiples aplicaciones para la humanidad. Las principales fuentes de este material son el mineral kamacita, la hematita, la magnetita, la limonita y la siderita que se encuentran en rocas basálticas, sedimentos carboníferos y meteoritos, con frecuencia en aleación con níquel. El Fe^{2+} es un oligoelemento esencial para cultivos y plantas debido a su función básica en diversos procesos bioquímicos (Fig. 2).

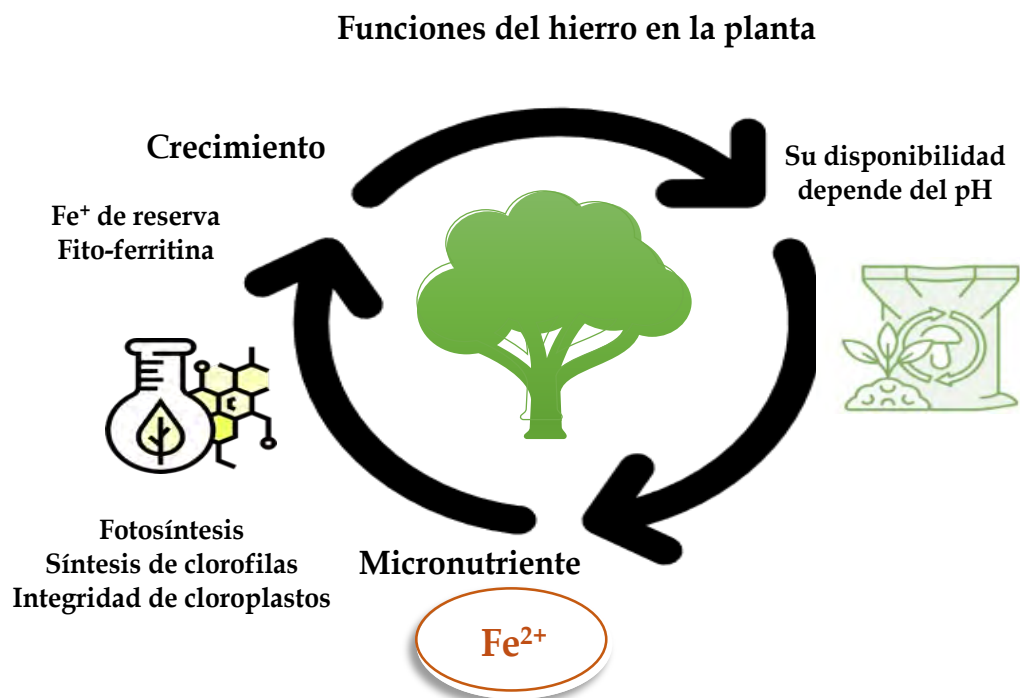


Figura 2. Comportamiento del hierro en la planta a nivel celular y en el suelo.



Función del hierro en las plantas

La clorosis férrica es la pérdida del color verde de las hojas, este síntoma se ha relacionado con una deficiencia de Fe^{2+} en la planta. Sin embargo, el problema no siempre radica en la falta de Fe^{2+} en el suelo, sino en su disponibilidad para la planta. El adecuado abastecimiento de Fe^{2+} depende principalmente de la disponibilidad del nutriente en el suelo, de forma que pueda ser absorbido por las raíces, más que de la cantidad no de la riqueza del suelo en el que se establece el cultivo. En ocasiones, la disponibilidad natural de Fe^{2+} es insuficiente, por lo que es necesario complementarlo con aplicaciones foliares (aspersiones). Diversas condiciones pueden ser causar esta deficiencia, como un pH



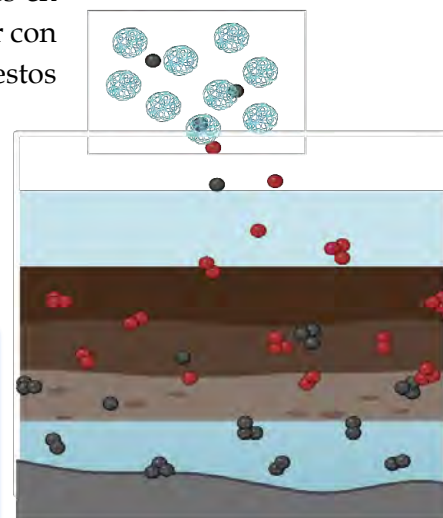
El hierro participa en la producción de energía, la reducción de nitratos y sulfatos, así como en varias enzimas y pigmentos a nivel celular.

elevado del suelo, un exceso de calcio o un exceso de fósforo. El Fe^{2+} desempeña un papel crucial como componente estructural y cofactor enzimático en la ferredoxina, peroxidasa, catalasa, citocromo oxidasa y citocromo oxidasa, interviniendo en sistemas fotosintetizadores y respiratorios.

Uso de las nanopartículas de hierro

Debido a su tamaño extremadamente pequeño, estos materiales tienen propiedades químicas, catalíticas, electrónicas, magnéticas y ópticas únicas. A medida que disminuye el tamaño de una partícula, la proporción de átomos en la superficie aumenta, lo que incrementa su área superficial y su reactividad. La escasez de electrones en estas partículas las hace altamente susceptibles a interactuar y reaccionar con otros átomos y moléculas para obtener una carga estable. Compuestos tradicionalmente inertes, como el hierro o la plata, al ser preparados a escala nanométrica, pueden utilizarse para catalizar reacciones, eliminar contaminantes, desinfectar mediante acción antibacteriana, adsorber y separar dioxinas, colorantes y otros contaminantes orgánicos o metales pesados.

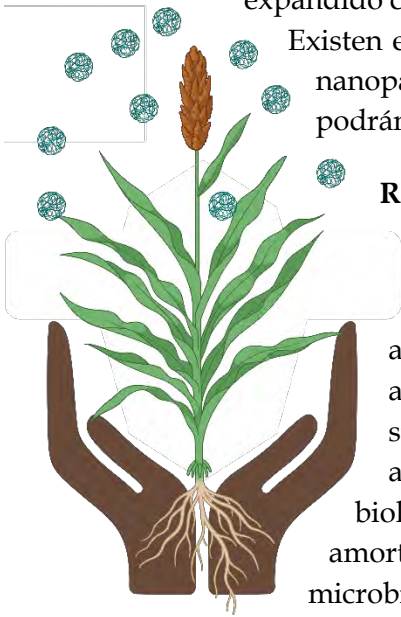
La nanotecnología se puede combinar con métodos tradicionales y es una alternativa prometedora para remediar suelos contaminados con metales pesados (eliminándolos o estabilizándolos)





En los últimos años, la gama de aplicaciones potenciales de las nanopartículas se ha expandido considerablemente, especialmente en el cuidado de suelos, agua y aire.

Existen evidencias previas de algunos investigadores que mencionan que las nanopartículas de Fe^{2+} en una reducción química en suelo contaminado podrán remover cromo (Cr IV).



Retos medioambientales para la aplicación de hierro

En los últimos años, se ha hecho evidente la necesidad de proteger y restaurar los suelos agrícolas para garantizar el suministro de alimentos para las generaciones presentes y futuras, respondiendo así a la demanda alimentaria mediante sistemas de producción sustentables y sostenibles. La implementación de buenas prácticas agrícolas resulta en la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, como una mayor disponibilidad de nutrientes, amortizando los cambios de pH, y contribuyendo a la composición del microbiota del rizoma, etc., lo cual influye directamente en la productividad de las hortalizas, flores y frutos. Además, estas prácticas contribuyen al aumento en la cantidad de Fe^{2+} disponible en el suelo. Cabe destacar que la acidez del suelo puede afectar la disponibilidad de algunos elementos minerales, lo que, a su vez limita la productividad de los cultivos al disminuir directamente el crecimiento o la supervivencia de las plantas, o indirectamente, al aumentar la presencia de patógenos (microorganismos dañinos) en la rizosfera.



La mejora de la infraestructura agrícola y la implementación de nuevas tecnologías en todos los niveles son esenciales para el crecimiento agrícola reduciendo costos y produciendo más y de mejor calidad.

Figura 3. Retos de la agricultura del futuro.

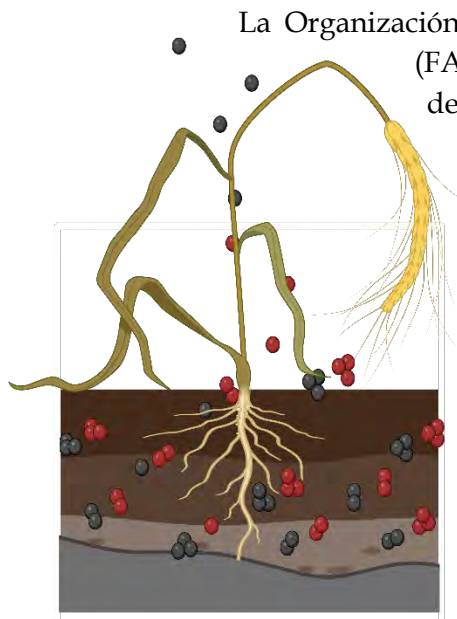


El cambio climático ha alterado las condiciones ambientales para el desarrollo de los cultivos, creando situaciones extremas y difíciles para las plantas que crecen bajo estrés. Esto resalta aún más la importancia de la búsqueda o síntesis de productos bioestimulantes. En los próximos años, será crucial continuar trabajando en esta línea para contrarrestar las consecuencias negativas del cambio climático. Este desafío nos obliga a adoptar un enfoque hacia una agricultura más sostenible y respetuosa con el medio ambiente, haciendo un uso responsable y eficiente de los recursos naturales como el suelo, el agua de riego y los fertilizantes, para maximizar la productividad agrícola sin degradar el entorno (Fig. 3).

La agricultura requiere mejorar su infraestructura y adoptar nuevas tecnologías, esenciales para impulsar el crecimiento del sector. Estas mejoras permitirán reducir los costos de producción, aumentar los rendimientos y mejorar la calidad de los productos agrícolas. En los últimos años, la preocupación por la degradación del medio ambiente y el cambio climático ha ido en aumento, convirtiéndose en un tema central en la agenda política global.



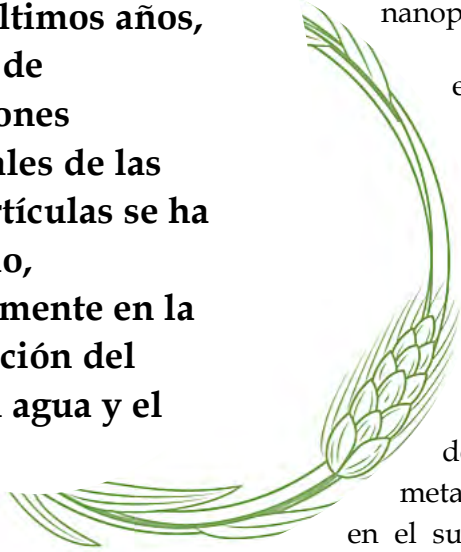
La contaminación del suelo no es un secreto



La Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), señala que las principales fuentes antropogénicas de deterioro del suelo son los químicos usados o producidos como derivados de actividades industriales como el aluminio (Al), berilo (Be), cobre (Cu^{2+}), hierro (Fe^{2+}), manganeso (Mn^{2+}), Cadmio (Cd^{2+}), mercurio (Hg), plomo (Pb), entre otros. La seguridad alimentaria se ve comprometida por la contaminación del suelo, que dificulta la absorción de nutrientes de las plantas, reduce su metabolismo y disminuye los rendimientos agrícolas, amenazando así el suministro de alimentos. Además, los contaminantes dañan directamente a los organismos vivos en el suelo, como bacterias microscópicas, hongos benéficos, nematodos, colémbolos, ácaros, miriápodos, lombrices, topes y gusanos, entre otros.



En los últimos años, la gama de aplicaciones potenciales de las nanopartículas se ha ampliado, especialmente en la remediación del suelo, el agua y el aire.



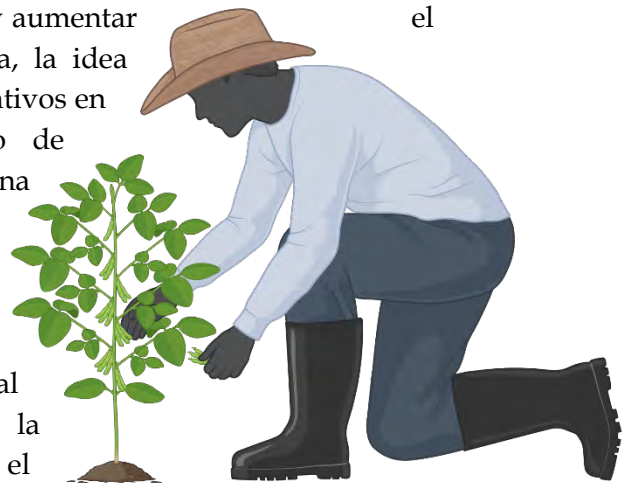
Las nanopartículas de hierro han demostrado ser efectivas en la mediación de suelos contaminados con metales pesados como el Cr (IV), hidrocarburos y otros contaminantes. Estas nanopartículas pueden purificar y

estabilizar metales pesados, disolver compuestos como el cloro, cianuro y pesticidas, también puede integrarse fácilmente en procesos existentes, como la aplicación en riego mediante soluciones acuosas o su captura en filtros de carbón activado. La tecnología novedosa al cuidado del medio ambiente se orienta a satisfacer necesidades que incluyan: aminorar la presencia de contaminantes, detección de moléculas orgánicas y detección de

metales pesados, métodos para ahorrar fertilizantes en el suelo, reducir las pérdidas por descomposición física y química de estos, reducir el impacto de los contaminantes ambientales en el agua y el suelo, e incluso ofrecer opciones para aumentar la captura de carbono en el suelo.

Conclusiones

El hierro (Fe^{2+}) es uno de los micronutrientes más importante para las plantas, ofreciendo una solución prometedora para mejorar su crecimiento y aumentar el rendimiento de los cultivos. En la producción agrícola, la idea fundamental es minimizar las pérdidas y los efectos negativos en el medio ambiente causados por el uso excesivo de agroquímicos. Las nanopartículas de Fe^{2+} representan una innovación reciente en la agricultura, con el potencial de remediar suelos contaminados con metales pesados como el cromo, hidrocarburos y otros contaminantes, sin embargo, los riesgos que pueden representar para el medio ambiente y la salud humana son inciertos. Es crucial destacar que hay pocos estudios sobre el uso de la nanotecnología en el campo y que es necesario evaluar el comportamiento de los nanomateriales con el tiempo.





Literatura recomendada



Boccio, Jose, Salgueiro, Jimena, Lysionek, Alexis, Zubillaga, Marcela, Goldman, Cinthia, Weill, Ricardo, & Caro, Ricardo. (2003). Metabolismo del hierro: conceptos actuales sobre un micronutriente esencial. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 53(2), 119-132.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222003000200002&lng=es&tlng=es.

Rivero-Montejo, S. D. J., Vargas-Hernández, M., & Torres-Pacheco, I. (2021). Nanoparticles as novel elicitors to improve bioactive compounds in plants. Agriculture, 11(2), 134.
<https://doi.org/10.3390/agriculture11020134>

Arizmendi-Galicia, N., Rivera-Ortiz, P., Cruz-Salazar, F. D. L., Castro-Meza, B. I., & Garza-Requena, F. D. L. (2011). Lixiviación de hierro quelatado en suelos calcáreos. Terra Latinoamericana, 29(3), 231-237.

Semblanzas de autores

Marisela Calderón-Jurado,

Ingeniera Hortícola con Maestría en Ciencias Hortofrutícolas por la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Colaboradora del Cuerpo Académico CA-UACH-17 Hortofruticultura, participación como ponente en Congresos Nacionales e Internacionales, seminarios académicos, consejera estudiantil, línea de investigación en frutales de zona templada y flores comestibles. Actualmente estudia un Doctorado en Ciencias.

María Laura Díaz-Baca

Ingeniero Agrónomo Fitotecnista con Maestría en Agronegocios por la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la UACH. Actualmente es Doctoranda en el programa de Ciencias Hortofrutícolas en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Docente en la FCAyF UACH de las materias de cultivos básicos, Hortícolas y Hortofrutícolas, postcosecha y botánica general.

Ofelia Adriana Hernández-Rodríguez

Doctora en Philosophia en recursos naturales por la Universidad Autónoma de Chihuahua. Es profesora-investigadora en las disciplinas de suelos agrícolas, nutrición vegetal y agricultura orgánica a nivel licenciatura y posgrado en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, UACH. Miembro del Cuerpo Académico CA-UACH-17 Hortofruticultura. Cuenta con la distinción de Investigador Nacional Nivel I otorgado por el SNI-CONAHCYT del 2015 a la fecha. Acreedora del Premio Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación de Chihuahua en 2013.





Oscar Cruz-Álvarez

Doctor en Ciencias en Horticultura por la Universidad Autónoma Chapingo. Es profesor de tiempo completo de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas en la Universidad Autónoma de Chihuahua. Es investigador nacional nivel 1 en el Sistema Nacional de Investigadores e Investigadoras del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías.

Dámaris Leopoldina Ojeda-Barrios

Doctora en Ciencias Agrícolas (Horticultura) por la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Profesora-investigadora en fisiología y nutrición vegetal a nivel licenciatura y posgrado en Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua. Investigadora Nacional nivel 2 por el SNII-CONAHCYT. Cuenta con reconocimiento por el Consejo Mexicano de la Nuez (COMENUEZ).



Envía tus contribuciones científicas a la revista **Terra Latinoamericana**, órgano de difusión de la SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO, A. C.

Terra Latinoamericana es de publicación continua y publica artículos científicos originales de interés para la comunidad de la ciencia del suelo y agua.

TERRA
Latinoamericana



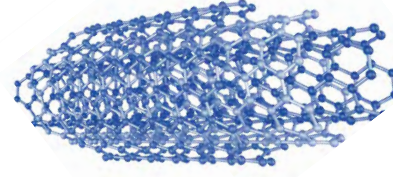
ISSN Electrónico 2395 - 8030

<https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra>



Sí, chiquititos, pero con mucho fuerza: Nanoaditivos para estabilizar suelos

Jessica E. Martínez-Vázquez
Fabián Fernández-Luqueño



Centro de Investigación de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV Unidad Saltillo); Ramos Arizpe, Coahuila de Zaragoza, México.

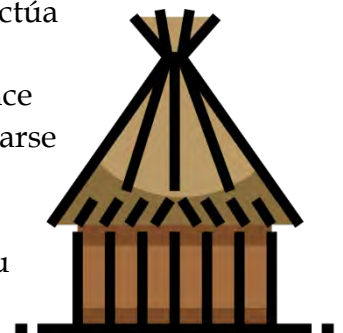
*Autor para correspondencia: elizabeth.martinez@cinvestav.mx

Los nanoaditivos son materiales sintéticos o de origen natural de tamaño nanométrico, utilizados para estabilizar suelos. Un nanómetro es la millonésima parte de un metro; para comprender este concepto, basta saber que un cabello humano tiene 80,000 nanómetros de grosor, lo que nos da una idea de lo diminutas que son las partículas empleadas para estabilizar el suelo y superar las condiciones inadecuadas que limitan su uso en la construcción. El suelo es esencial para el soporte de edificaciones y de la vida que se desarrolla en ellas, pero a menudo requiere estabilización para garantizar la durabilidad de las construcciones.

Introducción

El suelo cumple funciones como reservorio de nutrientes y agua, de los cuales se alimentan los microorganismos, las plantas y los animales. Asimismo, actúa como soporte físico de los organismos vivos. Gracias a su función como soporte estructural se han establecido asentamientos humanos desde hace miles de años. Sin embargo, es común que los suelos requieran estabilizarse para favorecer larga vida útil a las estructuras ingenieriles. La estabilización se puede realizar por métodos físicos, químicos, mecánicos, biológicos o la combinación de estos, para que incremente su capacidad de carga y resistencia a la tracción.

Las propiedades geotécnicas de los suelos son muy importantes para el establecimiento de obras civiles y arquitectónicas. Estas propiedades se refieren a la fuerza y la resistencia del suelo como estructura. Se requieren suelos que soporten el peso de rascacielos como el de la Torre Sears en Chicago, E.U.A., que pesa 200 mil toneladas, tiene 110 pisos y mide 452 metros de altura. También se requiere que los suelos resistan la deformación cuando pasen los camiones de carga por las carreteras.





Las ciudades crecen a una velocidad impresionante, al alcanzar hasta un índice de crecimiento de 9 % anual (Delhi, India, en 2023), debido al aumento de la población. Esto representa un reto tecnológico y social, ya que a la par del aumento de la población, se necesitan más servicios e infraestructura de alta calidad.



Las propiedades geotécnicas de los suelos son muy importantes para el establecimiento de obras civiles y arquitectónicas

Recientemente, es necesario construir edificios más altos para vivir, más plazas comerciales, más carreteras y un sinnúmero de edificaciones urbanas que cubran la demanda de la población. Estas construcciones se asientan sobre terrenos que alguna vez fueron arroyos o estanques. Incluso, algunas obras ingenieriles como las autopistas atraviesan cerros y montañas, a pesar de que generalmente, el suelo cuenta con pocas características favorable para la construcción.

Los hongos que dañan a los cultivos son comúnmente controlados mediante la aplicación de fungicidas químicos, así como prácticas culturales tradicionales, pero cada vez se están adoptando más enfoques biológicos que son efectivos y respetuosos con el ambiente, como lo es el uso de hongos amigos, dentro de los cuales destacan los del género *Trichoderma*.

Desarrollo

Demasiada carga y presión para un suelo que no es naturalmente compacto, causa inestabilidad. Los suelos tienen una composición típica aproximada de 20-30 % agua, 20-30 % aire y 50 % material sólido (mineral y materia orgánica), algo similar a una esponja. Cuando el peso de los edificios alcanza miles de toneladas, se construyen en zonas sísmicas y sucede un sismo, se presenta un fenómeno llamado licuefacción, el cual pudiera ser bastante destructivo.

La licuefacción (Figura 1) ocurre cuando la resistencia y la rigidez del suelo se pierden debido a la influencia de cargas o tensiones rápidas no previstas. Esto provoca que el agua de las capas subterráneas salga hacia la superficie y el suelo se fracture en varias direcciones, causando daños en la estructura de puentes, edificios o carreteras.



Hay sitios en los que se pretende construir, pero el suelo no tiene las propiedades físicas, químicas o mecánicas adecuadas, por lo que es necesario estabilizar el suelo por diversos métodos. La estabilización mecánica utiliza maquinaria para mezclar y compactar agregados o suelos diferentes en el terreno. La estabilización biológica recurre a la cubierta vegetal como el pasto para evitar la erosión, aunque se necesitan otras técnicas de inicio para propiciar el crecimiento y desarrollo de las plantas.

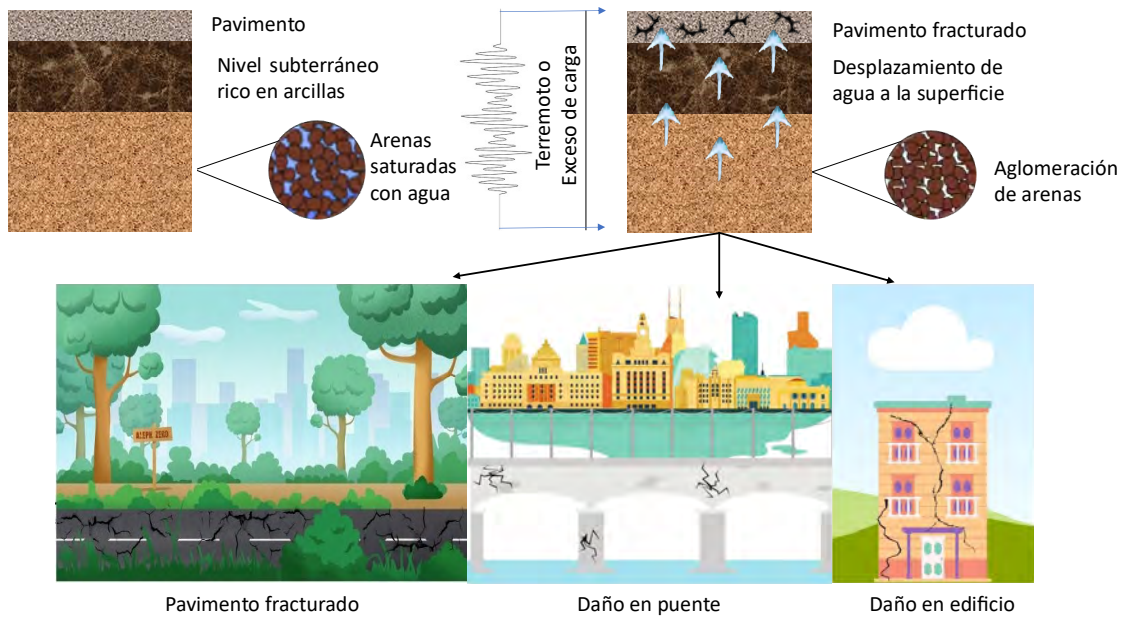


Figura 1. Licuefacción del suelo y daño estructural en construcciones.

Por último, en la estabilización química se usan mezclas llamadas “lechadas químicas”, también llamadas poliepóxidos o reinas epoxy, y también rellenos como cal y cemento, estos últimos son los más comunes. Estos materiales son caros, volátiles y causan perturbaciones ambientales importantes. Una de las perturbaciones ambientales más preocupantes es la impermeabilización del suelo, esto significa la pérdida de la capacidad de infiltración y retención de agua, lo que en consecuencia provoca problemas de erosión, inundaciones y contaminación de las aguas subterráneas y superficiales. Además, los disolventes que se usan son inflamables y poseen un alto riesgo de explosión.



El cemento representa el 90 % de las emisiones contaminantes de CO₂ en los procesos industriales, por lo que causa un gran impacto ambiental. Gran parte de las emisiones de CO₂ provienen de un proceso químico conocido como calcinación. Este proceso ocurre cuando la piedra caliza se somete a altas temperaturas en los hornos, lo que provoca su descomposición en CO₂ y óxido de calcio.

Otra fuente importante de CO₂ es la quema de combustibles en los hornos empleados en la producción de cemento. Generalmente se calientan con gas natural o carbón, lo que contribuye a las emisiones de dióxido de carbono además de las generadas por la calcinación. Y resulta que cada año se producen 4100 millones de toneladas de cemento.



¿Te has preguntado cuánta cantidad de cemento no vemos debajo de nuestros pies, utilizado para ayudar a soportar las construcciones? ¿Puedes imaginarlo? Bueno, para un edificio de 100 pisos con cimentación profunda utilizando pilotes, se podrían necesitar aproximadamente 4,130 toneladas de cemento, dependiendo de las especificaciones del diseño y las condiciones del suelo.

Cuando se emplean mezclas químicas para estabilizar el suelo, estas desprenden vapores de tipo ácido, por ejemplo, de ácido sulfúrico; o de tipo alcalino, como amoníaco; además, si el manejo es inadecuado estos productos pueden

ser tóxicos para la salud humana y el medioambiente.

Para superar estos problemas generados por el uso de mezclas químicas la nanotecnología contribuye a desarrollar materiales que se utilizan para estabilizar el suelo y evitar los daños estructurales en las edificaciones.

Un nanomaterial debe medir menos de 100 nanómetros en al menos una de sus dimensiones. Se han añadido al suelo nanomateriales a base de carbono, como los nanotubos de carbono; y con base de silicio como laponitas y bentonitas.

Los nanotubos de carbono, están constituidos por grafeno, que es el material más liviano y fuerte del mundo. Las láminas de grafeno se componen de una red hexagonal en forma de panal de abeja; al enrollarlas se forma el nanotubo que puede ser muy largo, pero su diámetro es nanométrico (Fig. 2).

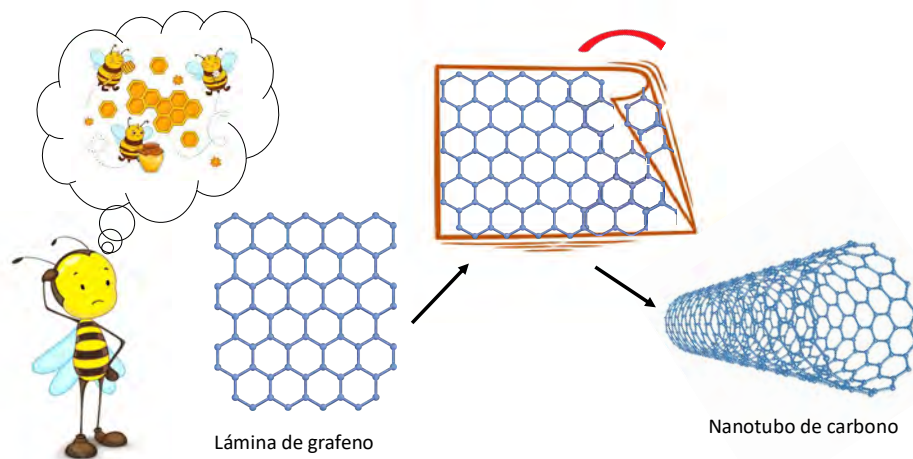


Figura 2. Estructura molecular de grafeno y de nanotubo de carbono.

El nanotubo forma una fibra 100 veces más fuerte que el acero. Al ser un cilindro muy delgado, pero también muy largo, puede separar las láminas de las arcillas del suelo para darle más resistencia (Figura 3), a diferencia de las moléculas de cemento que por su tamaño no pueden penetrar en los pequeñísimos espacios de las arcillas.

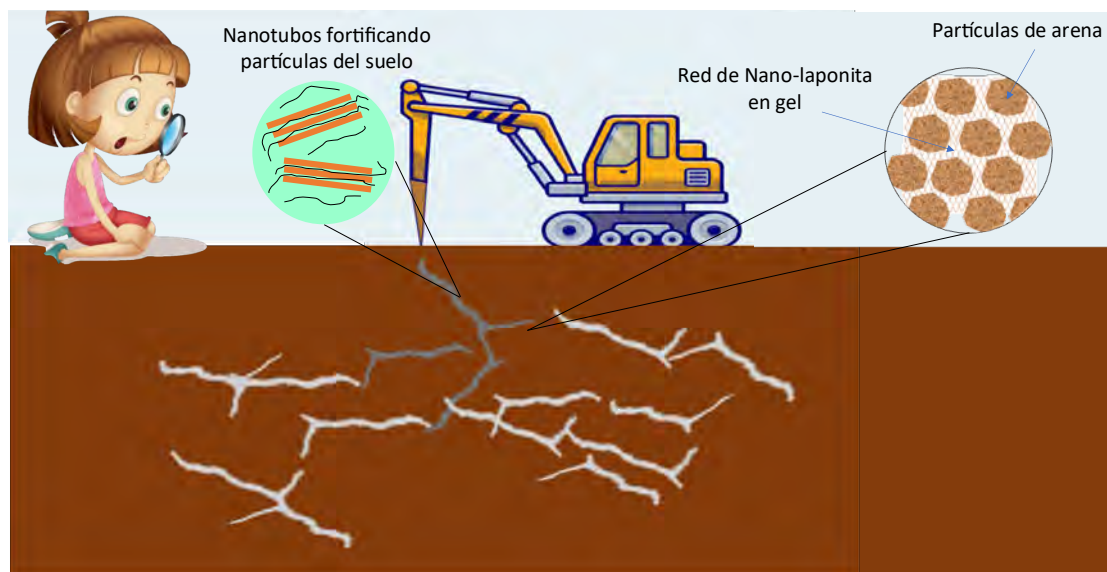


Figura 3. Interacciones entre las partículas del suelo y nanomateriales en el proceso de inyección para estabilización.



En el caso de las laponitas y bentonitas, son arcillas que se encuentran de manera natural en el suelo. Sin embargo, la cantidad de estas y otras arcillas varía entre los diferentes tipos de suelo según la región, y en algunos casos no se encuentran en un porcentaje suficiente para darle al suelo una compactación natural. Las laponitas y las bentonitas se utilizan de acuerdo con el objetivo de la estabilización. Si se requiere reducir la permeabilidad, las bentonitas son muy efectivas, pero deben utilizarse con precaución en suelos que ya tienen baja permeabilidad. Por otro lado, si el objetivo es mejorar la estabilidad estructural, las laponitas son útiles en suelos donde se requiere mayor cohesión sin incrementar excesivamente la plasticidad.

La forma de las laponitas es parecida a un disco constituido por sílice y se adicionan como estabilizadores del suelo en una suspensión de gel suave que cambia a una gelatina. En la gelatina se forman cadenas que actúan como una red tridimensional (Figura 3) uniendo a las partículas más grandes como las arenas del suelo. Esto incrementa la resistencia a la compresión, lo que genera un suelo estable.

Los nanomateriales se agregan al suelo en cantidades muy pequeñas para incrementar su fuerza y rigidez. Se han agregado nanotubos desde 0.001 a 0.01 % en relación al volumen del suelo y laponitas o bentonitas desde 3 %.

Añadir entre 0.001 % y 3 % de nanomateriales sintéticos o de origen natural incrementa la resistencia del suelo como matriz. Este porcentaje es significativamente menor que el utilizado para estabilizar el suelo con cemento (6 %). Por ejemplo, se han preparado suspensiones de nanotubos al 0.01 % como estabilizador en mezclas de suelo-cemento, logrando aumentar la resistencia del suelo hasta en un 360 % en comparación con un suelo naturalmente compacto.

Esto es importante ya que, en algunas obras de ingeniería, como en los parques eólicos, se instalan turbinas que llegan a pesar 315 toneladas, lo que implica construir cimentaciones de hasta 9 metros de profundidad. Esto significa miles de toneladas de cemento y varilla para reforzar el suelo donde se establecen. Por consiguiente, los nanomateriales podrían mejorar la resistencia del suelo y disminuir la cantidad de cemento que se usa actualmente.

La relación entre el precio y la cantidad de nanomateriales que se pueden aplicar como estabilizadores de suelo es alta, ya que son materiales de nueva generación; sin embargo, los beneficios a largo plazo pueden reducir este aspecto.



La relación entre el precio y la cantidad de nanomateriales que se pueden aplicar como estabilizadores de suelo es alta, ya que son materiales de nueva generación; sin embargo, los beneficios a largo plazo pueden reducir este aspecto. La relación costo/beneficio entre los nanomateriales y la lechada química es media, porque se utilizan hasta tres sustancias diferentes en la lechada para poder estabilizar la mezcla. Además, cada año se incrementa la fabricación de nanomateriales, lo que eventualmente abarataría su costo.

Si bien los nanomateriales tienen diversas aplicaciones potenciales, los efectos tóxicos se han evaluado en

diversas condiciones, pero aún se requiere información adicional. En el caso de los nanotubos, se ha considerado su viabilidad debido a que datos preliminares sugieren que estos, tienen poco o ningún efecto sobre los microorganismos del suelo, mientras que los nanomateriales de sílice son naturalmente inertes. Sin embargo, es importante comprender totalmente los efectos de los nanomateriales en el ambiente para realizar una evaluación ecológica profunda. Ya que el uso para la estabilización de suelos en la construcción a nivel industrial es una tecnología emergente y prometedora, pero aún no se ha generalizado completamente.

Las aplicaciones a gran escala de esta tecnología nanométrica dependerán en gran medida de las evaluaciones que involucren la mayoría de las interacciones con el entorno. Adicionalmente, también se requiere capacitación a los trabajadores para que puedan emplear técnicas adecuadas y replicar los ensayos que se han desarrollado en laboratorios.





Conclusiones

La nanotecnología aplicada a la arquitectura e ingeniería civil avanza al desarrollar nanomateriales que brindan soluciones para estabilizar suelos y expandir asentamientos urbanos seguros y duraderos. Las innovaciones tecnológicas y la formación de recursos humanos de alto nivel permitirán reemplazar materiales convencionales con fuerte impacto ambiental por otros de última generación; es decir, el uso de la nanotecnología en la ingeniería civil se vuelve una realidad aplicable a gran escala, sin ocasionar daños que atenten contra la sostenibilidad de suelo y la salud humana.

Literatura recomendada



Morantes, F. R., Ortiz, O. J. R., & Cárdenas, J. C. R. (2020). Estado del arte del uso de nano materiales en suelos para construcción de carreteras. *Respuestas*, 25(2), 213-223.

Anburuvel, A. (2024). La ingeniería detrás de la estabilización de suelos con aditivos: una revisión del estado del arte. *Ingeniería geotécnica y geológica*, 42(1), 1-42.

Semblanzas de autores



SCIENCE



Jessica E. Martínez-Vázquez: Estudiante de Doctorado en Ciencias en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Saltillo. Ramos Arizpe, Coahuila de Zaragoza.

Fabian Fernández-Luqueño: Investigador del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Saltillo. Adscrito a los Programas de Maestría en Ciencias y Doctorado en Ciencias en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía, Doctorado en Ciencias en Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad y Doctorado en Ciencias en Nanociencias y Nanotecnología.



Desertificación: La Pérdida Silenciosa de la Tierra

Nayelli Azucena Sigala-Aguilar^{1*};
Rodrigo Morales- García²;
Fabián Fernández-Luqueño¹

¹Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Cinvestav Saltillo. Doctorado en Ciencias en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía. Ramos Arizpe, Coahuila de Zaragoza, México.

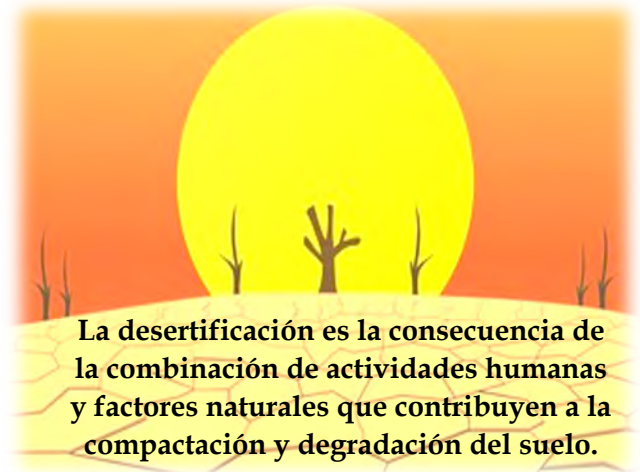
² Investigador independiente. México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales Coahuila de Zaragoza.

*Autor para correspondencia: nayelli.sigala@cinvestav.mx

La desertificación del suelo es un fenómeno silencioso y en expansión en todo el planeta Tierra. La pérdida de la capa fértil, provocada por factores ambientales y actividad humana, afecta negativamente la capacidad del suelo para sustentar el crecimiento de plantas y organismos. Además, la pérdida del suelo, de funcionar como un ecosistema, retener nutrientes y agua tiene consecuencias negativas en el medioambiente y calidad de la vida humana.

Introducción

Imagina un paisaje seco y sin vida, donde el suelo seco y quebradizo se extiende hasta donde alcanza la vista. Este paisaje es el resultado de un proceso silencioso y devastador llamado desertificación, un fenómeno que continúa afectando la Tierra. En general, este fenómeno puede ocurrir en cualquier parte del mundo, pero tiende a ser más común en regiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas. Comenzando con la degradación de la capa superficial del suelo, causada por la erosión producida por el viento y el agua, así como por la disminución de la porosidad, humedad y fertilidad del suelo. A medida que la capa fértil superior del suelo se desgasta y compacta, se vuelve menos permeable al agua y accesible a las raíces, por lo que deja de ser apto para el desarrollo de cultivos. Esta degradación crea una reacción en cadena en la que el suelo se vuelve cada vez más estéril y difícil de recuperar.





Desarrollo

La desertificación es el proceso por el cual los diferentes tipos de suelos, incluyendo los fértiles, se vuelven improductivos de manera total o parcial y adquieren características similares a un desierto. La desertificación es la consecuencia de la combinación de actividades humanas y factores naturales que contribuyen a la degradación del suelo, como la tala de árboles, agricultura intensiva, pastoreo excesivo y el cambio climático. Pero, ¿cómo ocurre la desertificación? De manera general, la tala de árboles o cualquier cambio en el uso del suelo, expone la capa superficial a la lluvia y al viento; como consecuencia, se incrementa la erosión, la cual, se define como el desplazamiento de partículas de suelo, con el consecuente desgaste o pérdida de la capa superior del suelo por agentes ambientales y humanos (Figura 1).

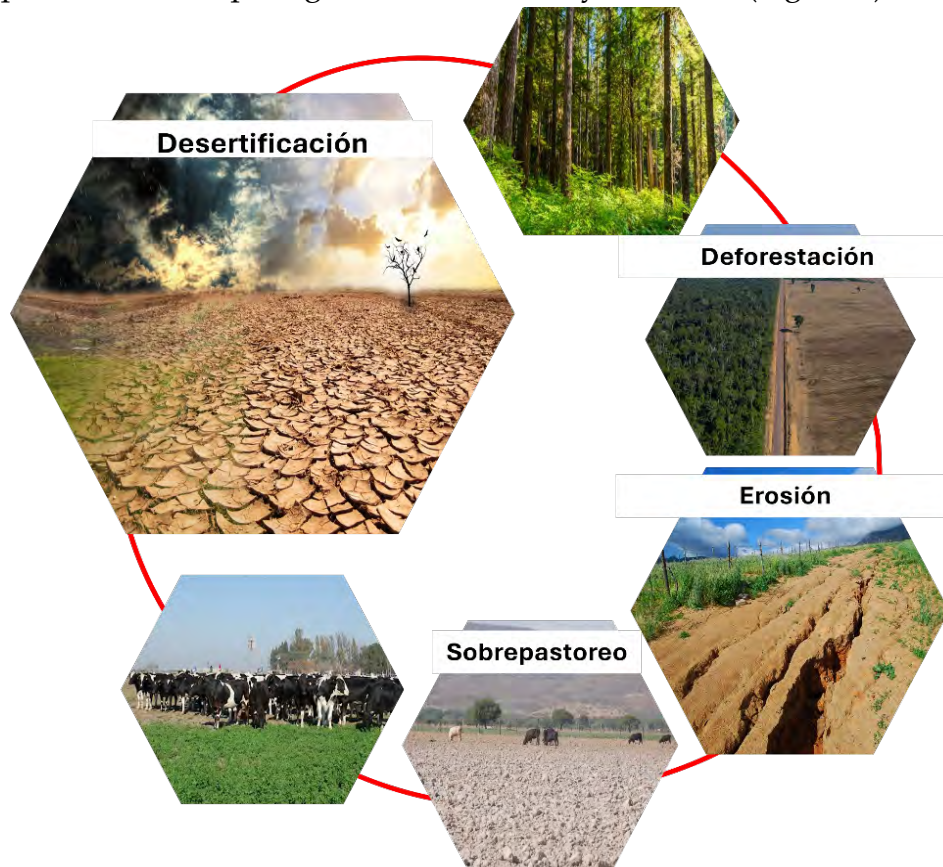


Figura 1. La pérdida silenciosa de la Tierra. La desertificación del suelo es la degradación parcial o total de la capa fértil del suelo, la cual puede ser provocada por actividades realizadas por el ser humano, como la deforestación y sobrepastoreo. Ambas actividades exponen la capa superficial del suelo a la erosión hídrica o eólica.



Por lo general, la compactación de los suelos agrícolas y su degradación son efecto del uso intensivo de maquinaria agrícola la cual disminuye con cada paso el espacio poroso del suelo obstruyendo la infiltración y retención del agua limitando así el crecimiento vegetativo y el desarrollo radicular de las plantas (Figura 1). Dicho suceso puede tener consecuencias devastadoras, ya que a medida que el suelo pierde su capacidad de infiltrar y retener agua, esta se acumula en la superficie del suelo, causando inundaciones. Consigo, estas, pueden degradar los suelos de manera más agresiva, a través de la erosión rápida especialmente en suelos con pendientes, salinización, compactación y arrastre de contaminantes.

La salud del suelo, se define como la capacidad de funcionamiento del mismo permitiendo el crecimiento y desarrollo de las plantas y otros organismos vivos. Sin embargo, la compactación provoca daños en la estructura del suelo ocasionando disminuciones en el contenido de oxígeno y funciones de los microorganismos cuya actividad favorece la descomposición de la materia orgánica (MO) y el ciclo de nutrientes.

En consecuencia, además de la compactación, la erosión disminuye la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas, lo que limita su desarrollo normal y contribuye a la degradación del suelo. Esto reduce la capacidad del suelo, de sustentar la vida vegetal y proporcionar materias primas y alimentos para los animales.



En México, predominan las siembras agrícolas monocultivo bajo el supuesto de facilitar el manejo del cultivo mismo mediante el uso de fertilizantes y agro tóxicos. Sin embargo, estos mecanismos de siembra agotan la disponibilidad de nutrientes específicos, disminuyendo la fertilidad de los suelos, generando resistencia en el manejo y control de plagas, enfermedades y malezas que a su vez afectan el crecimiento vegetativo y rendimiento de los cultivos.

Por lo anterior, la degradación del suelo por erosión y compactación puede llegar a ser un inicio de la desertificación de los suelos, implicando en algunos casos la salinización, contaminación de los suelos y mantos freáticos, teniendo consecuencias negativas en el medio ambiente y calidad de vida.

“La desertificación puede tener resultados catastróficos en el medioambiente y en las comunidades que dependen de las prácticas agrícolas.”



Impacto en el medioambiente y en las comunidades

La desertificación puede tener consecuencias devastadoras para el medioambiente y en las comunidades agrícolas. La pérdida silenciosa de la fertilidad del suelo debido a la erosión y degradación reduce la productividad agrícola y ganadera, lo que podría aumentar la pobreza en las comunidades y fomentar la migración. Ambientalmente, la desertificación del suelo puede provocar la disminución o pérdida de plantas, animales y microorganismos, al destruir hábitats naturales y reducir la disponibilidad de recursos esenciales como agua y nutrientes. Otra forma en que la desertificación afecta al medioambiente es mediante la degradación de ecosistemas frágiles y la intensificación del cambio climático. Cuando los suelos se secan y quedan expuestos, liberan grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero a la atmósfera. Por ejemplo, una hectárea de suelo agrícola mal gestionado puede liberar hasta 1,250 kg de carbono en forma de CO₂ al año, lo que contribuye significativamente al calentamiento global.



Mitigando el impacto

Aunque la desertificación es un fenómeno complejo que se expande de manera silenciosa y rápida, actualmente existen prácticas que pueden revertir o prevenir su avance. Las investigaciones del sector privado y público tienen como objetivo proveer de información para mitigar el impacto actual de desertificación en el país,



esto incluye prácticas de conservación del suelo, como la reforestación, pastoreo rotacional e implementación de nuevas tecnologías que ayuden a favorecer la asimilación de agua y nutrientes. Asimismo, la rotación de cultivos, que consiste en cultivar diferentes especies de plantas en ciclos agrícolas consecutivos, resulta beneficioso en la producción de alimentos y cuidado del suelo.



Este método mejora la fertilidad del suelo, reduce la acumulación de plagas y enfermedades específicas de los cultivos, y ayuda a mantener una estructura del suelo saludable, lo que a su vez promueve un ecosistema más equilibrado y sostenible. (Figura 2).

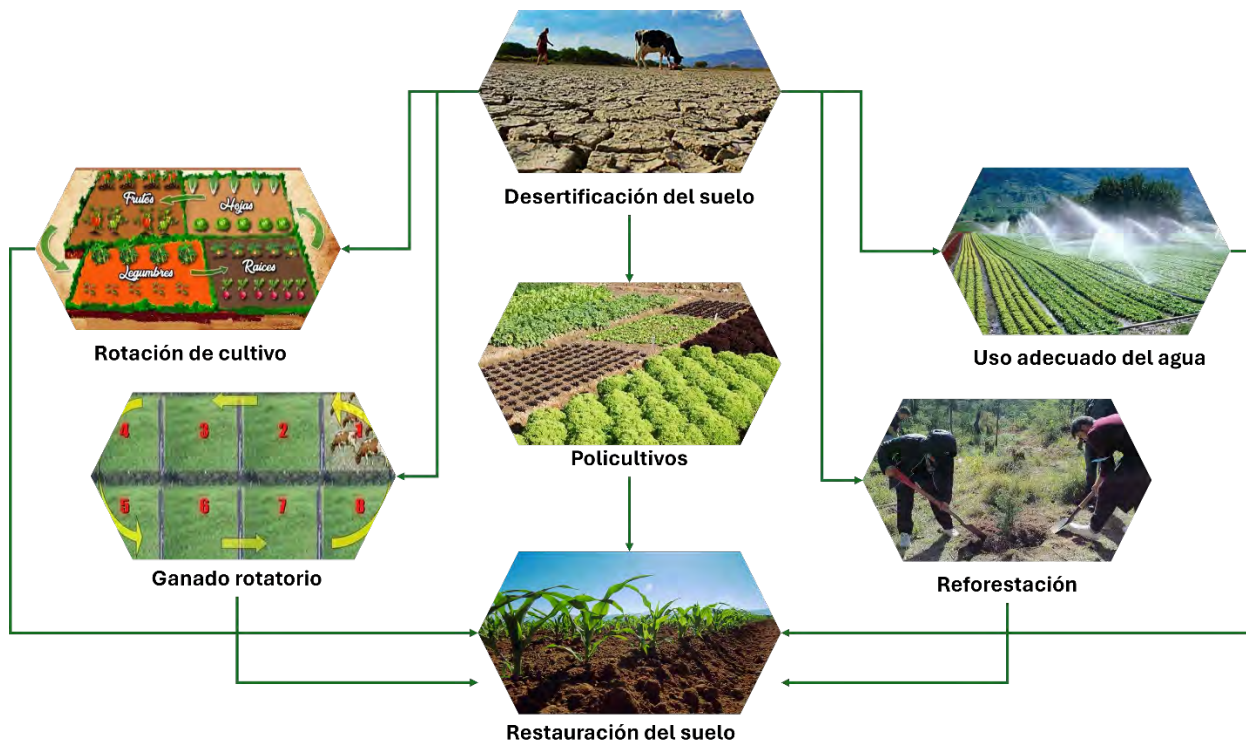


Figura 2. Actividades para mitigar la desertificación. Existen prácticas de conservación del suelo que pueden ayudar a revertir o prevenir dicho suceso, como la rotación de cultivos, policultivos, pastoreo rotacional, reforestación y el uso de tecnologías nuevas que pueden favorecer el uso adecuado de suelo y agua.

Cambiar el panorama y el punto de vista de grandes, medianos y pequeños productores agropecuarios es una tarea difícil, pero no imposible. Promover la reducción gradual del uso de agroquímicos y la adopción de prácticas agrícolas más resilientes y respetuosas con el medioambiente es esencial. Al implementar estas alternativas, se puede disminuir el impacto negativo de las técnicas agropecuarias tradicionales en el suelo, agua y aire, fomentando una producción agrícola más sostenible y equilibrada.

Es importante abordar las causas subyacentes de la desertificación y de otros problemas graves que afectan los suelos del país.



Es crucial mejorar la educación en las áreas rurales para aumentar la concientización sobre el cuidado del medio ambiente. Para lograrlo, es fundamental contar con el compromiso ético y político de las autoridades responsables, quienes divulguen la información para generar un impacto significativo en la conciencia de las personas.

Conclusión

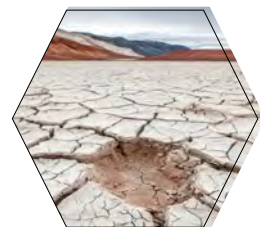
La desertificación es un fenómeno irreparable que requiere una respuesta global inmediata. Para mitigar los impactos negativos y asegurar un futuro más sostenible, es crucial proteger y restaurar la salud del suelo. Esto incluye proporcionar alternativas y promover prácticas agrícolas respetuosas con el medioambiente. Al adoptar estas medidas, se puede reducir significativamente el impacto actual de la desertificación y trabajar hacia un entorno más saludable para las generaciones futuras.

Literatura recomendada

Martínez-Valderrama, J., Guirado, E., & Maestre, F. T. (2021). ¿Se puede cartografiar la desertificación? Luces y sombras de una tarea desafiante. *Ecosistemas*, 30(3), 2211-2211.

Morales, C., & Parada, S. (2005). Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Belnap, J. (1995). Surface disturbances: their role in accelerating desertification. *Environmental Monitoring and Assessment*, 37, 39-57.

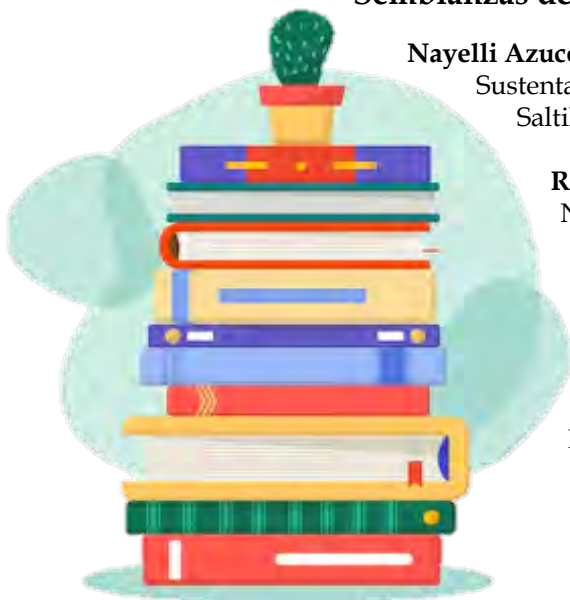


Semblanzas de autores

Nayelli Azucena Sigala-Aguilar: Estudiante de Doctorado en Ciencias en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía en Cinvestav Unidad Saltillo.

Rodrigo Morales-García: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales Coahuila de Zaragoza.

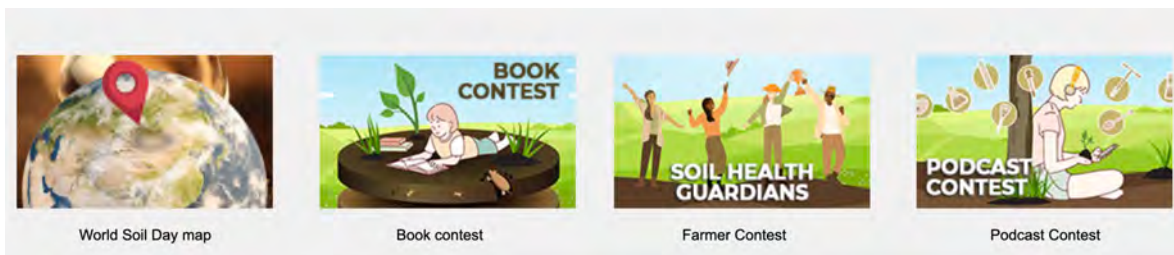
Fabián Fernández-Luqueño: Investigador del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Saltillo. Adscrito a los Programas de Maestría y Doctorado en Ciencias en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía, y Doctorado en Ciencias en Nanociencias y Nanotecnología.





| Sección VI: Entisol |

Más información en: <https://www.fao.org/world-soil-day/en/>



La inscripción y participación son gratuitas.



El Comité Editorial de **Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente** y la Mesa Directiva de la SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO, A. C., felicitan al Dr. Bernardo Murillo Amador, Editor en Jefe de la revista **Terra Latinoamericana**, y a todo su Comité Editorial por la inclusión de esta revista en el Journal Citation Reports™, obteniendo así su primer Factor de Impacto luego de 41 años de edición.



TERRA
Latinoamericana



Luego de 62 años de la fundación de la SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO, A. C. y 41 años del lanzamiento de la revista **Terra Latinoamericana**, esta consigue su primer factor de impacto en el Journal Citation Reports™.

Envía tus contribuciones científicas a la revista **Terra Latinoamericana**, órgano de difusión de la SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO, A. C.

Terra Latinoamericana es de publicación continua y publica artículos científicos originales de interés para la comunidad de la ciencia del suelo y agua.

TERRA
Latinoamericana



ISSN Electrónico 2395 - 8030

<https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra>



Agradecimiento público a los árbitros de esta revista

A un año de la creación de esta revista hacemos un reconocimiento público a todos los revisores que han donado su tiempo y experiencia en uno de los procesos más importantes de la revista, la revisión por pares. Mantener el rigor científico de las publicaciones de divulgación es fundamental para garantizar la calidad del contenido y la confianza de nuestros lectores. Su invaluable contribución ha sido clave para alcanzar este objetivo, ayudando a asegurar que cada artículo cumpla con los estándares de precisión, relevancia y excelencia científica.

Se enlistan en orden alfabético a los 101 revisores que contribuyeron en la creación del Volumen 1, Número 1, Volumen 2 Números 1, 2 y 3.

¡Gracias por su dedicación y compromiso!

Nombre	Afiliación
Adriana Antonio Bautista	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Aida Tania Rodríguez-Pedroso	Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cuba
Alejandra Lourdes de Gante González	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Alonso Luna Cruz	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Alonso Méndez López	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Alyn Mariana Palacios-Sosa	Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Ana Paulina Gómez Flores	Universidad Autónoma Metropolitana
Angelina Chamizo Checa	Universidad Autónoma de Tlaxcala
Ariane Dor	El Colegio de la Frontera Sur
Armando Robledo Olivo	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Bruno Manuel Chávez Vergara	Instituto de Geología, UNAM
Carlos Miguel Ramos Cruz	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Noreste
Carlos Neftali Cano González	Centro de Investigación en Química Aplicada
Carmina Gámez Barajas	Colegio de Postgraduados
Carmen Alicia Ayala Contreras	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Celia Chávez Mendoza	Centro en Investigación, Desarrollo y Alimentos
César Raziél Lucio Palacio	El Colegio de la Frontera Sur
César Roberto Sarabia Castillo	Universidad Vizcaya de las Américas, Campus Saltillo



Continuación...

Nombre	Afiliación
Daniel Arturo Rodríguez Lagunes	Universidad Veracruzana
Dante Alejandro López Carmona	Universidad Autónoma Chapingo
David Álvarez Solís	El Colegio de la Frontera Sur
David Palma-López	Colegio de Postgraduados Campus, Tabasco
David Sosol Reyes	Colegio de Postgraduados Campus, Córdoba
Elizabeth Solleiro Rebolledo	Instituto de Geología, UNAM
Elsy Rubisela López Vargas	Universidad Autónoma del Estado Hidalgo
Etelberto Cortez Quevedo	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Evangelina Esmeralda Quiñones Aguilar	Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco
Fabián Pérez Labrada	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Felipa de Jesús Rodríguez Flores	Universidad Politécnica de Durango
Fernanda Naomi Shimizu Romero	Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM
Fernando Ayala Niño	Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM
Fernando Carlos Gómez Merino	Colegio de Postgraduados Campus, Córdoba
Flor Silvestre Hernández Hernández	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Francisco Marcelo Lara Viveros	Centro de Investigación en Química Aplicada
Frédérique Reverchon	Instituto de Ecología, A.C.
Guadalupe Magdaleno García	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Héctor Eduardo Martínez Flores	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Hermes Pérez-Hernández	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Hida Karina Saénz Hidalgo	Centro en Investigación, Desarrollo y Alimentos
Irene Sánchez Gallen	Facultad de Ciencias, UNAM
Jaime Herrera Gamboa	Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana
Jorge Chávez Simental	Universidad Juárez del Estado de Durango
Jorge Mendoza Vega	El Colegio de la Frontera Sur
José Guadalupe Chan Quijano	Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad
José Rafael Paredes-Jacome	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
José Víctor Tamaríz Flores	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Juan A. Torres Rodríguez	Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Juan Carlos Noa Carrazana	Universidad Veracruzana



Continuación...

Nombre	Afiliación
Juan Pablo Cabral Miramontes	Universidad Juárez del Estado de Durango
Juana Cruz García Santiago	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Julia Medrano Macías	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Keiber Alberto Marcano Godoy	Instituto Pedagógico de Caracas, Venezuela
Langen Corlay Chee	Universidad Autónoma Chapingo
Laura Anabel Páez Olivan	Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana
Laura Yael Mendoza Agama	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN
Lidia Velasco Velasco	Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato
Linda Citlali Noperi Mosqueda	Universidad Autónoma Chihuahua
Lisett Santa Cruz Ludwig	Miembro de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo
Lorena Amaya Delgado	Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco
Luis Daniel Ortega Martínez	Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
Marco Eduardo Pachón-Suarez	Universidad de Cundinamarca, Colombia
María de Lourdes Rodríguez Ramírez	Universidad Autónoma Chapingo
Marian Guadalupe Hernández Arenas	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Exp. Zacatepec
Mariana Miranda Arámbula	Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada IPN, Tlaxcala
Mariana Tovar Castañon	Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM
Mario Villalobos Peñalosa	Instituto de Geología, UNAM
Mario Villalobos Peñalosa	Instituto de Geología, UNAM
Martín Bonfil Olivera	Universidad Nacional Autónoma de México
Mirna Hernández Pérez	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Nallely Jiménez Taboada	Comisión Nacional para la Mejora Continua de la Educación
Nayelli Azucena Sigala Aguilar	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Saltillo
Ofelia Adriana Hernández Rodríguez	Universidad Autónoma de Chihuahua
Omar Felipe Fabela Sánchez	Centro de Investigación en Química Aplicada
Oscar Cruz Álvarez	Universidad Autónoma de Chihuahua
Oscar Fernández Fernández	Universidad Autónoma Chapingo



Continuación...

Nombre	Afiliación
Oscar Sariñana Aldaco	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Oussama Mounzer	Centro de Investigación en Química Aplicada
Pablo Preciado Rangel	Instituto Tecnológico de Torreón
Patricia Zarazúa Villaseñor	Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, UdeG
Perla Cecilia Meléndez González	Universidad Autónoma de Nuevo León
Porfirio Juárez López	Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Purificación Marín Sanleandro	Universidad de Murcia, España
Ramiro Eleazar Ruiz Nájera	Universidad Autónoma de Chiapas
Ramiro Ríos Gómez	Facultad de Estudios Superiores, Aragón, UNAM
Ramona Pérez-Leal	Universidad Autónoma de Chihuahua
Raúl Alejandro Ramos Salazar	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Rausel Camas Pereyra	Universidad Nacional Autónoma de México
Rebeca Casique Valdés	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Rigoberto Castro Rivera	Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada IPN, Tlaxcala
Roberto Gregorio Chiquito Contreras	Universidad Veracruzana
Rosalía del Carmen Castelán Vega	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Rosalinda Mendoza Villarreal	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Sandra Maciel Torres	Universidad Autónoma Chapingo
Sandra Milena Silva Arroyave	Universidad de Medellín, Colombia
Sandra Monserrat Barragán Maravilla	Colegio de Posgraduados
Sandra P. Maciel Torres	Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas
Silvana Basack	Universidad Nacional de General Sarmiento, Argentina
Silvia Luna Suárez	Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada IPN, Tlaxcala
Sonia Valdez Ortega	Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana
Susana González Morales	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Valentín López Gayou	Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada IPN, Tlaxcala
Yunuen Tapia Torres	Escuela Nacional de Estudios Superiores- Morelia, UNAM

| Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente |
Revista de Divulgación de la
SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO, A.C.



Publicación trimestral
| Marzo-Junio-Septiembre-Diciembre |

ISSN: 2992-8125