



Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente

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



Vol. 4 — Núm. 2 — 2026

ISSN: 2992-8125



Mesa Directiva de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (2025-2027)

Dra. Dámaris Leopoldina Ojeda Barrios
Presidenta
Universidad Autónoma de Chihuahua

Dra. Dulce Yaahid Flores Rentería
Vicepresidenta
SECIHTI-Cinvestav Saltillo

Dr. Fabián Fernández-Luqueño
Secretaría General
Cinvestav Zacatenco

Dra. Susana González Morales
Tesorera
SECIHTI-UAAAN

Dra. Rosalía del Carmen Castelan Vega
Secretaría Técnica
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Dr. Oscar Cruz Álvarez
Secretaría de Eventos Nacionales e Internacionales
Universidad Autónoma de Chihuahua

Dra. Ofelia A. Hernández Rodríguez
Secretaría de Relaciones Públicas
Universidad Autónoma de Chihuahua

Dr. Gabriel Alejandro Hernández Vallecillo
Secretaría de Acción Juvenil
FES-Iztacala, UNAM

Dra. Lisett Santa Cruz Ludwig
Secretaría de Educación y Enseñanza
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

M.C. Ramón Saúl Lujan Aguirre
Secretaría de Promoción de Membresías
Universidad Autónoma de Chihuahua

Dra. Sandra Monserrat Barragán Maravilla
Secretaría de Creación de Contenido Digital
FES-Iztacala, UNAM

Dr. Hermes Pérez-Hernández
Subsecretaría general
INIFAP Campeche

Dra. Miriam Galán Reséndiz
Subsecretaría de Promoción de Membresías
Universidad Autónoma Chapingo

M.C. Ximena Castillo Valdez
Subsecretaría de Creación de Contenido Digital
Independiente

M.C. Ricardo González Zabaleta
Coordinador de cursos
Universidad Autónoma de Guerrero

Dr. Julián Delgadillo Martínez
Coordinador de Webinars
Colegio de Postgraduados

M.C. Oscar Fernández-Fernández
Coordinación de diplomados
Universidad Autónoma Chapingo

Comité Editorial de Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente

Editoras en Jefe

Dra. Dámaris Leopoldina Ojeda Barrios
Universidad Autónoma de Chihuahua

Dra. Dulce Yaahid Flores Rentería
SECIHTI-Cinvestav Saltillo

Editor Honorífico

Dr. Fabián Fernández-Luqueño
Cinvestav Zacatenco

Editores Adjuntos

Dr. Edgar Vázquez-Núñez
Universidad de Guanajuato

Dr. Hermes Pérez-Hernández
INIFAP Campeche

Dr. José Rafael Paredes Jácome
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dr. César Roberto Sarabia Castillo
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dra. Gabriela Guillen Cruz
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dra. Dámaris Leopoldina Ojeda-Barrios
Universidad Autónoma de Chihuahua

Dra. Alma C. Hernández Mondragón
Cinvestav Zacatenco

Dr. Julián Delgadillo Martínez
Colegio de Postgraduados

Dra. Rosalía Castelan Vega
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Dr. Fabián Fernández-Luqueño
Cinvestav Zacatenco

M.C. Rene Juárez Altamirano
Cinvestav Saltillo

Dra. Sandra Monserrat Barragán Maravilla
FES-Iztacala, UNAM

Dr. Gabriel Alejandro Hernández Vallecillo
FES-Iztacala, UNAM

Dra. Miriam Galán Reséndiz
Universidad Autónoma Chapingo

Editores Asociados

Dra. Nayelli Azucena Sigala Aguilar
Cinvestav Saltillo

M.C. Sarahi Moya-Cadena
Cinvestav Saltillo

Dr. Ricardo Aarón González Aldana
Universidad Autónoma de Chihuahua

M.C. Jessica Elizabeth Martínez-Vázquez
Cinvestav Saltillo

M.C. Oscar Fernández-Fernández
Universidad Autónoma Chapingo

M.C. Orlanda Tanahiri García González
Universidad Autónoma de Chihuahua

M.C. Marisela Calderón Jurado
Universidad Autónoma de Chihuahua

M.C. Alejandro Meléndez Aldana
Universidad Autónoma de Guadalajara

M.C. Mayra Andrea Martínez Curiel
Cinvestav Saltillo

Dr. Andrés Torres-Gómez
Cinvestav Saltillo

J. Esmeralda García Gallegos
Cinvestav Saltillo

Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente; Año 4, Número 2, abril a junio 2026, 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>, smcssn@gmail.com, Editor Responsable: Dra. Dulce Yaahid Flores Rentería. 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: Dulce Yaahid Flores Rentería. Fecha de última actualización, 30 de junio de 2026.

Todos los derechos reservados© 2026 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 divulgación científica desempeña un papel fundamental que consiste en acercar el conocimiento a la sociedad, despertar la curiosidad y evidenciar cómo la ciencia contribuye a comprender y resolver los desafíos que enfrentamos como sociedad. En ese sentido, cada oportunidad en que caminamos por un bosque, observamos una flor, cultivamos una planta y consumimos un fruto o verdura, estamos interactuando con una compleja red de organismos, procesos y recursos naturales que hacen posible la vida en el planeta. Sin embargo, muchas de estas relaciones no son visibles para la mayoría de nosotros.

Invitamos a nuestros lectores, en esta nueva edición de *Voces del Suelo, Agricultura y Medio Ambiente*, a recorrer temas fascinantes que muestran el poder de la naturaleza para mantener, renovar y transformar los sistemas agrícolas y los ecosistemas. A través de estas páginas conoceremos cómo las microalgas, las cianobacterias, los hongos y otros microorganismos desempeñan funciones esenciales que favorecen la productividad agrícola, la salud de los suelos y la conservación de la biodiversidad. También vamos a descubrir el papel de las meliponas y de los microorganismos asociados a ellas, cuya relevancia trasciende la producción de miel para convertirse en aliados estratégicos de la agroecología.

Un lugar especial en este número ocupa la nutrición y la seguridad alimentaria. Los avances en biofortificación, nanotecnología y bioenriquecimiento de cultivos muestran cómo la investigación científica busca desarrollar alimentos con mayor valor nutrimental para contribuir a la salud humana. Desde la relación entre el boro en la alfalfa y la nutrición animal, hasta la biofortificación de espinaca y hortalizas, los artículos aquí reunidos reflejan el esfuerzo de investigadores comprometidos con la producción de alimentos más saludables y sostenibles.

Además de la recuperación de tradiciones ancestrales en la alimentación propias de nuestra cultura como los quelites, las verdolagas y el frijol criollo, que nos acercan a nuestros orígenes y tradiciones.





Además, esta edición muestra la importancia de conservar y restaurar los recursos naturales y conservar nuestro entorno. Los bosques que renacen después de los incendios gracias a la acción de los hongos, la necesidad de proteger especies endémicas como el chiltepín y el cascalote, así como la reflexión sobre nuestra responsabilidad durante el Antropoceno, nos recuerdan que el futuro de los ecosistemas está profundamente vinculado a las decisiones y acciones que emprendamos hoy para conservarlos y restaurarlos.

También se presentan alternativas innovadoras para una agricultura más sostenible, como el uso de lombricompostas derivadas de residuos pecuarios, los beneficios de los ácidos húmicos y fúlvicos para la salud del suelo, el potencial del portainjerto CM-334 en la producción de chile manzano y las ventajas del control biológico mediante *Trichoderma*. Estas propuestas demuestran que la sostenibilidad agrícola puede construirse a partir del conocimiento, la innovación y el aprovechamiento responsable de los recursos disponibles. En ocasiones, las verdaderas innovaciones tecnológicas surgen de la capacidad de conservar, valorar y aprovechar los saberes que hemos heredado a lo largo del tiempo.



Esta edición nos recuerda que toda práctica agrícola debe sustentarse en información confiable. Por ello, la calidad en los análisis de suelo se presenta como una herramienta indispensable para comprender los procesos que ocurren bajo nuestros pies y para planear estrategias de manejo más eficientes y responsables.

Confiamos en que cada artículo despierte nuevas preguntas, motive la reflexión y construya un puente entre la ciencia y la sociedad. En cada investigación hay personas comprometidas que generan conocimiento útil para enfrentar los retos actuales y construir un futuro más sostenible. A ellas, a nuestros lectores y a todo el cuerpo editorial les agradecemos que formen parte de esta comunidad, que encuentra en la ciencia una herramienta para comprender, valorar y proteger el mundo que compartimos.

Editoras en Jefe

Dra. Dámaris Leopoldina Ojeda-Barrios
Universidad Autónoma de Chihuahua

Dra. Dulce Y. Flores-Rentería
SECIHTI-Cinvestav Saltillo



Contenido

SECCIÓN I. FACTORES DE FORMACIÓN DEL SUELO	Páginas
Subsección IA: Material Parental	
Resiliencia forestal: hongos que regeneran bosques tras incendios	1
Rodrigo Piñon Cervantes; María Luisa España Boquera; Luis López Pérez	
Subsección IB: Clima	
La verdolaga: revalorizando un quelite ancestral con alto valor nutricional y cultural	9
Jessica Santamaría-Miranda; Porfirio Juárez-López; Iran Alia-Tejagal; Erika Román Montes-de-Oca	
Subsección IC: Topografía	
Del campo al laboratorio: la calidad en los análisis de suelos	16
Francisco Javier López-González; Omar Cástor Ponce-García; Libia Iris Trejo-Téllez; Sandra Mendoza-Araujo; Erwin Saúl Navarrete-Saldaña	
Subsección ID: Organismos	
Microalgas y cianobacterias al rescate de la agricultura	27
León Sánchez-García; Ingrid Hernández-Martínez; María Laura González-Reséndiz; Luis C. Fernández Linares; Marcia G. Morales-Ibarría	
Microbios aliados de las meliponas: claves para la agroecología	36
Paulina Janneth Pérez-Peralta; Dulce Jazmín Hernández-Melchor; Sandra Cortés-Pérez; Ronald Ferrera-Cerrato	
Nematicidas en la agricultura: Efectos sobre nematodos benéficos y la salud del suelo	46
Nidia Soledad Enríquez-Fernández; Anselmo de Jesús Cabrera Hidalgo; Nahum Marban-Mendoza	
Simbiosis micorrízica: la red invisible que sostiene a los cultivos	54
Adriana Antonio-Bautista; Gabriela Guillen-Cruz; César R. Sarabia Castillo	
Subsección IE: Tiempo	
Antropoceno: entre la transformación del planeta y la responsabilidad humana	61
Luis Rodrigo Vaca-Juárez; Rubén Hernández-Morales; Edgar Vázquez Núñez; Gabriela A. Zanor	



Continuación del contenido...

SECCIÓN II. PROCESOS DE FORMACIÓN DEL SUELO

Subsección IIA: Adición

- Alfalfa biofortificada con boro: el match planta - cabra** 70
 Xileme Yaquin Gonzalez-Hidalgo; Steffanny Sánchez-Portillo; Sarahi del Carmen Rangel-Ortega; Fabián Pérez-Labrada

Subsección IIB: Transformación

- Portainjerto CM-334: Armadura genética para la producción comercial de chile manzano** 77
 Tabita Queren Pérez-Reyes; Mario Pérez-Grajales; Ma Teresa Martínez-Damián

- El frijol criollo como patrimonio natural y cultural de los pueblos originarios** 85
 Orlanda Tanahiri García González; Marisela Calderón-Jurado; Oscar Cruz-Álvarez; Oscar Sariñana-Aldaco; Dámaris Leopoldina Ojeda-Barrios

SECCIÓN III. LA ARCILLA

- Ácidos húmicos y fúlvicos: aliados del suelo** 92
 Darahani Violeta Díaz García

- El chiltepín; un recurso valioso que necesita conservación** 94
 Evelyn Berenice Sánchez Chávez; Brenda Ivette Guerrero Camacho

- De residuo porcino a flor ornamental: la lombricomposta como bioinsumo en la nutrición de gerbera (*Gerbera jamesonii* L.)** 96
 Gabriel Alberto Barrios-López; Carmen Alicia Ayala-Contreras

- Volátiles un lenguaje bioquímico en el suelo; *Trichoderma* sp. en el control de fitopatógenos** 98
 Edel Torres-Torres; Hilda Karina Sáenz-Hidalgo; Francisco Javier Molina-Corral; Erika Sireni Rodríguez-Martínez; Sandra Mónica Alvarado-González

- Biofortificación de Espinaca: Innovación con nanotecnología para la salud** 101
 Alan Alvarez-Monge; Ezequiel Muñoz-Márquez; Celia Chávez-Mendoza; Alexandro Guevara-Aguilar; Esteban Sánchez-Chávez

- Hortalizas biofortificadas: Alternativa a la malnutrición** 104
 Juan J. Patiño-Cruz; Alan Álvarez Monge; Esteban Sánchez Chavez

- ¿Qué es el cascalote y por qué es importante?** 107
 José Juan Buenrostro Figueroa; Neydi Mayte De la Torre Juárez

- El desequilibrio de *Trichoderma* spp. en el suelo inhibe a los hongos ectomicorrízicos** 109
 Nancy Vyanney Romero-Alcantar; Ezequiel Muñoz-Márquez; Sandra Pérez-Álvarez; Esteban Sánchez; Hilda Karina Sáenz-Hidalgo



Resiliencia forestal: hongos que regeneran bosque tras incendios

Rodrigo Piñón Cervantes¹
María Luisa España Boquera¹
Luis López Pérez^{1*}

¹Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

*Autor de correspondencia: luis.lopez.perez@umich.mx

Introducción

Cuando tras un incendio forestal el fuego se extingue, el silencio y el color oscuro del paisaje hacen pensar que toda forma de vida ha desaparecido. Los animales han escapado, el suelo ha quedado expuesto, los árboles están muertos o dañados y la vida parece haberse detenido (Figura 1). Sin



embargo, bajo la superficie del suelo una red invisible de microorganismos (especialmente hongos ectomicorrízicos) permanece viva y activa, preparándose para desencadenar el proceso de regeneración del bosque. En muchos ecosistemas forestales el fuego forma parte de su historia natural y, lejos de representar un final, marca el inicio de un proceso silencioso de recuperación.

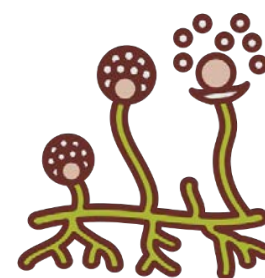
Los hongos ectomicorrízicos, que forman relaciones simbióticas con las raíces de los árboles, actúan como aliados invisibles que facilitan la absorción de agua y nutrientes, conectan las plantas entre sí y estabilizan el ecosistema. En muchos bosques, los incendios son el comienzo de un nuevo ciclo en el que la vida que permanece bajo el suelo adquiere un papel decisivo para que los bosques renazcan de sus cenizas.

Después del fuego la vida del bosque no desaparece, comienza un proceso silencioso de recuperación bajo el suelo.



Figura 1. Bosque después de un incendio.

A lo largo del tiempo, numerosos ecosistemas forestales han convivido con el fuego y han logrado adaptarse a él. Los incendios ayudan a eliminar ramas secas, árboles muertos y exceso de mantillo, lo que permite el crecimiento de nuevos árboles. En regiones donde los incendios son recurrentes, muchas especies vegetales han desarrollado estrategias que les permiten sobrevivir o regenerarse después del fuego. Algunas poseen cortezas gruesas que protegen los tejidos vivos del calor, otras producen semillas que germinan después de la exposición a altas temperaturas y varias especies tienen la capacidad de rebrotar desde la base del tronco o desde sus raíces. Estas adaptaciones permiten que la vegetación reaparezca gradualmente tras el paso del fuego. En México, los bosques templados de la Sierra Madre Occidental (particularmente en estados como Durango, Chihuahua y Jalisco) han convivido históricamente con incendios naturales. Estos ecosistemas, dominados por especies de pino y encino, dependen en gran medida de sus redes de hongos ectomicorrízicos para recuperarse tras eventos de fuego. Estudios recientes han documentado que, incluso tras incendios severos, las comunidades de hongos ectomicorrízicos pueden persistir en capas profundas del suelo y recolonizar rápidamente las zonas afectadas, acelerando la regeneración natural del bosque.



Es normal que ocurran incendios no severos cada cierto tiempo; además, esto evita que se acumule combustible y ocurran incendios graves. Las culturas tradicionales tienen conocimientos ancestrales sobre el manejo del fuego y saben cómo cuidar sus bosques. El problema actual, debido al cambio climático y a la acción humana, es que los incendios han aumentado en intensidad y frecuencia, llegando a superar la capacidad natural de recuperación del bosque.



Severidad del daño causado por el fuego

La intensidad del fuego depende en gran medida de la cantidad de combustible y su grado de humedad; sin embargo, hay otros factores que determinan la severidad del daño causado por el incendio, principalmente la velocidad del frente de las llamas, que depende del viento y del relieve. Los incendios de rápida propagación suelen ser superficiales y pueden favorecer procesos naturales de renovación. Los incendios lentos o latentes pueden extenderse hacia las copas de los árboles y a las partes subterráneas, afectando tanto a las raíces de las plantas como a los organismos del suelo (Figura 2), cuya participación es esencial para la vida del bosque, pues contribuyen a la captura de agua y nutrientes.



Figura 2. Incendio en el Cerro de la Cruz en Acuitzio del Canje, 29 de marzo de 2024.

El suelo es uno de los componentes más afectados tras un incendio severo. El calor reduce la materia orgánica, altera la química del suelo y deja la superficie expuesta a la erosión. Como la mayoría de los incendios ocurren en primavera, poco después del fuego inician las lluvias. La ceniza mojada actúa como una capa impermeable que dificulta la infiltración del agua; además, la pérdida de cobertura vegetal incrementa la escorrentía y favorece el arrastre del suelo fértil, lo que retrasa la recuperación de la vegetación.



El bosque vuelve desde abajo: una red invisible bajo los pies

El éxito de la regeneración de un bosque tras un incendio depende de la severidad del daño sufrido a los árboles, de la presencia y sobrevivencia de semillas y, en gran medida, de la salud del suelo y de las interacciones biológicas que ocurren bajo la superficie.

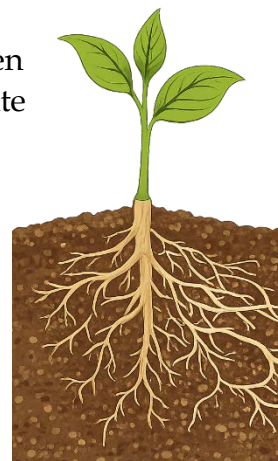
Los incendios no siempre significan destrucción, también pueden activar procesos naturales de renovación

Bajo el suelo existe una extensa red de hongos que vive asociada a las raíces de los árboles. Estos hongos, conocidos como ectomicorrízicos, forman relaciones simbióticas que benefician tanto al hongo como a la planta. A través de sus filamentos, los hongos exploran el suelo más allá del alcance de las raíces y facilitan la absorción de agua y nutrientes, especialmente en ambientes donde estos recursos son limitados. En bosques de pino de Norteamérica, se ha documentado que hasta el 90% de los nutrientes que absorbe un árbol pueden provenir de la red micorrízica; así mismo, en incendios severos la recuperación de la comunidad fúngica puede tomar entre 5 y 15 años, dependiendo de la severidad del fuego y las condiciones del sitio.

Los hongos ectomicorrízicos también contribuyen al reciclaje de los restos orgánicos generados por el fuego y favorecen la movilización de nutrientes dentro del suelo. Sus redes subterráneas conectan diferentes plantas, facilitando la transferencia de recursos y aumentando la estabilidad del ecosistema. Esta red ha sido denominada el “Wood Wide Web” (la internet de los árboles), ya que funciona como un sistema de comunicación y distribución de recursos entre plantas. Además, muchas de sus estructuras pueden sobrevivir en capas profundas del suelo o regenerarse rápidamente cuando las condiciones vuelven a ser favorables.

¿Cómo los hongos alimentan los árboles?

Los hongos ectomicorrízicos actúan como una extensión invisible del sistema radicular de los árboles. Imagina que las raíces de un árbol son como dedos tratando de alcanzar el vaso de agua y alimento de un plato: pueden alcanzar solo lo que está cerca. Los hongos, con sus finos filamentos llamados hifas, funcionan como millones de hilos microscópicos que exploran el suelo mucho más allá de lo que las raíces podrían alcanzar. Este proceso funciona así: 1. Las hifas del hongo se extienden por el suelo como una red subterránea 2. Captan agua y nutrientes (fósforo, nitrógeno, potasio) del suelo





3. Los transportan hacia las raíces del árbol 4. A cambio, el árbol proporciona azúcares (producto de la fotosíntesis) al hongo. Es una relación de trueque: el hongo obtiene alimento que no puede producir por sí mismo y el árbol obtiene nutrientes que no podría alcanzar solo. Esta simbiosis es especialmente crucial después de un incendio, cuando el suelo ha perdido nutrientes y la competencia por los recursos es intensa. Se tienen varios estudios que han mostrado el beneficio de esta asociación (Tabla 1).

Tabla 1. Hongos ectomicorrízicos y su función en la regeneración de bosques post-incendio.

Especie de hongo	Árbol asociado	Función Principal en Regeneración Post-Incendio
<i>Rhizopogon roseolus</i>	<i>Pinus</i> spp. (pinos)	Coloniza rápidamente suelos quemados; facilita establecimiento de plántulas de pino
<i>Cenococcum geophilum</i>	<i>Pinus</i> spp., <i>Quercus</i> spp. (encinos)	Alta tolerancia a estrés; forma esclerocios que sobreviven al fuego; recolonización temprana
<i>Suillus brevipes</i>	<i>Pinus contorta</i> , <i>P. ponderosa</i>	Específico de pinos; esporas resistentes al calor; colonización inmediata post-incendio
<i>Laccaria bicolor</i>	Diversas especies de pino	Conecta múltiples árboles; facilita transferencia de carbono y nutrientes entre plantas
<i>Thelephora terrestris</i>	<i>Pinus</i> , <i>Pseudotsuga</i>	Pionero en suelos perturbados; ayuda a estabilizar suelo y retener humedad

Estos hongos no solo benefician a los árboles individuales, sino que crean redes que conectan toda la comunidad vegetal, permitiendo que las plantas se “comuniquen” y compartan recursos, lo que aumenta la resiliencia del ecosistema ante los incendios.



¿Intervenir o dejar que la naturaleza actúe?

La restauración de bosques quemados puede abordarse a través de una restauración activa, que implica plantar árboles, aplicar fertilizantes y realizar intervenciones directas (esta es útil en áreas severamente degradadas o cuando se busca acelerar la recuperación), o una restauración pasiva, que consiste en proteger el área y permitir que los procesos naturales de regeneración ocurran (esta opción es viable cuando el suelo conserva su banco de semillas y sus comunidades de microorganismos, especialmente hongos ectomicorrízicos). En muchos casos, la restauración pasiva puede ser igual o más efectiva que la activa, además de ser menos costosa; la clave está en evaluar la severidad del daño: si el fuego fue de baja o media intensidad y el suelo conserva su biota, la restauración pasiva promovida por los hongos nativos puede ser la mejor opción.

Recuperar el bosque sin apresurarlo

Reconocer la importancia de los organismos del suelo cambia la forma en que se entiende la restauración forestal, dando prioridad a conservar las condiciones que permiten que el ecosistema vuelva a organizarse por sí mismo.

La restauración de un bosque quemado no siempre requiere intervenciones intensivas. En muchos casos, proteger el suelo durante las primeras etapas resulta más importante que plantar árboles de inmediato. Mantener cobertura vegetal, evitar la compactación y favorecer especies nativas son estrategias que permiten que los procesos naturales de regeneración se desarrollen de forma más estable y duradera (Figura 3).



Figura 3. Regeneración natural de bosque de pino tras incendio forestal
(Imagen generada con IA).



Así mismo, entender el papel de los microorganismos del suelo cambia la manera en que se concibe la restauración forestal. No se trata solo de recuperar árboles visibles, sino de conservar las relaciones invisibles que sostienen al ecosistema.

Conclusión

Los incendios forestales transforman el paisaje de manera inmediata. Cuando se respetan los ritmos naturales de ocurrencia de incendios, estos no representan únicamente destrucción, sino que también activan procesos de renovación que han acompañado a los bosques durante millones de años. La recuperación del bosque depende en gran medida de la salud del suelo y de los microorganismos que lo habitan. Los hongos ectomicorrízicos actúan como aliados invisibles que facilitan la regeneración vegetal y la estabilidad del ecosistema. Comprender su función permite reconocer la importancia de conservar el suelo después del fuego y de promover prácticas de manejo forestal que favorezcan los procesos naturales de recuperación. Difundir este conocimiento abre oportunidades para que estudiantes, técnicos y comunidades participen en la restauración de los ecosistemas forestales después de un incendio y en el manejo responsable del fuego.

Literatura recomendada



Díaz-Raviña, M., Martín-Jiménez, Á., González-Prieto, SJ, & Carballas-Fernández, T. (2018). 10 pasos clave para recuperar los ecosistemas forestales quemados. Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia (IIAG-CSIC), Apartado 122. Avda. Vigo s/n, 15780 Santiago de Compostela, Spain. Disponible en: <https://www.campogalego.es/10-pasos-clave-para-recuperar-los-ecosistemas-forestales-quemados/>

Flores-Rodríguez, A. G., Flores-Garnica, J. G., González-Eguiarte, D. R., Gallegos-Rodríguez, A., Zarazúa-Villaseñor, P., Mena-Munguía, S., ... & Ruíz-Guzmán, E. (2021). Regeneración natural de pino y encino bajo diferentes niveles de perturbación por incendios forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(65), 3-25. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i65.776>

Martínez-Garza, C., Juan-Baeza, I., León-Carvajal, K., & Hernández-Hernández, M. (2022). La regeneración del bosque después de un incendio. *Inventio*, 18(44), 1-11. Disponible en: <https://inventio.uaem.mx/index.php/inventio/article/view/676>



Semblanza de autores

Ambiental. Rodrigo Piñón Cervantes: Estudiante de la Maestría en Producción Agropecuaria en la UMSNH. Su trabajo se centra en el análisis de incendios forestales mediante el uso de datos satelitales.

María Luisa España Boquera: Profesora investigadora del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la UMSNH. Especialista en el análisis de datos satelitales para estudios forestales.

Luis López Pérez: Profesor e investigador del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la UMSNH. Especialista en estudios de Ecofisiología Vegetal.





La verdolaga: revalorizando un quelite ancestral con alto valor

Jessica Santamaría-Miranda¹,
Porfirio Juárez-López^{1*},
Iran Alia-Tejacal¹,
Erika Román Montes de Oca¹.

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México. C.P. 62210.

*Autor para correspondencia: porfirio.juarez@uaem.mx Celular: 777 103 34 26.

La verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) es un quelite ancestral que se consume en México, posee amplia distribución y presencia en la cocina tradicional con alto valor cultural y nutricional con beneficios para la salud humana. Es una fuente importante de vitaminas, minerales esenciales, compuestos bioactivos y ácidos grasos omega-3. Además, su capacidad de adaptación a condiciones ambientales y edáficas adversas la convierte en una alternativa viable de producción sostenible.

Introducción

La verdolaga (*Portulaca oleracea* L.), está presente en campos agrícolas, huertos familiares y mercados tradicionales de México, durante mucho tiempo ha sido considerada una “maleza”, pero en realidad tiene alto valor cultural y nutricional. Este “quelite” (náhuatl quilítl), termino genérico usado en México para referirse a diversas plantas herbáceas comestibles, principalmente hojas tiernas, brotes, tallos o flores, que forman parte de la alimentación tradicional. En el caso de la verdolaga, prevalece desde tiempos prehispánicos, forma parte del patrimonio biocultural del país y ha acompañado por generaciones a las comunidades rurales como un alimento accesible, sabroso y versátil.

En años recientes, estudios científicos han demostrado que la verdolaga no solo es un ingrediente emblemático de la cocina mexicana, sino también es una hortaliza con un perfil nutricional excepcional. Es una fuente destacada de minerales, vitaminas, antioxidantes y ácidos grasos omega-3, compuestos con que han demostrado beneficios para la salud humana.

La verdolaga,
generalmente
considerada una
maleza, es en
realidad uno de
los quelites con
mayor valor
nutricional y
cultural en
México.



Desde el punto de vista agronómico, la verdolaga destaca por su alta rusticidad, ya que puede desarrollarse en suelos con baja fertilidad, compactados y limitada disponibilidad de agua. Estas características la convierten en una especie estratégica frente a escenarios de cambio climático, agricultura de bajos insumos y sistemas agroecológicos.

El objetivo del presente artículo de divulgación es contribuir a resaltar la importancia de la verdolaga como cultivo, alimento y recurso biocultural, así como describir sus principales características nutricionales y sus usos en la cocina mexicana. Se plantea contribuir a la revalorización de este quelite ancestral y fomentar su consumo como parte de una alimentación saludable y culturalmente pertinente.

Importancia de la verdolaga

La verdolaga es una planta herbácea distribución en México y el quelites de mayor relevancia alimentaria de México. Su época prehispánica y, hasta la la dieta en diversas comunidades periurbanas en distintas regiones

Esta especie puede recolectarse de temporada de lluvias, agronómico o puede ser sistemas hidropónicos.

La verdolaga se distribuye de manera natural en toda la República Mexicana. Sin embargo, solo se produce en cuatro entidades de manera comercial con manejo agronómico. En el año 2024, el estado de Morelos fue la entidad con mayor superficie de producción de verdolaga en México con 210 hectáreas, lo que representa el 51 % de la superficie total sembrada en México (Tabla 1).



suculenta de amplia mundo, es uno de los histórica, cultural y consumo se remonta a la actualidad forma parte de rurales y zonas de México.

manera silvestre durante la cultivarse en parcelas con manejo producida en huertos familiares e incluso en

Debido a su capacidad para crecer en suelos con poca fertilidad y a su tolerancia a la sequía, la verdolaga representa una alternativa estratégica frente al cambio climático.



Tabla 1. Estadísticas de producción del cultivo de verdolaga en México en el año 2024.

Entidad federativa	Superficie Sembrada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	PMR (pesos/t)	Valor Producción (pesos mexicanos)
Morelos	210	2,816.10	13.41	2,857.41	8,046,750
Baja California	18	148.00	8.22	6,219.32	920,460
Ciudad de México	141	1,490.03	10.81	7,845.58	11,690,140
Estado de México	45	655.20	14.56	3,550.00	2,325,960
Total	414	5,109.33	12.44	4,498.30	22,983,310

PMR: precio medio rural. Elaboración propia con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

El interés científico y agroalimentario de la verdolaga se ha incrementado, debido a su potencial como cultivo alternativo, por su relativa facilidad para establecerse y el alto valor nutricional que aporta, lo que favorece su revalorización dentro de la soberanía alimentaria y la conservación de la agrobiodiversidad mexicana.

El sistema de producción comercial del cultivo de verdolaga es intensivo mediante melgas y con riego rodado (Figura 1). La comercialización en mercados locales se realiza en manojos (Figura 2). Cabe mencionar que el municipio de Cuautla, en Morelos, ocupa el primer lugar de producción de verdolaga a nivel nacional y el ciclo de cultivo en esta región es de aproximadamente un mes de siembra a cosecha.



Figura 1. Sistema de producción intensivo del cultivo de verdolaga en Cuautla, Morelos, México. Fotografía propia de los autores.



Figura 2. Comercialización de verdolaga en un mercado local de Cuautla, Morelos. En la parte central inferior de la imagen se observan manojos de verdolaga. Fotografía propia de los autores.

Características nutricionales y funcionales

La verdolaga posee un perfil nutricional excepcional que supera incluso a muchas hortalizas de consumo común. Entre sus principales atributos destaca su alto contenido de fibra dietética y minerales esenciales (potasio, calcio, magnesio, hierro y zinc), elementos clave para el adecuado funcionamiento del cuerpo humano (Tabla 2).

Uno de los rasgos más sobresalientes de la verdolaga es su condición como fuente vegetal rica en ácidos grasos omega-3, particularmente ácido alfa-linolénico. Estos ácidos grasos esenciales contribuyen a la salud cardiovascular, la reducción del colesterol y la prevención de enfermedades inflamatorias y metabólicas, lo que posiciona a la verdolaga como un alimento funcional con alto potencial para la prevención de enfermedades crónicas.

Asimismo, la verdolaga contiene antioxidantes, vitamina C, vitamina E, vitamina A, y vitaminas del complejo B, así como una amplia diversidad de compuestos bioactivos, entre los que destacan fenoles y flavonoides, responsables de su elevada actividad antioxidante (Tabla 2).





Tabla 2. Composición mineral y funcional de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) con base en peso fresco.

Componente	Valores reportados (mg por 100 g)
Potasio (K)	450 - 530
Calcio (Ca)	60 - 70
Magnesio (Mg)	65 - 75
Hierro (Fe)	1.8 - 9.3
Zinc (Zn)	0.8 - 3.3
Fósforo (P)	40 - 45
Omega-3 (ácido alfa-linolénico)	300 - 400
Vitamina C (ácido ascórbico)	20 - 27
Vitamina E (alfa-tocoferol)	10 - 12
Beta-caroteno	1.5 - 2.0
Fenoles totales	150-220 (mg EAG 100 g ⁻¹)
Flavonoides totales	60-95 (mg EQ 100 g ⁻¹)
Capacidad antioxidante (DPPH)	900-1 300 (μmol ET 100 g ⁻¹)

EAG = equivalentes de ácido gálico; EQ = equivalentes de quercetina; ET = equivalentes de Trolox.

Usos de la verdolaga en la cocina mexicana

En la gastronomía mexicana, la verdolaga ocupa un lugar privilegiado como ingrediente tradicional, apreciado por su sabor ligeramente ácido y por su versatilidad culinaria. Uno de los platillos más representativos es la verdolaga en



Figura 3. Carne de cerdo en salsa con verdolaga. Fotografía propia de los autores.

salsa verde con carne de cerdo, ampliamente consumido en México (Figura 3).

Entre las diferentes variantes de consumo, se propone que la verdolaga puede usarse como ingrediente complementario para la elaboración de tamales (Figura 4).

**El consumo de verdolaga
no solo rescata un alimento
ancestral, sino que
contribuye a dietas más
saludables.**



Las hojas y tallos tiernos pueden consumirse crudos en ensaladas, previamente desinfectadas, lo que permite conservar en mayor medida sus vitaminas y antioxidantes. Al igual que en otras hortalizas, se ha reportado que los métodos de cocción en verdolaga influyen en la conservación de los compuestos bioactivos, por ejemplo, el proceso de cocción reduce parcialmente la actividad antioxidante, pero mantiene un aporte nutricional significativo de minerales, lo que reafirma su valor dentro de una dieta balanceada.

La cocina tradicional mexicana ha conservado el uso de la verdolaga como un ejemplo vivo de la relación entre biodiversidad, alimentación y conocimiento local.



Figura 4. Tamales con verdolaga. Fotografía propia de los autores.

La recuperación y difusión de recetas tradicionales de verdolaga no solo fortalece la identidad culinaria mexicana, sino que también promueve el consumo de alimentos locales y nutritivos, alineados con los principios de una alimentación saludable y culturalmente pertinente. Ante esto, vale la pena preguntarse: ¿Sabías que la verdolaga puede aportar más omega-3 que muchos pescados, y a un costo menor? Y ¿Qué otras comidas preparadas con verdolaga conoces?

Conclusión

La verdolaga es un recurso vegetal de gran importancia para México por su amplia adaptabilidad, bajo requerimiento de insumos y capacidad para desarrollarse en suelos de baja fertilidad, compactados y con limitada disponibilidad de agua. Estas características la convierten en una alternativa viable para la agricultura familiar, los sistemas agroecológicos y la producción intensiva con manejo agronómico, especialmente frente a escenarios de cambio climático. Además, su valor nutricional y funcional, junto con su arraigo en la cocina tradicional mexicana, favorece su revalorización como quelite ancestral, saludable y culturalmente pertinente.



Literatura recomendada

Li, Y., Xiao, L., Yan, H., Wu, M., Hao, X., & Liu, H. (2024). Nutritional values, bioactive compounds and health benefits of purslane (*Portulaca oleracea* L.): A comprehensive review. Food Science and Human Wellness, 13, 2480–2501. <https://doi.org/10.26599/FSHW.2022.9250203>



Mera-Ovando, L. M., Bye-Boettler, R. A., & Solano, M. L. (2014). La verdolaga (*Portulaca oleracea* L.). Fuente vegetal de omega 3 y omega 6. Agroproductividad, 7(1), 3–7.

Román-Cortés, N. R., García-Mateos, M. del R., Castillo-González, A. M., Sahagún-Castellanos, J., & Jiménez-Arellanes, M. A. (2018). Características nutricionales y nutraceuticas de hortalizas de uso ancestral en México. Revista Fitotecnia Mexicana, 41(3), 245–253.

<https://doi.org/10.35196/rfm.2018.3.245-253>

Semblanza de autores

Jessica Santamaría-Miranda. Ingeniero Agrónomo Especialista en Parasitología Agrícola y Maestra en Ciencias en Horticultura por la Universidad Autónoma Chapingo. Estudiante de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Porfirio Juárez-López. Ingeniero Agrónomo en Producción por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Maestro en Ciencias en Fisiología Vegetal por el Colegio de Postgraduados. Doctor en Ciencias en Horticultura por la Universidad Autónoma Chapingo. Profesor Investigador de Tiempo Completo de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Iran Alia-Tejacal. Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia por la Universidad Autónoma Chapingo. Maestro y Doctor en Fisiología Vegetal por el Colegio de Postgraduados. Profesor Investigador de Tiempo Completo de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Erika Román Montes de Oca. Ingeniera en Desarrollo Rural, Maestra en Ciencias en Desarrollo Rural y Doctora en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural por la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Profesora Investigadora de Tiempo Completo de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.





Del campo al laboratorio: la calidad en los análisis de suelos

Francisco Javier López-González¹,
Omar Cástor Ponce-García²,
Libia Iris Trejo-Téllez¹,
Sandra Mendoza-Araujo³,
*Erwin Saúl Navarrete-Saldaña⁴

¹Posgrado en Edafología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56264

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Delicias, Delicias, Chihuahua, México. C. P. 33000

³Laboratorio de Calidad e Inocuidad SIASA LAB, Área de Análisis Elemental. Camino Real de Carretas 192, Col. Milenio III, Santiago de Querétaro, Querétaro, México. C. P. 76060

⁴Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56264

*Autor de correspondencia: navarrete.erwin@colpos.mx

Un análisis de suelos confiable es fundamental para tomar decisiones acertadas sobre la nutrición de los cultivos, mejorar la productividad agrícola y proteger el medio ambiente. Para garantizar resultados precisos, los laboratorios aplican sistemas de aseguramiento y control de la calidad que supervisan cada etapa del proceso analítico. Entre estas prácticas se incluyen el uso de métodos estandarizados, materiales de referencia trazables a un organismo reconocido, equipos analíticos incorporados a un programa de calibración y/o verificación, muestras de control y ejercicios de comparación entre laboratorios. Además, un muestreo adecuado y personal capacitado son fundamentales para que los resultados reflejen las condiciones reales del suelo. En conjunto, estas acciones permiten que las decisiones agrícolas y ambientales se basen en información precisa.

Introducción

El análisis de suelos es una de las herramientas más importantes para la agricultura moderna, ya que permite conocer el estado real del suelo y tomar decisiones informadas sobre el manejo de los cultivos. Sin embargo, para que estos análisis sean útiles, es indispensable que los resultados sean precisos y reproducibles. Aquí es donde entran en juego el control y el aseguramiento de la calidad, dos procesos que garantizan que la información generada refleje con fidelidad las condiciones del suelo.





Disponer de análisis de suelo bien realizados permite determinar qué nutrientes están potencialmente disponibles, cuáles hacen falta y en qué cantidad deben aplicarse. Esto no solo mejora el rendimiento de los cultivos, también evita el uso excesivo de fertilizantes, lo que se traduce en ahorro económico para el productor y en una menor afectación al medio ambiente. Cuando la fertilización se realiza sin un diagnóstico del suelo adecuado, existe el riesgo de contaminar el suelo, el agua subterránea y los cuerpos de agua cercanos debido al exceso de nutrientes. Imagine un productor que aplica fertilizante nitrogenado cada ciclo agrícola sin realizar previamente un análisis de suelo. Si el suelo ya contiene cantidades suficientes de nitrógeno, la aplicación adicional no solo representa un gasto innecesario, sino que también puede favorecer pérdidas por lixiviación hacia cuerpos de agua cercanos. La presencia de concentraciones elevadas de nitrato en el agua destinada al consumo humano puede representar un riesgo para la salud, especialmente en lactantes y poblaciones vulnerables. Ante esta situación, un análisis de suelo realizado adecuadamente permite ajustar las dosis de fertilización a las necesidades reales del cultivo, optimizando los costos de producción y reduciendo los riesgos ambientales asociados al uso excesivo de fertilizantes.

Para obtener resultados robustos, los laboratorios de análisis de suelos implementan sistemas de control y aseguramiento de la calidad, que supervisan cada etapa del proceso analítico, desde la toma de la muestra hasta la emisión del reporte final. En México, las normativas nacionales establecen lineamientos técnicos que buscan estandarizar los métodos y adaptarlos a las condiciones del país. De forma complementaria, algunos laboratorios siguen estándares internacionales, como la norma ISO/IEC 17025, que evalúa la competencia técnica del laboratorio, la correcta aplicación de los métodos, la calibración de los equipos y la trazabilidad de los resultados.



En México, las normativas nacionales establecen lineamientos técnicos que buscan estandarizar los métodos y adaptarlos a las condiciones del país.





Trazabilidad de la muestra

La confiabilidad de los análisis de suelo inicia con el adecuado manejo de la muestra, desde el momento en que se recolecta en campo. Por ello, es fundamental mantener la trazabilidad de la muestra a lo largo de todo el proceso, desde el muestreo hasta su preparación y almacenamiento en el laboratorio. Esto implica registrar información esencial como el lugar y la fecha de muestreo, el cultivo y la profundidad de muestreo, además de asignar un número de identificación que facilite su manejo durante las etapas posteriores del análisis.

Un aspecto crucial, aunque a menudo subestimado, es el muestreo del suelo y la cadena de custodia de la muestra. Incluso el análisis más preciso pierde validez si la muestra no representa fielmente el terreno de origen, si no se transporta en condiciones adecuadas o si esta no se obtiene utilizando la herramienta correcta. Por ello, seguir protocolos claros para la toma de muestras es esencial. Un muestreo adecuado asegura que los resultados reflejen las condiciones reales del suelo y que las recomendaciones de manejo sean realmente útiles.

Una vez recolectada, mediante el método de muestreo seleccionado, la muestra de suelo se seca al aire, se tamiza, se identifica y se almacena en forma adecuada antes de su procesamiento en el laboratorio (Figura 1).

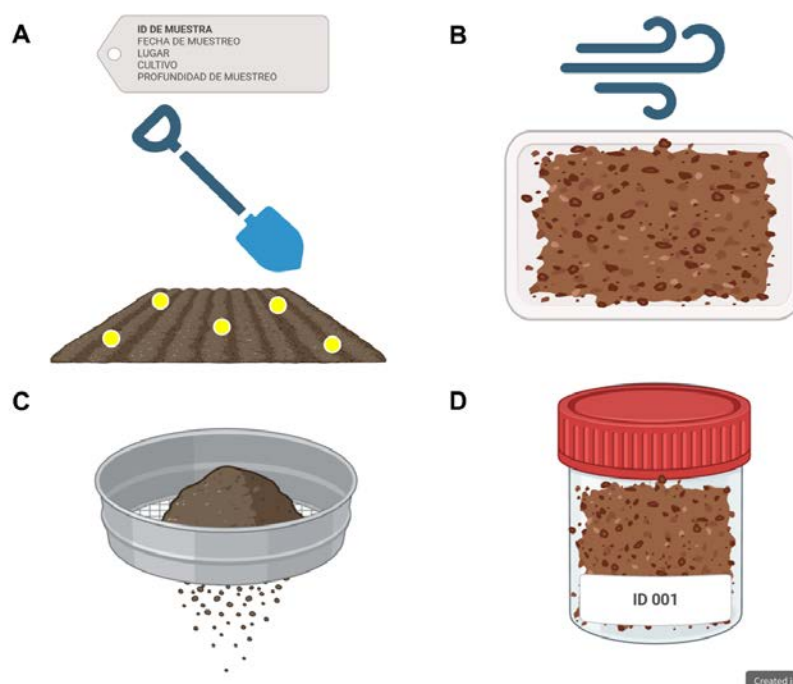


Figura 1. Trazabilidad de la muestra mediante la asignación de un número de identificación (ID), desde el muestreo (A) hasta el secado al aire (B), tamizado (C) y almacenamiento de la muestra (D) para su manejo y análisis correctos.



¿Cómo se analiza una muestra de suelo en el laboratorio?

El análisis de fertilidad del suelo no se limita a la cuantificación de elementos esenciales para las plantas. Incluye la determinación de diversas propiedades físicas y químicas del suelo que determinan la disponibilidad nutrimental, como el pH, la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, entre otras. Estas determinaciones, en conjunto, permiten evaluar la condición de fertilidad del suelo y orientar recomendaciones adecuadas, considerando que cada cultivo presenta requerimientos nutrimentales diferentes.

Una vez preparada la muestra, en el laboratorio se aplican diferentes procedimientos para determinar nutrientes y otras propiedades que influyen en su disponibilidad. Por ejemplo, la Figura 2 muestra de manera esquemática algunas etapas del procedimiento utilizado para la determinación de cationes intercambiables.

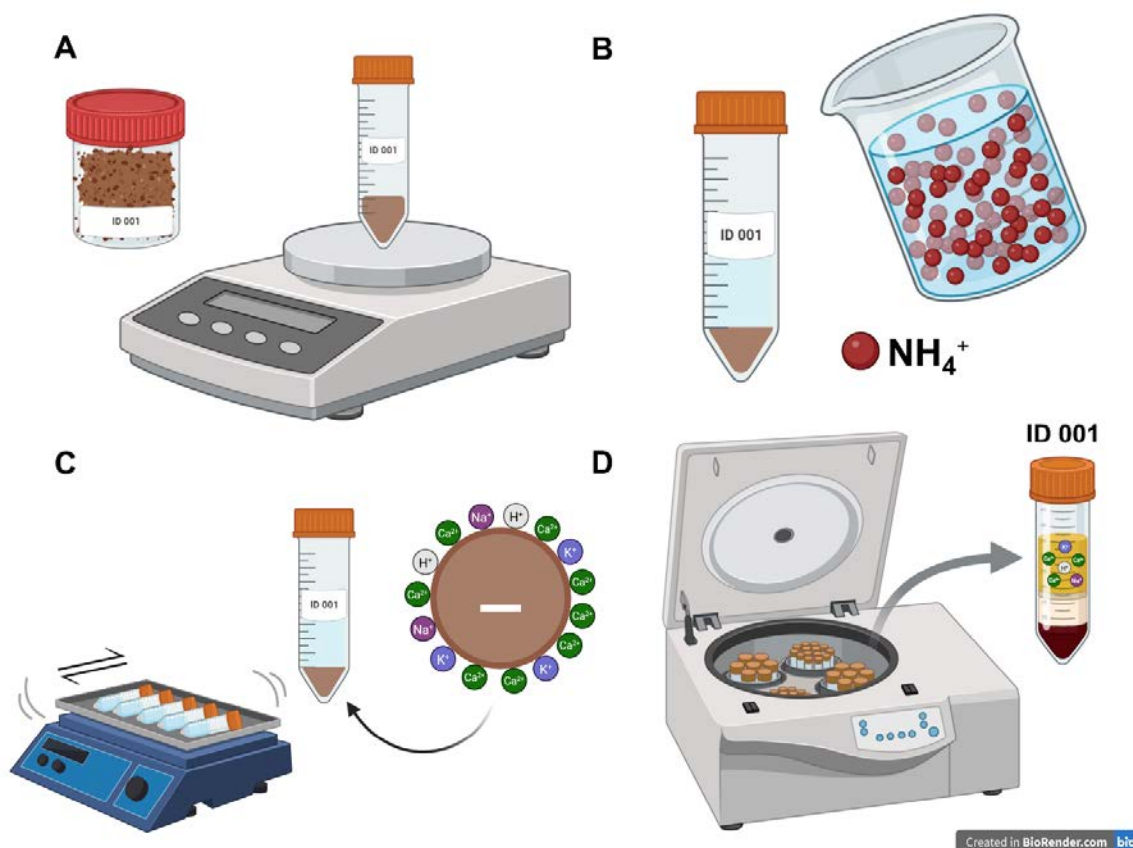


Figura 2. Ejemplo de un procedimiento de análisis químico del suelo para la determinación de cationes intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} y Na^{+}) basado en la NOM-021-SEMARNAT-2000. (A) Pesado de la muestra de suelo. (B-C) Extracción con solución de acetato de amonio 1 N y agitación para el desplazamiento de cationes intercambiables. (D) Centrifugación para la obtención del extracto a analizar.



Control y aseguramiento de calidad en los análisis de suelo

La calidad de los laboratorios se evalúa principalmente en términos de precisión y exactitud (Figura 3). Para ello se aplican diferentes procedimientos que permiten minimizar los errores durante el proceso analítico. La precisión se refiere a qué tan reproducibles son los resultados de los análisis, es decir, cuántas veces se repite el mismo resultado en muestras réplica, y se puede medir mediante indicadores estadísticos como la desviación estándar, el coeficiente de variación o la varianza. Por su parte, la exactitud describe la cercanía entre un valor medido y uno real o aceptado, convencionalmente se evalúa a partir del error absoluto.

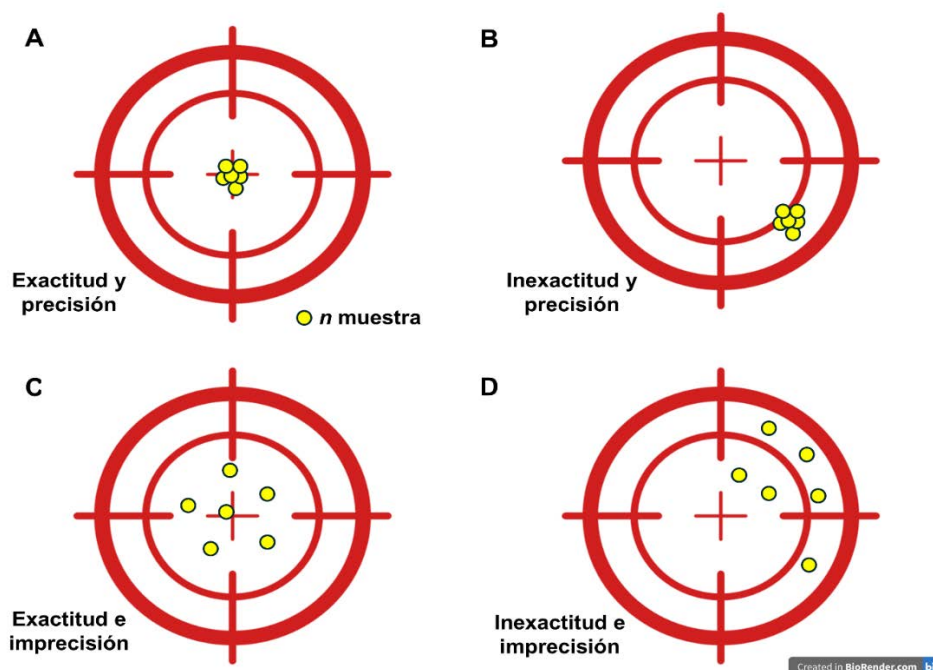


Figura 3. Precisión y exactitud en resultados analíticos. (A) Alta exactitud y precisión: los resultados se agrupan cerca del valor verdadero. (B) Alta precisión, pero baja exactitud: los resultados son reproducibles, pero están alejados del valor real. (C) Alta exactitud, pero baja precisión: los resultados se distribuyen alrededor del valor verdadero con mayor dispersión. (D) Baja exactitud y precisión: los resultados presentan alta dispersión y se alejan del valor real.

En este contexto, dentro del laboratorio el control de calidad se aplica de manera rutinaria como parte del trabajo diario. Las muestras de suelo se analizan mediante diferentes técnicas especializadas como la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), que permite cuantificar simultáneamente diversos elementos presentes en extractos del suelo (Figura 4A).



Para verificar la confiabilidad de los resultados, durante el análisis se emplean diferentes controles, como muestras duplicadas (permiten comprobar consistencia y reproducibilidad de los resultados), blancos de reactivos (para verificar que no existe contaminación durante el proceso analítico) y muestras de control de calidad con concentraciones conocidas (Figura 4B).

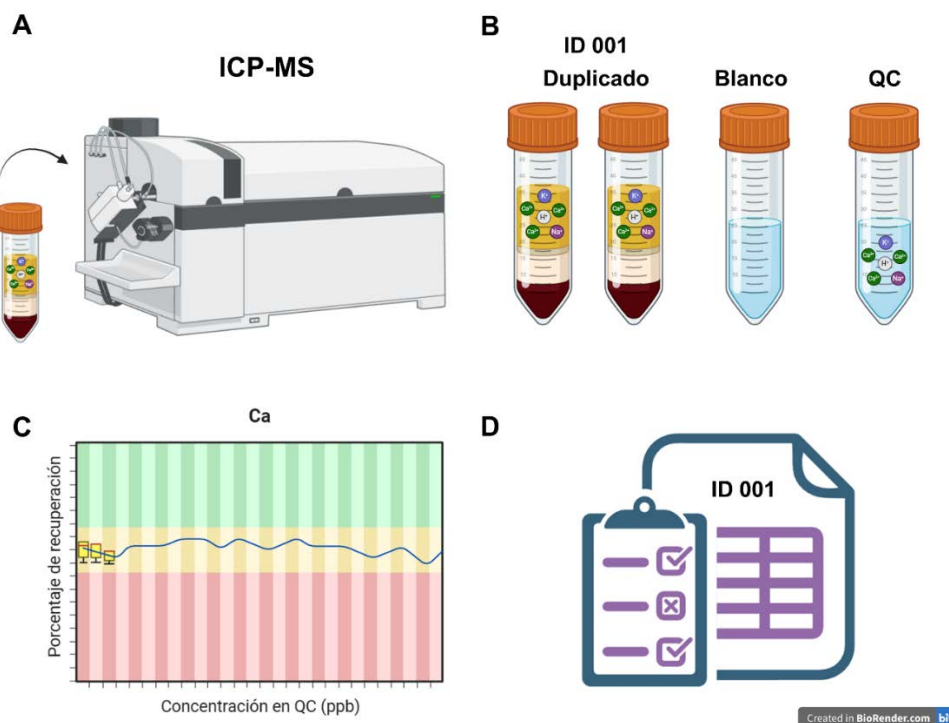


Figura 4. Análisis de la muestra mediante ICP-MS (A) y controles aplicados durante el análisis: muestras duplicadas, blanco de reactivos y muestras de control de calidad (QC) con concentración conocida (B), evaluación del porcentaje de recuperación (C) y verificación final mediante una lista de comprobación antes de la emisión del informe final (D).

Los datos obtenidos a partir de estas revisiones se analizan estadísticamente para establecer rangos aceptables de trabajo y detectar cualquier desviación. Cuando se identifican resultados fuera de los rangos esperados (Figura 4C), se revisan los procedimientos y se corrigen antes de emitir los informes finales. Por ejemplo, en una muestra de control de calidad se espera recuperar entre 90 y 110 % del valor conocido; resultados fuera de este intervalo indican la necesidad de revisar el procedimiento. Contar con registros continuos de datos de la muestra analizada permite detectar errores a tiempo y evita que información incorrecta llegue a los usuarios finales (Figura 4D).



El aseguramiento de la calidad y el control analítico cumplen funciones distintas, pero trabajan de forma complementaria. El primero se enfoca en prevenir errores antes de que ocurran. Incluye acciones como la capacitación continua del personal, el uso de métodos estandarizados, la correcta documentación y apego a los procedimientos, así como el mantenimiento, verificación y calibración periódica de los equipos. El segundo se centra en verificar que el proceso analítico se esté realizando correctamente y que los resultados finales sean válidos.

Una parte fundamental de estos sistemas son los ensayos de intercomparación nacionales (Red Mexicana de Laboratorios de Suelos, MEXSOLAN) e internacionales (Non-profit North American Proficiency Testing program, NAPT, por sus siglas en inglés). En este tipo de ejercicios, varios laboratorios analizan una porción de la misma muestra y comparan sus resultados. Esto permite identificar diferencias en los procedimientos, detectar errores sistemáticos y confirmar que los resultados obtenidos sean comparables entre distintos laboratorios.

En algunos casos, estas comparaciones se realizan con laboratorios de otros países (Ej. NAPT de la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo, EUA), lo que fortalece la confiabilidad de los datos y facilita su uso en contextos más amplios, como programas de monitoreo ambiental o proyectos de investigación.

El análisis de
suelos es la base
para la nutrición
eficiente, una
mayor
productividad
agrícola y la
protección del
medio ambiente.

¿Por qué es importante la calidad en los análisis de suelo?

La confiabilidad de los análisis de suelo permite relacionar los resultados de laboratorio con la respuesta de los cultivos en el campo. A través de la calibración de los métodos analíticos, es posible estimar los niveles de nutrimentos que los cultivos requieren para alcanzar un desarrollo óptimo. En este proceso, el cumplimiento de normas nacionales como la NOM-021-SEMARNAT-2000, así como guías técnicas nacionales (CCAYAC) e internacionales, como las emitidas por la FAO, contribuye a que los datos generados sean precisos, comparables y trazables.



Desafíos para garantizar la calidad de los análisis de suelo en México

En México, existen diversas limitaciones a lo largo de las distintas etapas del proceso analítico del suelo, desde la toma de muestras hasta la interpretación y aplicación de los resultados. Estas limitaciones pueden afectar la representatividad de las muestras, la calidad de los análisis y, en consecuencia, la toma de decisiones relacionadas con la nutrición de los cultivos.

Uno de los problemas más frecuentes se presenta durante el muestreo. En muchos casos existe desconocimiento sobre el número de submuestras que deben recolectarse para que la muestra compuesta sea verdaderamente representativa del terreno. Asimismo, es común encontrar errores en la forma de realizar el muestreo, como la recolección de muestras en caminos, bordes de parcelas o sitios que no reflejan las condiciones reales del área donde se establecerá el cultivo.

Estas situaciones pueden generar resultados que no reflejen adecuadamente las condiciones reales del suelo desde el inicio del proceso.

Una vez que las muestras llegan al laboratorio, también existen desafíos relacionados con la actualización de infraestructura y de metodologías analíticas. Aunque los métodos actualmente empleados continúan proporcionando resultados válidos y confiables, la incorporación de tecnologías más recientes puede contribuir a mejorar la eficiencia operativa y ampliar las capacidades analíticas de los laboratorios. Esta situación es particularmente relevante considerando la evolución constante de las tecnologías analíticas y la necesidad de evaluar periódicamente la pertinencia y actualización de las metodologías de referencia utilizadas en México.

Otro aspecto importante es el acceso a los análisis de laboratorio. Para muchos productores, asesores técnicos e instituciones educativas, los costos asociados a la evaluación de la fertilidad del suelo pueden representar una barrera. Por ello, resulta fundamental que tanto instituciones públicas como privadas ofrezcan alternativas accesibles que permitan ampliar la disponibilidad de estos servicios sin comprometer la calidad de los resultados.

También es importante considerar las diferencias entre laboratorios acreditados y no acreditados. La acreditación constituye una garantía de competencia técnica para métodos específicos; sin embargo, no todos los laboratorios acreditados cuentan con el mismo alcance. Por ejemplo, algunos laboratorios pueden estar acreditados para la determinación de macronutrientes como calcio, magnesio y potasio, pero no necesariamente para la evaluación de micronutrientes u otros parámetros de interés agronómico.

Un muestreo adecuado es indispensable, ya que incluso el análisis más preciso pierde valor si la muestra no representa correctamente al suelo evaluado.



Por esta razón, además de verificar si un laboratorio está acreditado, es necesario conocer cuáles análisis se encuentran incluidos dentro de dicha acreditación y verificar que correspondan a los parámetros requeridos por el usuario.

Finalmente, la utilidad de un análisis de suelo no depende únicamente de la obtención de resultados, sino también de su correcta interpretación. La determinación del tipo, cantidad, momento y sitio de aplicación de fertilizantes debe realizarse considerando las necesidades específicas de cada cultivo y las deficiencias o excesos detectados en el análisis. En este sentido, el acompañamiento de técnicos especializados resulta de gran importancia para transformar la información analítica en estrategias de manejo que contribuyan a mejorar la productividad y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

Caso de estudio: los retos analíticos en la determinación del carbono orgánico

Los desafíos asociados a la calidad de los análisis de suelo no se limitan a parámetros tradicionales evaluados en los estudios de fertilidad. También existen retos relacionados con la incorporación de nuevas determinaciones de interés agrícola y ambiental. Un ejemplo es la determinación del carbono orgánico del suelo, cuya importancia ha aumentado debido a su relación con la fertilidad, la salud del suelo y la captura de carbono atmosférico. En los últimos años, este parámetro ha cobrado relevancia por su posible vinculación con programas de mitigación del cambio climático y esquemas de compensación ambiental.

No obstante, la cuantificación precisa del carbono orgánico y el seguimiento de sus cambios a lo largo del tiempo continúan representando desafíos técnicos. Factores como la variabilidad espacial del suelo, las diferencias metodológicas entre laboratorios y la necesidad de protocolos estandarizados dificultan la comparación de resultados y la generación de información robusta para la toma de decisiones.

Por ello, es necesario fortalecer la investigación y el desarrollo de metodologías que permitan mejorar la precisión y confiabilidad de estas determinaciones bajo diferentes condiciones de manejo y sistemas de producción.



“El cumplimiento de normas nacionales e internacionales garantiza que los resultados sean trazables, comparables y útiles para la toma de decisiones agrícolas y ambientales.”



Conclusiones

La confiabilidad de un análisis de suelo no depende únicamente del trabajo realizado en el laboratorio; comienza con la obtención de una muestra representativa en campo y se complementa con una interpretación adecuada de los resultados. Cuando cada una de estas etapas se realiza correctamente, la información generada puede transformarse en decisiones agronómicas fundamentadas.

En conjunto, el control y el aseguramiento de la calidad en los análisis de suelos permiten que las decisiones agrícolas y ambientales se basen en evidencia verificable. Esto favorece una producción más eficiente, rentable y sostenible, beneficiando a los productores al volverlos más competitivos en el mercado nacional e internacional, al medio ambiente al minimizar el impacto por contaminación y a la sociedad en general al aumentar la confianza de lo que consumen.

De esta manera, resultados precisos de los análisis de suelo permiten que el recorrido de una muestra, desde el campo hasta el laboratorio, se traduzca en información útil para el manejo sostenible de los cultivos.

Literatura recomendada

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación.
- Van Reeuwijk, L. P., & Houba, V. J. G. (1998). Guidelines for quality management in soil and plant laboratories (FAO Soils Bulletin No. 74). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).





Semblanza de autores



Francisco Javier López-González es Ingeniero Agrónomo por el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara. Actualmente es estudiante de Maestría en Ciencias en Edafología en el Colegio de Postgraduados, con enfoque en Nutrición Vegetal. Su línea de interés se centra en el estudio de la fertilidad de suelos y el manejo nutrimental de cultivos.

Omar Cástor Ponce-García es Ingeniero Agrónomo por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, con Maestría en Productividad Frutícola por la Universidad Autónoma de Chihuahua. Con experiencia en investigación en fertilidad de suelos y nutrición vegetal. Actualmente trabaja en el INIFAP, en la Jefatura del Campo Experimental Delicias en Chihuahua.

Libia Iris Trejo-Téllez es Ingeniera Agrónoma por la Universidad Autónoma Chapingo, con Maestría en Ciencias en Edafología por el Colegio de Postgraduados y Doctorado en Ciencias Naturales por la Universidad Libre de Berlín. Sus líneas de investigación se centran en nutrición vegetal, bioestimulación y fisiología de cultivos. Es Profesora Investigadora Titular del Colegio de Postgraduados, miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores Nivel 3, y de la Academia Mexicana de Ciencias.

Sandra Mendoza-Araujo es Química Agrícola por la Universidad Autónoma de Querétaro. Actualmente es Coordinadora del área de análisis Elemental en el Laboratorio de Calidad e Inocuidad SIASA LAB. Cuenta con una amplia trayectoria en análisis elemental (AA, ICP-MS) de diversas matrices, tanto de interés alimentario como industrial y dentro del ámbito agrícola.

Erwin Saúl Navarrete-Saldaña es Ingeniero Agrónomo y Maestro en Ciencias Biológicas por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Actualmente es estudiante del Doctorado en Ciencias en el Colegio de Postgraduados, con enfoque en análisis de Asociación Genómica de Fitopatógenos en el cultivo de fresa. Sus líneas de investigación se centran en la identificación de fitopatógenos mediante reconstrucción filogenética, control biológico, nutrición vegetal y suelos.



Microalgas y cianobacterias al rescate de la agricultura

León Sánchez-García¹
Ingrid Hernández-Martínez²
María Laura González-Reséndiz¹
Luis C. Fernández Linares³
Marcia G. Morales-Ibarría^{1*}

¹Departamento de Procesos y Tecnología, UAM-Cuajimalpa, Av. Vasco de Quiroga 4871, Santa Fe Cuajimalpa, 05348, CDMX.

²Posgrado en Ciencias Naturales e Ingeniería, UAM-Cuajimalpa, Av. Vasco de Quiroga 4871, Santa Fe Cuajimalpa, 05348, CDMX.

³Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Av. Acueducto, La Laguna Ticomán, 07340, CDMX

*Autor para correspondencia: mmorales@cua.uam.mx

Ante los desafíos del cambio climático y el uso excesivo de agroquímicos, las microalgas y cianobacterias emergen como una solución natural para transformar la agricultura mexicana. Estos microorganismos mejoran la fertilidad del suelo, reducen la necesidad de fertilizantes sintéticos y aumentan la resistencia de los cultivos frente a sequías y salinidad. Aunque aún enfrentan desafíos de implementación, representan una alternativa sostenible y eficaz para fortalecer la resiliencia del campo mexicano.

Introducción

El campo mexicano, grande por la fuerza profunda de sus raíces, es históricamente un símbolo de resiliencia frente a la adversidad (Figura 1). Sin embargo, hoy enfrenta grandes desafíos como el cambio climático, el uso intensivo de fertilizantes químicos y plaguicidas que traen consigo daños en la productividad y en la salud de los suelos. Las lluvias son cada vez más impredecibles, las olas de calor y las sequías aumentan, y los campos agrícolas tienen pérdidas de rendimiento.

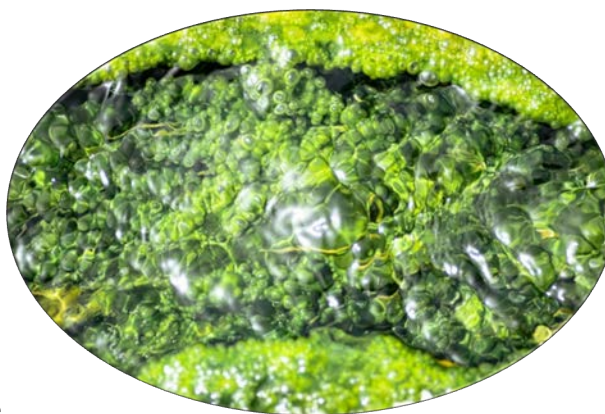




Figura 1. Fotografía “El maíz, mi fuerza”.

Estudios recientes muestran afectaciones significativas en el rendimiento y la economía de cultivos clave debido al cambio climático en el país.

Por otro lado, la presión en el uso de químicos en la agricultura es notoria. ¿Por qué? El consumo de fertilizantes en México va en aumento. En 2023 se utilizaron cerca de 94 kg de fertilizante por hectárea, lo que revela una fuerte dependencia de insumos de origen químico. Además, el volumen nacional de plaguicidas que se aplica está del orden de miles de toneladas anuales; con estimaciones recientes de entre 78 mil y 119 mil toneladas, generando riesgos para la salud de productores, consumidores y el ecosistema.

¿Pero cómo hacer frente a este escenario? La búsqueda de alternativas va más allá de una necesidad y se convierte en una urgencia. Se necesitan prácticas que restauren los suelos, reduzcan el uso de químicos, aumenten la resiliencia a sequías y salinidad, y además ofrezcan sostenibilidad a las comunidades de agricultores. Entre las soluciones más prometedoras destacan las microalgas y cianobacterias, microorganismos que mejoran la estructura del suelo, fijan nitrógeno, liberan fósforo de forma natural, actúan como bioestimulantes y aumentan la tolerancia al estrés salino y por sequía. Su uso puede ser una alternativa viable para caminar hacia una agricultura mexicana sostenible, sana y resiliente ante el cambio climático.



Microalgas y cianobacterias revolucionando la agricultura

Cuando pensamos en la agricultura solemos enfocarnos en el suelo, las semillas, las plantas, los fertilizantes o las herramientas de campo. Pero muy pocas veces pensamos en los pequeños microorganismos que habitan el suelo. Sin embargo, estos pueden transformar por completo la forma en que se producen los alimentos. Entre ellos destacan dos grupos: las cianobacterias y las microalgas.

Estos microorganismos, invisibles a simple vista, son capaces de mejorar la fertilidad del suelo, aumentar el rendimiento de los cultivos y ayudar a restaurar terrenos degradados. No es exagerado decir que, gracias a su potencial, podrían convertirse en aliados clave para una agricultura más sostenible.

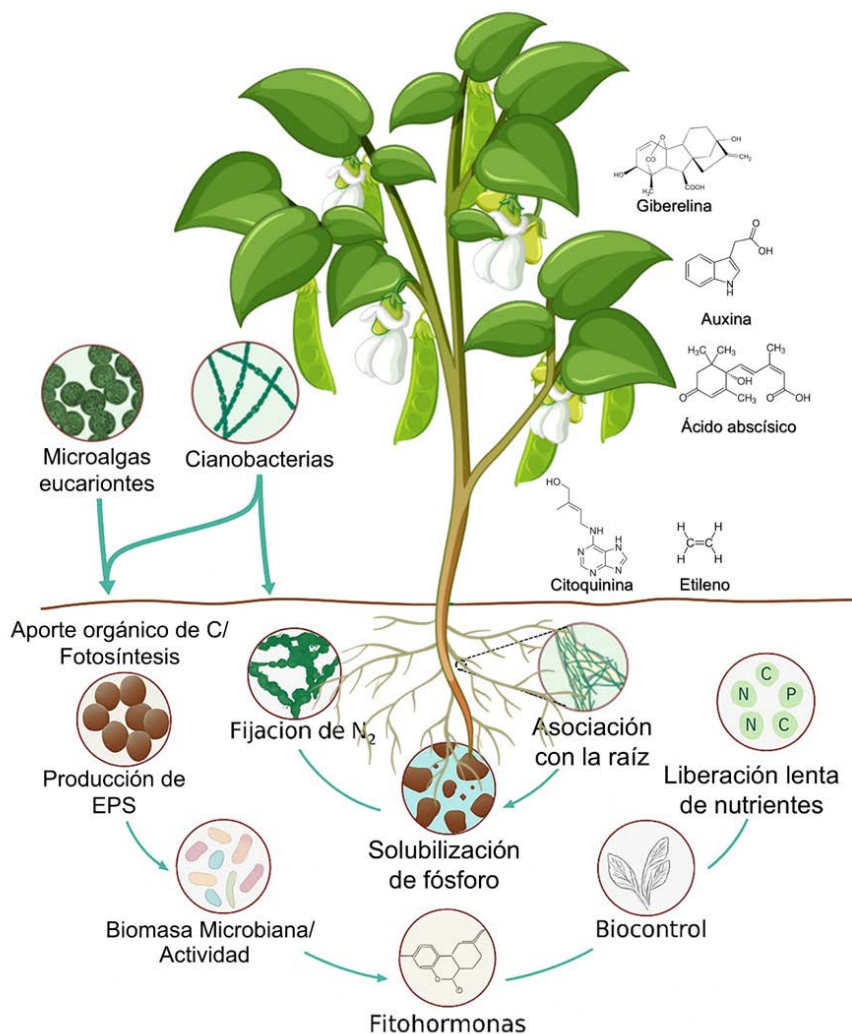


Figura 2. Principales funciones de las microalgas y cianobacterias en los suelos agrícolas.

Las microalgas son organismos microscópicos que realizan fotosíntesis, como las plantas, pero mucho más simples y eficientes. Las cianobacterias, por su parte, son bacterias fotosintéticas consideradas entre las primeras formas de vida en la Tierra. Ambas habitan de manera natural en los suelos de cultivo y llevan millones de años moldeando los ecosistemas.



Estas diminutas formas de vida cumplen funciones esenciales: producen oxígeno y capturan CO₂, transforman nutrientes, mejoran la estructura del suelo, favorecen la biodiversidad microbiana, estimulan el crecimiento de las plantas. En otras palabras, son verdaderos ingenieros naturales del suelo (Figura 2).



No es exagerado decir que podrían convertirse en aliados clave para una agricultura más sostenible.

Microalgas y cianobacterias: fertilidad natural al servicio de la agricultura

En la agricultura moderna dependemos en gran medida de fertilizantes químicos. Aunque han permitido aumentar la producción, también han generado problemas ambientales como la contaminación del agua, la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad. Aquí es donde las microalgas y cianobacterias ofrecen una alternativa sostenible (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen de beneficios de las microalgas y cianobacterias en la agricultura.

Función	Beneficio principal	Impacto en la agricultura
Fijación de CO ₂	Captura carbono y genera materia orgánica	Mejora la fertilidad y estructura del suelo
Fijación de N ₂	Produce nitrógeno biodisponible	Reduce el uso de fertilizantes químicos
Solubilización de fosfato	Libera fósforo atrapado	Favorece raíces y rendimiento
Producción de polisacáridos	Mejora agregación del suelo	Reduce la erosión y aumenta retención de agua
Producción de fitohormonas	Estimula crecimiento vegetal	Plantas más fuertes y productivas
Resistencia a salinidad	Osmoprotección	Cultivos más tolerantes a estrés salino
Formación de biopelículas	Protege suelos áridos	Restaura suelos degradados
Producción de antimicrobianos	Inhibe patógenos	Reduce enfermedades de plantas



Nutrición natural. Muchas cianobacterias pueden fijar el nitrógeno del aire y transformarlo en compuestos que las plantas pueden utilizar. Esto reduce la necesidad de fertilizantes sintéticos.

Otros tipos de microalgas y cianobacterias pueden solubilizar fósforo, un nutriente esencial que suele encontrarse atrapado en el suelo. Así liberan este nutriente de manera gradual.

Regeneración del suelo. Estos microorganismos producen sustancias viscosas llamadas exopolisacáridos, que actúan como un pegamento natural. Así, las partículas del suelo se unen formando agregados estables, lo que reduce la erosión, mejora la retención de agua, favorece la aireación y promueve el desarrollo de mejores raíces y plantas más sanas. Es decir, ayudan a crear un suelo más fértil y resistente.



El rescate de la agricultura mexicana podría empezar, justamente, con los organismos más pequeños y resilientes que habitan en ella.

Bioestimulantes y resiliencia. Además de aportar nutrientes, las microalgas generan: fitohormonas vegetales, vitaminas, antioxidantes, compuestos que fortalecen el sistema inmunológico de las plantas.

Esto se traduce en semillas que germinan mejor, plantas más vigorosas, cultivos más tolerantes al estrés, mayores rendimientos.

Aliadas contra la sequía y la salinidad

Una de las capacidades más impactantes de las microalgas y cianobacterias es su resistencia a condiciones extremas, como la falta de agua o altos niveles de sal. Por eso, se están utilizando para apoyar cultivos en suelos salinos o afectados por sequías recurrentes.



Algunos extractos de microalgas pueden activar mecanismos de defensa en las plantas, ayudándolas a tolerar mejor la salinidad sin afectar su crecimiento. En un escenario de cambio climático, esta capacidad es especialmente relevante.

Restaurando suelos degradados

En zonas áridas y semiáridas, estos microorganismos forman biopelículas que recubren el suelo. Estas biopelículas protegen la superficie contra la erosión, atrapan humedad, mejoran la materia orgánica y favorecen el desarrollo posterior de plantas.

La comunidad científica considera que estas biopelículas pueden ser una herramienta clave para restaurar suelos desertificados o degradados, y varios proyectos ya las están aplicando en campo.



¿Por qué no se usan masivamente aún?

Aunque su potencial es enorme, todavía existen desafíos como la falta de producción a gran escala a costos accesibles, poca disponibilidad de especies adaptadas a distintos suelos, necesidad de mantener humedad para su aplicación, así como la escasa capacitación en el sector agrícola. Sin embargo, la investigación científica ya ha identificado un conjunto de cepas prometedoras que están siendo utilizadas y estudiadas, construyendo el camino para su futuro uso en México (Tabla 2).



Tabla 2. Cepas de microalgas y cianobacterias con potencial agrícola.

Cepa	Tipo	Beneficio principal	Aplicación
<i>Chlorella vulgaris</i>	Microalga	Bioestimulante del crecimiento	Promueve el desarrollo radicular y la biomasa.
<i>Spirulina (Arthrospira) spp.</i>	Cianobacteria	Fuente de nutrientes y bioestimulante	Aporta nitrógeno, vitaminas y antioxidantes.
<i>Scenedesmus spp.</i>	Microalga	Mejora de la salud del suelo	Excelente productor de biomasa y mejora la materia orgánica.
<i>Nostoc spp.</i>	Cianobacteria	Fijación de nitrógeno	Fertilización natural en cultivos de arroz y maíz.
<i>Anabaena spp.</i>	Cianobacteria	Fijación de nitrógeno	Simbiosis con plantas acuáticas; potencial para biofertilizantes.
<i>Dunaliella salina</i>	Microalga	Tolerancia a la salinidad	Protege a las plantas del estrés salino.

Adicionalmente, cada año surgen nuevas propuestas de investigaciones y tecnologías que están acelerando el uso de las microalgas y cianobacterias, en la agricultura (Figura 3) y haciéndolas aún más prometedoras.

Una oportunidad para la agricultura del futuro

En un mundo donde crece la demanda de alimentos y se intensifican los efectos del cambio climático, es urgente encontrar soluciones que regeneren los suelos y reduzcan la dependencia de insumos químicos.

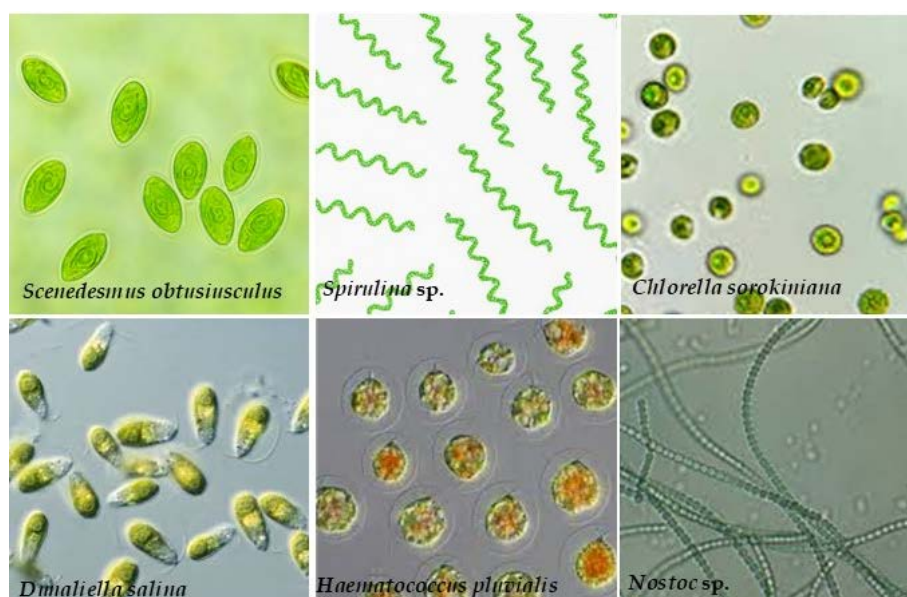


Figura 3. Principales especies de microalgas y cianobacterias con potencial agrícola.



A medida que avance la tecnología y aumente la disponibilidad de productos basados en estos microorganismos, es probable que veamos su integración en prácticas agrícolas desde pequeñas parcelas hasta sistemas productivos a gran escala.

Conclusiones

Las microalgas y cianobacterias se perfilan como una herramienta clave para enfrentar algunos de los principales desafíos de la agricultura actual, desde la degradación del suelo hasta la creciente presión del cambio climático. Más allá de sus efectos en la fertilidad y el crecimiento vegetal, su integración en los sistemas productivos representa una oportunidad para transitar hacia modelos agrícolas más sostenibles y resilientes.

Aunque aún existen retos para su implementación a gran escala, el avance de la investigación y el desarrollo tecnológico abre un panorama prometedor para su adopción en el campo mexicano. Apostar por estas soluciones no solo implica innovar, sino replantear la forma en que producimos alimentos. A veces, las grandes soluciones vienen de lo más pequeño.



Literatura recomendada

- Piñón-Balderrama, M. A., Hernández-Rodríguez, O. A., Martínez-Rosales, A. F., Reza-Solis, H. A., Ojeda-Barrios, D. L., & Parra-Quezada, R. Á. (2025). Microalgas en la agricultura: un impulso al cumplimiento de objetivos del desarrollo sostenible. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 41(2), 381-396.
- Ramakrishnan, B., Maddela, N. R., Venkateswarlu, K., & Megharaj, M. (2023). Potential of microalgae and cyanobacteria to improve soil health and agricultural productivity: a critical view. *Environmental Science: Advances*, 2(4), 586-611.
- Terry Alfonso, E., Reyes Guerrero, Y., Ruiz Padrón, J., & Carrillo Sosa, Y. (2024). Las algas y sus usos en la agricultura. *Cultivos Tropicales*, 45(3).



Semblanzas de autores

León Sánchez García. Es Ingeniero Bioquímico Industrial, Doctor en Biotecnología por la UAM Iztapalapa, y Profesor Asociado por tiempo determinado. Actualmente es responsable de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la UAM Cuajimalpa. Su investigación es sobre tecnologías para el mejoramiento ambiental, biotecnología con microalgas y productos de alto valor agregado.

Ingrid Hernández Martínez. Es Ingeniera Bióloga y Maestra en Ciencias Naturales e Ingeniería por la UAM Cuajimalpa. Fue Ayudante en el Departamento de Procesos y Tecnología de la UAM Cuajimalpa. Actualmente cursa el Doctorado realizando investigación en biotecnología con microalgas para la producción de pigmentos, bioplásticos y otros compuestos de alto valor agregado.

María Laura González Reséndiz. Profesora de licenciatura y posgrado en la UNAM y UAM Cuajimalpa. Estudió Biología y realizó la maestría y doctorado en Ciencias Biológicas en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Ha participado en proyectos de investigación sobre bioprospección de algas enfocados en diversidad y productos de alto valor agregado.

Luis Carlos Fernández Linares. Profesor-Investigador de la UPIBI del Instituto Politécnico Nacional y miembro del SNII Nivel I. Ingeniero Bioquímico Industrial por la UAM Iztapalapa y doctor por la Universidad de Aix-Marseille II, Francia. Co-responsable proyecto SECTEI 044/2024. Su investigación se enfoca en el uso de microalgas para bioproductos, y desarrollo de fotobiorreactores.

Marcia Guadalupe Morales Ibarría. Profesora-Investigadora de la UAM-Cuajimalpa y Nivel II del SNII. Ingeniera Química por la Universidad Veracruzana y doctora por la UAM-Iztapalapa. Ha sido Investigadora Invitada en UC Riverside y trabajó en el Instituto Mexicano del Petróleo. Responsable del proyecto SECTEI 044/2024. Su investigación se centra en biotecnología ambiental y microalgal.

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>



Microbios aliados de las meliponas: claves para la agroecología

Paulina Janneth Pérez-Peralta*
Dulce Jazmín Hernández-Melchor
Sandra Cortés-Pérez
Ronald Ferrera-Cerrato

Posgrado en Edafología, Colegio de
Postgraduados, Carretera Federal México-Texcoco km 36.5, Montecillo, C.P. 56264, Texcoco,
México.

*Autor de correspondencia: perez.paulina@colpos.mx

¿Conoces a las abejas meliponas? ¿Sabías que existen muchos microorganismos como bacterias y hongos asociados a ellas y a sus productos como la cera, el polen y la miel? Aquí conocerás a las abejas meliponas, su importancia y la fuente microbiana asociada a estas, la cual puede tener aplicaciones en la industria, pero sobre todo en los agroecosistemas.

Introducción

Las abejas son reconocidas como uno de los insectos más importantes para los ecosistemas, porque gracias a la polinización permiten que muchas plantas se reproduzcan. En recompensa, ellas obtienen néctar y polen, que les sirve de alimento.



En las regiones tropical y subtropical del planeta existe un grupo especial de abejas: las meliponas, conocidas por ser abejas sin aguijón. Están representadas por más de 500 especies, pertenecientes a 58 géneros entre los que destacan *Melipona* y *Trigona*. Por eso, comúnmente son llamadas abejas “meliponas”. Estas abejas no solo son fascinantes por su biología, sino también por su relevancia cultural y ecológica en las comunidades que conviven con ellas.

En los estudios realizados con las abejas meliponas, se ha descubierto que ellas y sus colonias albergan un microbioma diverso, formado por levaduras, hongos y bacterias. Entre estas últimas, el género *Bacillus*, es el más abundante.



Estos microorganismos cumplen funciones muy importantes: ayudan en la pre-digestión y acondicionamiento del polen almacenado, lo que lo hace menos vulnerable a la proliferación de microorganismos nocivos. No obstante, aún se conoce poco sobre todas las actividades que podrían desempeñar. Su potencial es enorme, especialmente en los agroecosistemas donde podrían mejorar la condición nutricional del suelo y, en consecuencia, favorecer el crecimiento de los cultivos.

En otras palabras, las meliponas no solo son valiosas por la polinización y la miel, sino también porque sus microorganismos asociados podrían convertirse en aliados invisibles para una agricultura más sostenible mediante el desarrollo de bioinoculantes o biofertilizantes que los incluyan.

¿Quiénes son las meliponas?

Las llamadas abejas “meliponas” son un tipo especial de abejas conocidas por no tener aguijón funcional, sin embargo, se defienden mordiendo con fuerza. Son de tamaño diminuto; algunas miden desde 2 mm o lo que es igual a la punta de un crayón y las más grandes son de hasta 2 cm, lo mismo que una grapa de oficina.

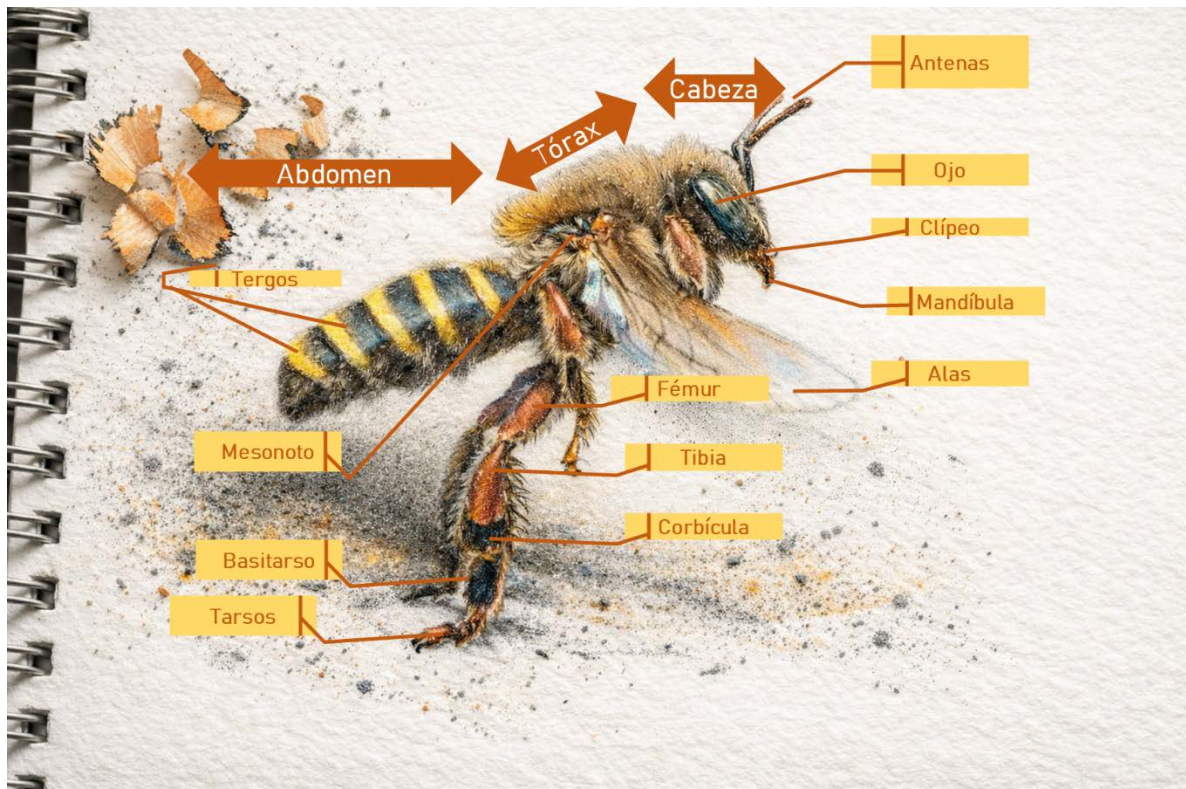


Figura 1. Morfología de una abeja obrera melipona.



En general, las abejas meliponas tienen un aspecto muy particular. Su cuerpo puede ser negro, marrón o incluso anaranjado, presentan ojos compuestos, antenas y mandíbulas fuertes. Sus alas son pequeñas en comparación con su cuerpo y destaca la canasta o corbícula en sus patas traseras donde transportan el polen o resinas (Figura 1).



Figura 2. Características morfológicas de las diferentes castas de abejas meliponas.

Las meliponas son abejas increíblemente organizadas; cada grupo dentro de la colmena cumple una tarea distinta, son un equipo de trabajo perfectamente coordinado. Por ejemplo, la reina es muy especial por ser la única hembra fértil y su misión exclusiva es poner huevos para garantizar la continuidad de su colonia. Las machos tienen un papel breve pero esencial: fecundar a la reina. Mientras tanto las obreras sostienen la vida diaria de la colmena al recolectar polen y néctar, producen miel, cuidan a las crías y alimentan a la reina (Figura 2).

Las meliponas han existido desde hace más de 90 millones de años; habitaron cuando los dinosaurios dominaban la tierra y desde entonces han preferido los climas cálidos de regiones tropicales y subtropicales de todo el planeta, desde Latinoamérica, Australia, África y Asia.



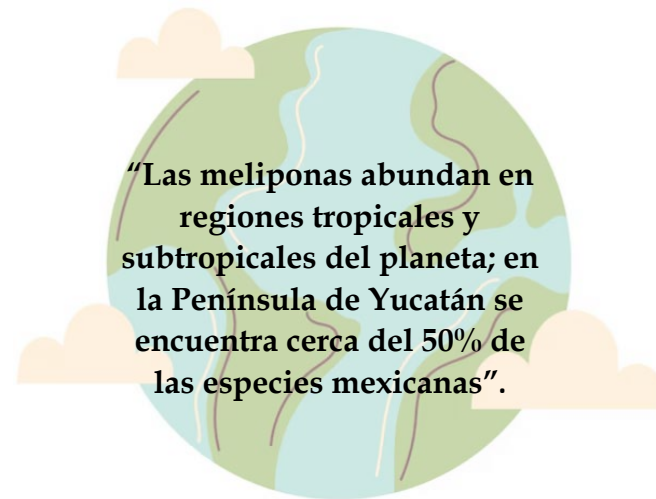
En América, las meliponas se encuentran desde México hasta el país de la samba y el país del Tango, es decir, Brasil y el norte de Argentina. Incluso en islas del caribe y el Pacífico se puede disfrutar de ellas. Particularmente, en México, las meliponas tienen presencia en las cadenas montañosas del centro y sur del país, pasando por estados como Jalisco, Colima, Michoacán, Puebla, Tlaxcala, Veracruz, Oaxaca y otros más. Sin embargo, en Veracruz, Chiapas y la Península de Yucatán, se encuentra casi la mitad de las especies mexicanas.

En México, durante la época prehispánica, los pobladores de la región maya (Península de Yucatán) ya criaban a la *Melipona beecheii* mientras que los habitantes de las regiones nahua y totonaca (Puebla y Veracruz) trabajaban con la *Scaptotrigona mexicana* para obtener miel, cerumen (propóleo con alto contenido de cera) o resina. Sin embargo, debido a la pérdida de hábitat natural, intensificación de la agricultura con el uso desmedido de químicos en los cultivos, el ataque de enfermedades y los efectos asociados al cambio climático, la población de meliponas ha sido amenazada significativamente desde que se fortaleció la revolución industrial, es decir, desde mediados del siglo XIX.

¿Por qué son importantes las “meliponas”?

Insectos como las abejas, no solo son importantes en la naturaleza, también son relevantes en el aspecto económico y cultural. Gracias a las abejas se han podido reproducir tanto las plantas silvestres como las cultivadas mediante la polinización. De la misma manera, la crianza de las abejas meliponas y la obtención de productos como la miel y el propóleo han sido de vital importancia en lo tradicional y comercial.

El arte de la crianza de abejas y la cosecha de sus productos se ha practicado por los pueblos americanos desde hace 1400 años, esta práctica se conoce como “meliponicultura” y consiste en cuidar a algunas especies de abejas sin aguijón e incluso a las abejas melíferas, ya que gracias a ellas las comunidades han obtenido la miel, el propóleo, la jalea y la cera; recursos que forman parte de la alimentación, medicina y tradiciones de los pueblos.





En la práctica de la meliponicultura, las abejas sin aguijón construyen sus nidos dentro de troncos huecos de árboles tropicales. Al observar su interior, se distinguen diversas áreas: los paneles de cría, que pueden organizarse espiral o racimos compactos; las celdas reales, un espacio protegido donde vive la reina; y los pots de alimento, depósitos llenos de miel y polen. Es como una pequeña ciudad diseñada por las abejas (Figura 3).

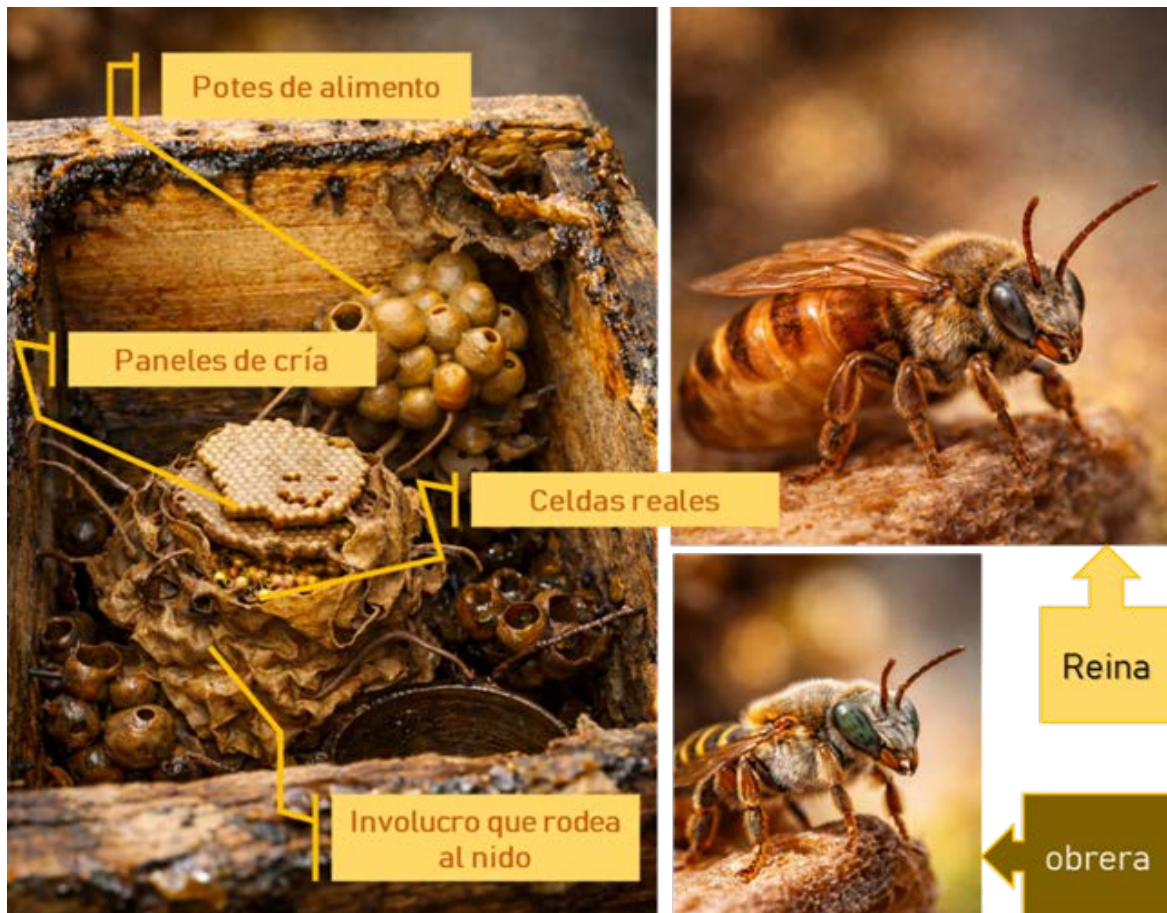


Figura 3. Características de los nidos de las abejas meliponas. En la práctica de la Meliponicultura, la crianza de las abejas se suele hacer en troncos o cajas de madera.

Por ejemplo, algunos productos como la miel y la cera son utilizados como medicina, objetos de comercio y tributo, así como en ceremonias y rituales. Asimismo, para los grupos indígenas la práctica de la meliponicultura representa una fuente de ingresos importante porque todos estos productos poseen alto valor comercial por ofrecer diferentes beneficios a la salud humana tras consumirlos.



En cuanto a la miel, no solo es dulce, también destaca por su capacidad para eliminar microorganismos nocivos, evitar o eliminar la inflamación y proteger a nuestras células gracias a su poder antioxidante, por la presencia de sustancias únicas y distintas como los compuestos fenólicos y flavonoides, además, está repleta de nutrientes tales como los carbohidratos, agua, aminoácidos, vitaminas y minerales.

Microbios invisibles de las meliponas

En *Apis mellifera* mejor conocidas como las abejas europeas, los científicos han descubierto más de 6,000 microorganismos que conviven junto a ellas, pero todavía no queda claro la función que desempeñan, sin embargo, la riqueza de especies puede ser muy similar a la que existe en las meliponas.

Dentro de los microorganismos aliados de las abejas sin aguijón o meliponas se encuentran los llamados *Bacillus*, unos pequeños colaboradores quienes ayudan a suavizar la pared del polen antes de ingerirlo o lo acondicionan mediante la secreción de antibióticos para almacenarlo y evitar el ataque de otros microorganismos que lo pueden contaminar, es decir, las meliponas cuentan con un ejército invisible que protege su comida.

Los *Bacillus* no solo ayudan a mantener la comida de las meliponas en buenas condiciones, también ayudan en las fermentaciones que ocurren en el polen y la miel para hacerlos más nutritivos. Por eso, su presencia en las meliponas resulta relevante, ya que mejoran y protegen los alimentos de las abejas. Lo más interesante es que se ha encontrado ADN de este grupo en fósiles de la extinta *Proplebeia dominicana*, quien vivió hace unos 20 millones de años.



Otro grupo de microorganismos que se asocian con las meliponas son las levaduras, las cuales desempeñan un papel protector del polen recolectado. Algunas como *Starmerella* y *Zygosaccharomyces* mejoran la calidad nutricional del polen dentro de los nidos de *Nannotrigona*, *Melipona*, *Plebeia*, *Scraptotrigona* y *Tetragonisca*.

En cuanto a los hongos, los pertenecientes al grupo *Candida*, deshidratan el polen almacenado de las abejas *Ptilotrigona lurida*, para evitar su deterioro y la presencia de parásitos. Otros como *Aspergillus*, *Penicillium*, *Curvularia*, *Monilia*, *Nigrospora*, *Cladosporium* y *Trichoderma* producen antibióticos para la protección de las colonias de meliponas como *M. subnitida*, *M. escutellaris* y *Trigona* sp.



Un dato interesante, es que las abejas *Scaptotrigona depilis*, *Tetragona clavipes* y *Melipona flavolineata* “cultivan” el hongo *Monascus* sp. en las celdas de cría, lugar donde el hongo es inoculado y sirve de alimento a las larvas de las abejas.

Se ha observado que algunos hongos como *Candida* sp. y *Monascus ruber* influyen en el crecimiento de otro hongo llamado *Zygosaccharomyces* sp., quien produce una sustancia llamada ergosterol, que funciona como señal química que indica el inicio de la transformación de jóvenes a adultos de la especie *S. depilis*.

Para el buen funcionamiento y mantenimiento de la salud en las abejas, los microorganismos que habitan su organismo son clave. Se ha descubierto que este microbioma que habita en su “pancita” ayuda a las abejas a aprovechar mejor los nutrientes, fortalece sus defensas y contribuye a su crecimiento y desarrollo. Además, actúa como un escudo protector contra otros microorganismos dañinos.

Microbios aliados de las meliponas: claves para la agroecología

Para enfrentar los desafíos globales sobre la seguridad alimentaria y el cuidado del medio ambiente, los científicos han descubierto un aliado inesperado: los microorganismos. Estos seres tan pequeños y casi imperceptibles tienen un enorme potencial en la agricultura y en la industria debido a las numerosas aplicaciones biotecnológicas que representan. Los microbios pueden convertirse en poderosas herramientas para producir alimentos de manera más sostenible y así proteger el planeta.

Industrias como la alimentaria, la farmacéutica, papelera, textil, detergentes, de bebidas e incluso las relacionadas con la producción de biocombustibles y biorrefinerías; aprovechan cada vez más a los microorganismos por sus poderes metabólicos, porque son capaces de generar enzimas y metabolitos valiosos. En otras palabras, los microbios funcionan como pequeñas fábricas naturales que producen sustancias para elaborar productos que usamos todos los días.

En el propóleo, miel y polen de las abejas meliponas existen bacterias como *Bacillus safensis*, *Paenibacillus* sp., *B. subtilis* y *B. sonorensis*, estas especies han mostrado ser fábricas productoras de enzimas útiles como las amilasas, lipasas y celulasas. Por ejemplo, *B. subtilis* es una de las fuentes para obtener α -amilasas, efectivas en la descomposición de almidones. Mientras que *Paenibacillus* sp., tiene potencial para ser utilizado en procesos de biodegradación y manejo de residuos agrícolas, lo que lo convierte en un gran aliado para reducir desechos y aprovechar mejor los recursos.

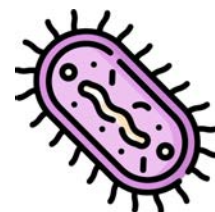
“Bacterias del género *Bacillus* se han encontrado en la miel, el polen y propóleo de las abejas meliponas; tienen potencial de uso en la industria y como bioinoculantes”.





El uso de microorganismos en la industria es de las opciones preferidas por su fácil manejo y aplicación en distintos procesos productivos. Algunos son capaces de sobrevivir en condiciones extremas, por ejemplo, las bacterias termoalcalófilas soportan temperaturas mayores a 45° C y ambientes muy básicos con pH entre 8.5 y 11; mientras que las psicrófilas pueden vivir en lugares fríos, por debajo de los 5° C. Esto significa que los microorganismos funcionan como “especialistas” capaces de trabajar en escenarios donde otros no podrían, lo que los hace más valiosos para la biotecnología e industria.

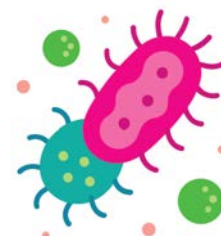
Algunas bacterias *Bacillus* que viven asociadas a las abejas meliponas también cumplen un papel sorprendente: ayudan al crecimiento de las plantas. Estas bacterias mejoran la nutrición del suelo por lo que apoyan el crecimiento de diversos cultivos agrícolas.



Una de las maneras en la que mejoran la nutrición de las plantas es a través de la fijación de nitrógeno del aire, transformándolo en alimento disponible. Algunos ejemplos de grupos de bacterias que ayudan a hacerlo son *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Acetobacter*, *Pseudomonas* y *Bacillus*.

Particularmente, las *Bacillus* asociadas a las meliponas han mostrado ser muy eficientes en la fijación del nitrógeno. Por ejemplo, *B. firmus*, *B. altitudinis*, *B. megaterium* y *B. xiamenensis*. Existen otras bacterias asociadas a las meliponas como *B. sonorensis*, *B. safensis*, *B. firmus*, *B. altitudinis* y *B. tequilensis*, sin embargo, ha sido poco explorado su potencial para incluirlas en la formulación de bioinoculantes.

Otra forma en que las bacterias ayudan a mejorar el crecimiento vegetal es mediante la solubilización de nutrientes como el fósforo, zinc y potasio que en ocasiones están atrapados en el suelo y no pueden ser aprovechados fácilmente. *B. megaterium*, *B. inaquosorum* y *Brevibacillus laterosporus* son especies con capacidad para solubilizar fosfatos, es decir, transforman a los fosfatos a formas en que las plantas lo pueden absorber. Un ejemplo es *Alcaligenes* sp. quien también puede solubilizar fosfato y mejorar el crecimiento de las plantas.



Un modo distinto en que las bacterias también ayudan a las plantas es produciendo fitohormonas como el ácido indolacético (AIA), giberelinas y citoquininas, una especie de vitaminas naturales para estimular el crecimiento vegetal. Especies asociadas a las abejas meliponas como *B. flexus*, *B. inaquosorum* y *B. acidicola* producen fitohormonas como el AIA por lo que estimulan el crecimiento vegetal al aumentar el contenido de triptófano en los exudados de la raíz, un componente básico para la síntesis de fitohormonas.



Gracias a estas habilidades, algunas de estas bacterias forman parte de bioinoculantes comerciales, productos biológicos que ayudan a cubrir las necesidades nutrimentales de las plantas e incluso han mostrado resultados similares a uso de fertilizantes químicos. Además, de nutrir a las plantas, estos *Bacillus* que se aplican en diversos cultivos también les ayudan a resistir situaciones difíciles como la falta de agua, el exceso de sales en el suelo y el estrés causado por metales tóxicos que dañan el crecimiento vegetal.

Por lo anterior, hoy se trabaja en el desarrollo de bioinoculantes o biofertilizantes: sustancias que contienen microorganismos vivos capaces de ayudar directamente al crecimiento de las plantas. Cuando se aplican en las semillas, en las raíces o en el suelo, estos aliados invisibles aumentan la disponibilidad de nutrientes esenciales, fortalecen los cultivos y promueven una agricultura más sostenible. Se trata de un campo con enorme potencial por explorar que podría transformar la manera en que se producen alimentos con especial cuidado del suelo y del medio ambiente.

Conclusiones

Las meliponas son abejas sin aguijón que abundan en regiones tropicales del planeta, que no solo tienen un valor ecológico, económico y cultural, sino que también representan un recurso microbiano muy prometedor. Los microorganismos asociados a las abejas sin aguijón podrían convertirse en aliados poderosos que ofrezcan alternativas ecológicas y sustentables en distintas industrias.

En especial, en los agroecosistemas, su potencial es enorme; el desarrollo de bioinoculantes basados en estos microbios puede ayudar a la creciente demanda de alimentos, evitar el agotamiento de los recursos naturales y reducir la contaminación causada por el uso excesivo de fertilizantes químicos y plaguicidas. En otras palabras, las meliponas y sus bacterias asociadas podrían ser parte de la solución hacia una agricultura más sostenible y respetuosa con la naturaleza.

Literatura recomendada

- Arnold, N. (2018). Biología de las abejas sin aguijón. En: N. Arnold, R. Zepeda, M. Vásquez y M. Aldasoro (Eds). *Las abejas sin aguijón y su cultivo en Oaxaca, México: con catálogo de especies* (pp. 10-32). El Colegio de la Frontera Sur: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Quezada-Euán, J. J. G., May-Itzá, W. J., de la Rúa, P., & Roubik, D. W. (2022). From neglect to stardom: how the rising popularity of stingless bees threatens diversity and meliponiculture in Mexico. *Apidologie* 53(6), 70.



Semblanzas de autores

Paulina Janneth Pérez-Peralta. Beneficiaria del Programa Investigadoras e Investigadores COMECYT-CP. Bióloga (UNAM), Maestra y Doctora en Ciencias en Edafología por el Colegio de Postgraduados. Sus estudios se enfocan en el estudio ecológico y funcional de microorganismos simbióticos y de vida libre.

Dulce Jazmín Hernández-Melchor. Ingeniera en Biotecnología egresada del UPIBI-IPN, Maestra y Doctora en Ciencias en la especialidad de Biotecnología por el CINVESTAV, IPN. Investigadora Asociada del Posgrado de Edafología, Área Microbiología de Suelos del Colegio de Postgraduados campus Montecillo, SNII 1

Sandra Cortés-Pérez. Bióloga egresada de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Maestra y doctora en Ciencias por la UNAM. Sus trabajos se centran en la Ecología de Microorganismos con potencial biotecnológico para la obtención de biofertilizantes a partir de cultivos microbianos aislados de suelo y el tracto intestinal de insectos.

Ronald Ferrera-Cerrato. Profesor Investigador Emérito del Posgrado de Edafología, Área Microbiología de Suelos del Colegio de Postgraduados campus Montecillo. Químico Biólogo Parasitólogo por ENCB-IPN. Doctor en Ciencias por ENCB-IPN. Nivel SNII: Investigador Nacional Emérito por el CONACYT desde 2022.



TERRA
Latinoamericana



ISSN Electrónico 2395 - 8030

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



Nematicidas en la agricultura: efectos sobre nematodos benéficos y la salud del suelo

Nidia Soledad Enríquez-Fernández¹
Anselmo de Jesús Cabrera Hidalgo¹
Nahum Marban-Mendoza²

¹División en Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, TecNM: Tlatlauquitepec, Carretera Federal Amozoc-Nautla Km 122+600, Almoloni, Tlatlauquitepec 73907, Puebla, Mexico.

² Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Edo. de México, C.P. 56230.

Autor para correspondencia: anselmo.cabrera@tlatlauquitepec.tecnm.mx

El uso de nematicidas es una estrategia común para el manejo de nematodos fitoparásitos en sistemas agrícolas modernos. Sin embargo, su aplicación excesiva genera efectos adversos significativos sobre la biodiversidad del suelo, particularmente sobre los nematodos benéficos que desempeñan funciones clave en los ecosistemas edáficos. Este artículo analiza el impacto de los nematicidas sobre la estructura, diversidad y funcionalidad de las comunidades de nematodos, así como sus implicaciones en la sostenibilidad agrícola. Se discuten evidencias recientes que demuestran la reducción de la complejidad de las redes tróficas del suelo y la alteración de procesos como el reciclaje de nutrientes y el control biológico. Finalmente, se plantean alternativas de manejo sostenible orientadas a la conservación de la biota edáfica.





Introducción

Los nematodos del suelo constituyen uno de los grupos más abundantes y funcionalmente diversos dentro de la biota edáfica, desempeñando roles esenciales en procesos como la descomposición, el reciclaje de nutrientes y la regulación de poblaciones microbianas.

Los nematodos benéficos participan de forma activa en las redes tróficas del suelo, donde ocupan diversos nichos funcionales como bacterívoros, fungívoros, depredadores y entomopatógenos. Los nematodos bacterívoros estimulan la mineralización de nutrientes al alimentarse de bacterias, al liberar formas disponibles de nitrógeno y otros elementos esenciales, lo que favorece la nutrición vegetal y la productividad primaria. A su vez, los nematodos fungívoros regulan las poblaciones de hongos, favorecen el equilibrio entre microorganismos benéficos y patógenos, y repercuten directamente en la sanidad del sistema radical. Esta interacción dinámica evidencia su papel como reguladores biológicos dentro del microbioma del suelo.

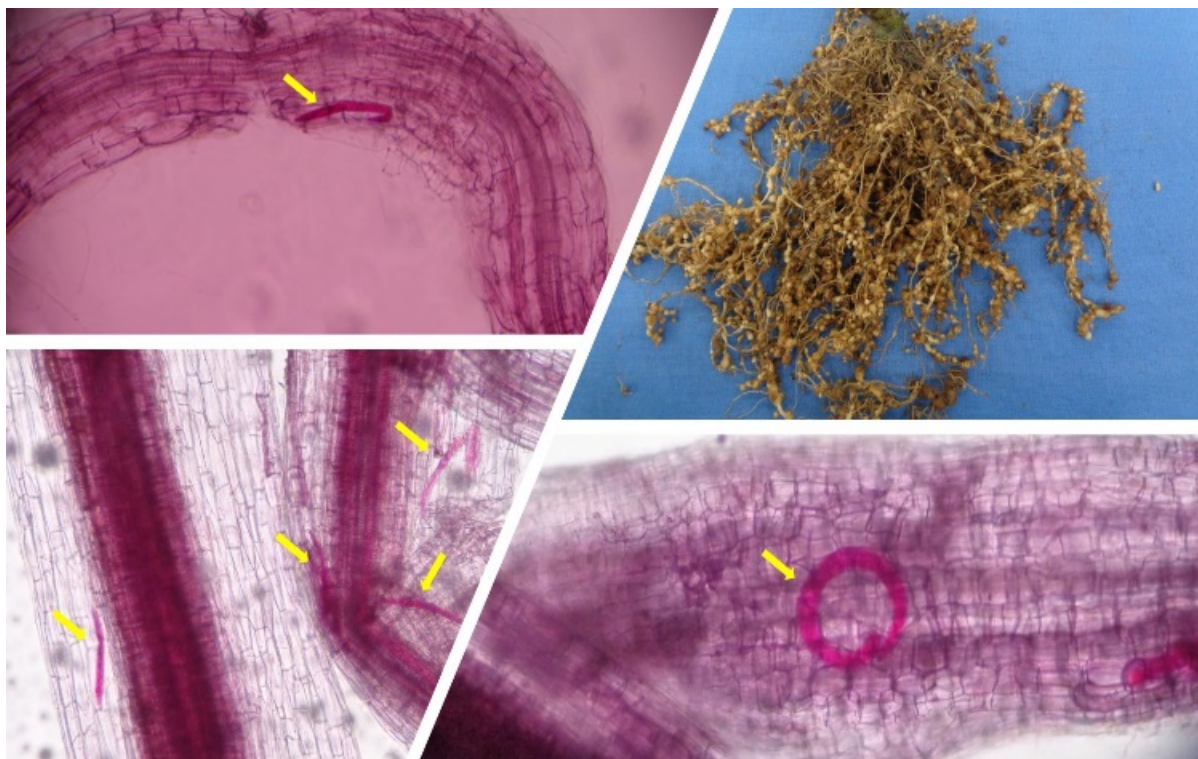


Figura 1. Interacción planta-nematodo: A-C) Fitonematodo invadiendo el tejido radical de plantas de jitomate (flechas amarillas). D) Daño radical (agallamiento) en plantas de jitomate.



Los nematodos desempeñan un papel indirecto en la descomposición de la materia orgánica y en la dinámica del carbono del suelo, al interactuar con bacterias y hongos descomponedores, acelerando los ciclos biogeoquímicos y mejorando la estructura del suelo. Estas interacciones favorecen la formación de agregados estables y la retención de agua, elementos clave para la funcionalidad del ecosistema edáfico. Además, su participación en el microbioma del suelo contribuye a la supresión de enfermedades y al mantenimiento de comunidades microbianas equilibradas, lo cual es fundamental para la salud vegetal.

En los sistemas agrícolas, los nematodos fitoparásitos representan una amenaza significativa para la productividad, al generar pérdidas económicas globales considerables (Figura 1). Ante esta problemática, el uso de nematicidas químicos se ha consolidado como una práctica común por su eficacia inmediata y facilidad de aplicación; no obstante, esta estrategia ha sido cuestionada por sus efectos colaterales sobre organismos no objetivo y la salud del suelo.

Los nematodos benéficos y su papel en el equilibrio del suelo

Los nematodos benéficos son fundamentales para el funcionamiento de los ecosistemas agrícolas, ya que participan activamente en la mineralización de nutrientes, facilitando la disponibilidad de nitrógeno y otros elementos esenciales para las plantas. Además, contribuyen a la regulación natural de poblaciones de organismos patógenos (Cuadro 1).

En términos de salud del suelo, los nematodos son reconocidos como bioindicadores sensibles de las condiciones edáficas. Cambios en la composición de sus comunidades reflejan alteraciones en la calidad biológica, la disponibilidad de nutrientes y el grado de perturbación del sistema, lo que permite evaluar procesos como la degradación, restauración o sostenibilidad del suelo. La presencia de nematodos omnívoros y depredadores, por ejemplo, suele asociarse con suelos estructuralmente complejos y ecológicamente maduros, caracterizados por una mayor estabilidad funcional.

La salud del suelo depende de su equilibrio biológico, el cual puede verse gravemente alterado por el uso de nematicidas.



Cuadro 1. Papel de los nematodos benéficos como agentes de control biológico y su contribución en la salud del suelo.

Grupo trófico de nematodos	Géneros importantes	Función ecológica	Contribución a la salud del suelo	Papel en control biológico
Bacterívoros	<i>Rhabditis</i> , <i>Cephalobus</i>	Se alimentan de bacterias del suelo	Estimulan el reciclaje de nutrientes (N, P), incrementan la mineralización y disponibilidad para plantas	Indirecto: regulan poblaciones bacterianas y favorecen microbiomas benéficos
Fungívoros	<i>Aphelenchus</i> , <i>Aphelenchoides</i>	Consumen hongos saprófitos y fitopatógenos	Participan en la descomposición de materia orgánica y regulación de comunidades fúngicas	Indirecto: reducen hongos patógenos y equilibran la microbiota
Depredadores	<i>Mononchus</i> , <i>Mylonchulus</i>	Se alimentan de otros nematodos y microfauna	Mantienen el equilibrio trófico del suelo y estabilidad ecológica	Directo: controlan nematodos fitoparásitos
Omnívoros	<i>Dorylaimus</i>	Dieta variada (hongos, bacterias, otros nematodos)	Indicadores de suelos estables y poco perturbados	Indirecto: regulan múltiples niveles tróficos
Entomopatógenos	<i>Steinernema</i> , <i>Heterorhabditis</i>	Parásitos de insectos del suelo	Mejoran la sanidad del agroecosistema al reducir plagas	Directo: control biológico de insectos plaga (larvas de coleópteros, dípteros, etc.)



Otro aspecto relevante es su contribución al control biológico de plagas. Los nematodos entomopatógenos, pertenecientes principalmente a los géneros *Steinernema* y *Heterorhabditis*, actúan como agentes naturales contra insectos del suelo, estableciendo relaciones simbióticas con bacterias que provocan la muerte del hospedero. Diversos estudios han demostrado que prácticas agrícolas sostenibles, como la viticultura ecológica o el uso de cubiertas vegetales, incrementan la abundancia y actividad de estos nematodos, fortaleciendo los mecanismos de regulación biológica y reduciendo la dependencia de insecticidas químicos. Este enfoque contribuye a sistemas agrícolas más resilientes y ambientalmente sostenibles.

La diversidad funcional de los nematodos está estrechamente relacionada con el mantenimiento de servicios ecosistémicos, incluyendo la transformación del carbono, el ciclo de nutrientes y la estructuración de redes tróficas complejas.

Uso excesivo de nematicidas: efectos sobre la biodiversidad y la salud del suelo

Diversos estudios demuestran que los nematicidas no solo afectan a los nematodos fitoparásitos, sino también a las comunidades de nematodos benéficos. La aplicación intensiva de estos productos reduce significativamente la abundancia total, la diversidad taxonómica y la complejidad estructural de las comunidades edáficas.

Los nematicidas actúan principalmente sobre procesos fisiológicos esenciales, como la respiración y la transmisión nerviosa, lo que provoca efectos letales o subletales en organismos no objetivo. Como consecuencia, se produce una simplificación de la red trófica del suelo, favoreciendo especies oportunistas (hongos, omicetos, bacterias, entre otros) y reduciendo organismos de niveles tróficos superiores como depredadores y omnívoros. Además, el uso continuo de estos compuestos genera perturbaciones acumulativas que alteran la estructura funcional del ecosistema, comprometiendo su capacidad de recuperación ante disturbios.

La disminución de nematodos benéficos tiene efectos en cascada sobre la biodiversidad del suelo y los procesos ecológicos. La reducción de bacterívoros y fungívoros limita la descomposición de materia orgánica, afectando el ciclo de nutrientes (N y P, principalmente) y la fertilidad del suelo. Asimismo, la pérdida de depredadores incrementa el riesgo de proliferación de patógenos, lo que puede generar una mayor dependencia de insumos químicos en un ciclo de retroalimentación negativa. Este fenómeno contribuye a la degradación progresiva del suelo y a la disminución de su resiliencia.





A nivel global, la intensificación agrícola y el uso de pesticidas se han identificado como factores clave en la pérdida de biodiversidad edáfica, afectando procesos biogeoquímicos fundamentales y comprometiendo la sostenibilidad de los sistemas productivos.

El uso indiscriminado de nematicidas afecta tanto a nematodos fitopatógenos como a organismos benéficos, comprometiendo la salud biológica del suelo.

Implicaciones para la sostenibilidad agrícola

El uso indiscriminado de nematicidas representa una amenaza para la sostenibilidad agrícola, ya que compromete la funcionalidad del suelo a largo plazo. La pérdida de biodiversidad reduce la capacidad del suelo para proveer servicios ecosistémicos esenciales, como la fertilidad, la regulación de plagas y la retención de agua. Además, la simplificación de las comunidades biológicas puede incrementar la vulnerabilidad de los cultivos a estrés biótico y abiótico, lo que contradice los principios de la agricultura sostenible y regenerativa. En este contexto, se hace necesario replantear las estrategias de manejo de nematodos, promoviendo enfoques integrados que reduzcan la dependencia de insumos químicos.

Alternativas sostenibles al uso de nematicidas

El uso intensivo de nematicidas químicos ha sido la principal estrategia para el control de nematodos fitoparásitos. Sin embargo, su eficacia variable, los riesgos ambientales y la generación de resistencia han impulsado la búsqueda de alternativas técnicamente viables y sostenibles. En este contexto, la literatura científica en nematología coincide en que el manejo de nematodos debe abordarse mediante estrategias integradas que prioricen la prevención, la salud del suelo y el uso de agentes biológicos, en lugar de depender exclusivamente de insumos químicos.

Una de las alternativas más estudiadas es el control biológico, el cual emplea microorganismos antagonistas de nematodos. Diversas investigaciones han documentado la eficacia de bacterias como *Pasteuria penetrans* y *Burkholderia cepacia*, así como hongos nematófagos como *Purpureocillium lilacinum*, *Verticillium chlamydosporium* y *Trichoderma harzianum*. Estos organismos actúan parasitando huevos, produciendo metabolitos tóxicos o compitiendo en la rizosfera, lo que reduce las poblaciones de nematodos de manera sostenible y favoreciendo la biodiversidad microbiana del suelo.



Otra estrategia relevante es el uso de extractos vegetales y compuestos botánicos con actividad nematocida, los cuales representan una alternativa de bajo impacto ambiental. Estudios destacan especies como *Tagetes erecta* (cempasúchil), cuyos compuestos secundarios (tiopenos) presentan efectos tóxicos sobre nematodos. Además, los extractos vegetales son considerados económicamente viables y compatibles con sistemas de agricultura orgánica, aunque su adopción a gran escala aún requiere mayor estandarización y validación en campo.

Proteger a los nematodos benéficos es preservar los procesos invisibles que garantizan la fertilidad y resiliencia de los agroecosistemas.

Las prácticas culturales y físicas constituyen herramientas fundamentales dentro de un enfoque sostenible. Entre ellas, destacan

la rotación de cultivos, el uso de cultivos de cobertura, la incorporación de materia orgánica y la solarización del suelo. Estas prácticas contribuyen a disminuir la densidad de nematodos y a mejorar la estructura y actividad biológica del suelo. En particular, la solarización ha mostrado efectividad en sistemas protegidos al reducir poblaciones de *Meloidogyne* spp., debido al incremento de la temperatura del suelo. Asimismo, la biofumigación y el uso de enmiendas orgánicas han sido ampliamente estudiados como alternativas sostenibles. La descomposición de residuos orgánicos, especialmente de crucíferas, libera compuestos volátiles con efecto nematocida que reducen las poblaciones de estos patógenos. Paralelamente, la adición de materia orgánica favorece el desarrollo de microorganismos antagonistas, generando un efecto supresivo natural del suelo frente a nematodos fitoparásitos.



Finalmente, el desarrollo y uso de variedades resistentes o tolerantes constituye una estrategia clave dentro del manejo integral de nematodos. Estas variedades limitan la reproducción de los nematodos o reducen el daño en las plantas, contribuyendo a mantener las poblaciones por debajo del umbral económico sin necesidad de aplicaciones químicas intensivas.

Es claro que existen diversas alternativas sostenibles al uso de nematocidas químicos, sin embargo, el enfoque más efectivo radica en la integración de métodos biológicos, culturales y físicos dentro de sistemas de manejo agroecológico, orientados a fortalecer la salud del suelo y la resiliencia del agroecosistema, más que a la erradicación directa del nematodo.





Conclusiones

El uso excesivo de nematicidas tiene efectos negativos significativos sobre la fauna de nematodos benéficos, reduciendo la biodiversidad y alterando la funcionalidad de los ecosistemas del suelo. Estas alteraciones comprometen la sostenibilidad agrícola al afectar procesos clave como el reciclaje de nutrientes y el control biológico. La evidencia científica sugiere la necesidad urgente de adoptar estrategias de manejo más sostenibles que prioricen la conservación de la biodiversidad edáfica. La transición hacia sistemas agrícolas basados en principios agroecológicos permitirá reducir la dependencia de insumos químicos y mejorar la resiliencia de los agroecosistemas.

Reducir el uso de nematicidas requiere reconocer el valor ecológico de los nematodos en el equilibrio del suelo.

Literatura recomendada

Manzanilla-López, R.H., Hunt, D., Marbán-Mendoza, N., and Infante-Gil, S. 2025. Practical Plant Nematology 2nd Edition. CAB Internacional. 632 pp.
<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/epub/10.1079/9781836990413.0000>

Piedra-Naranjo, R. (2013). Manejo biológico de nematodos fitoparásitos con hongos y bacterias. Revista Tecnología en Marcha, 21(1), pág. 123-132.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=699878338012>

Puissant, J., Villenave, C., Chauvin, C., Plassard, C., Blanchart, E., and Trap, J. (2021). Quantification of the global impact of agricultural practices on soil nematodes: A meta-analysis. Soil Biology and Biochemistry, 161, 108383.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108383>

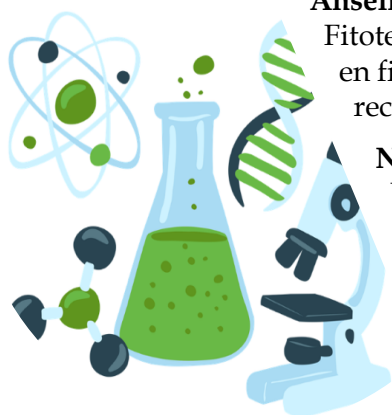


Reseña de los autores

Nidia Soledad Enríquez-Fernández. Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable-Instituto Tecnológico Superior de Tlatlauquitepec.

Anselmo de Jesús Cabrera Hidalgo. Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia con Maestría en ciencias en Protección Vegetal y Doctorado en ciencias en fitopatología. SNI nivel I-SECIHTI desde 2017 hasta la fecha. Con reconocimiento perfil deseable (PRODEP) (2023-2026).

Nahum Marban Mendoza. Biólogo de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Maestría en Ciencias Zoología, Facultad de Ciencias de la UNAM. Doctor en Filosofía, University of California, Davis. Posdoctorado, University of Massachusetts, Amherst, EE. UU. SNI nivel II-SECIHTI. Línea de investigación: Manejo Integral Fitosanitario.





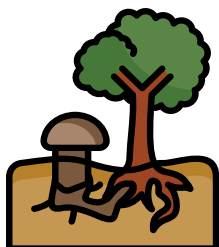
Simbiosis micorrízica: la red invisible que sostiene a los cultivos

Adriana Antonio-Bautista¹
Gabriela Guillen-Cruz²
César R. Sarabia Castillo*

¹Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas, Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, CP 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

² Programa de Recursos Fitogenéticos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, CP 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

*Autor para correspondencia: ing.cesarsarabia@gmail.com

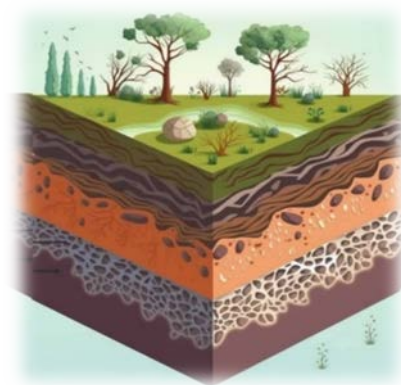


El suelo alberga a los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), aliados microscópicos que forman una simbiosis esencial con las plantas. Una simbiosis que se traduce en el intercambiando de azúcares vegetales por agua y nutrientes (como el fósforo) mediante su red externa de hifas (micelio). Esta interacción influye directamente en la productividad de los cultivos y en la salud del suelo al aumentar la disponibilidad de nutrientes, minimizar los factores de estrés y promover la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

Introducción

El suelo no es algo que resulte interesante para la mayoría de las personas; sin embargo, es un recurso esencial para la producción de alimentos y es considerado un ecosistema dinámico, complejo y diverso. En él se albergan una gran cantidad de aliados microscópicos como bacterias, protozoarios y hongos, que trabajan constantemente y de manera silenciosa para mantener la fertilidad de la tierra.

Entre estos habitantes se destacan los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), que son microorganismos benéficos del suelo que viven en simbiosis con más del 80 % de las plantas terrestres, con las que colaboran para poder absorber nutrientes y agua al extender el alcance de sus raíces, mientras que la planta les da azúcares derivados de la fotosíntesis.



Los HMA amplían el alcance de las raíces de las plantas para poder absorber nutrientes y agua de manera más eficiente.



¿Qué son los hongos micorrízicos arbusculares?



Más allá de ser solo habitantes del suelo, los HMA son considerados biofertilizantes naturales, al favorecer la nutrición de los cultivos y actúan como una barrera de protección contra enfermedades. En pocas palabras, esta interacción funciona como un “trueque” perfecto en donde los HMA optimizan la alimentación de la planta y a cambio, obtienen hospedaje y energía para sobrevivir.

Más allá de ser solo habitantes del suelo, los HMA son considerados biofertilizantes naturales.

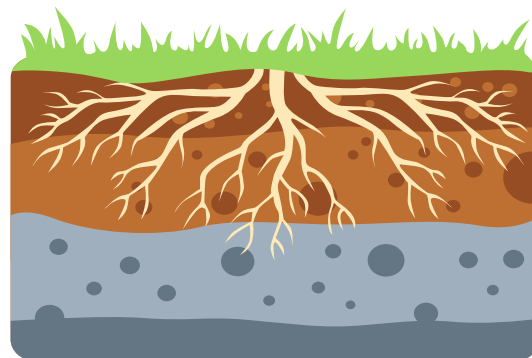
¿Cómo ocurre esta simbiosis?

El lenguaje secreto bajo tierra

Los HMA influyen de manera directa en la productividad de los cultivos y en la salud del suelo, al aumentar la disponibilidad de nutrientes y minimizar los factores de estrés.

Para que se realice el establecimiento y desarrollo de la simbiosis entre los HMA y las raíces, se lleva a cabo un proceso complejo que inicia con el reconocimiento del hongo micorrízico mediante señales químicas; en este reconocimiento la planta libera por medio de la raíz sustancias químicas que atraen a las hifas (estructuras semejantes a hilos microscópicos que forman la estructura básica de los hongos). El hongo a su vez responde a este diálogo con la secreción de sus propias señales químicas avisando a la planta que está listo para adherirse a ella (Figura 1). Una vez que se reconocen, las hifas forman una estructura aplanada sobre la raíz llamada apresorio (Figura 2A), que funciona como

puerta de entrada hacia las células de la raíz. A partir de este momento, el ciclo de la simbiosis se diferencia en dos fases, una intraradical, es decir que ocurre dentro de la raíz y otra extraradical, que ocurre fuera de las raíces.



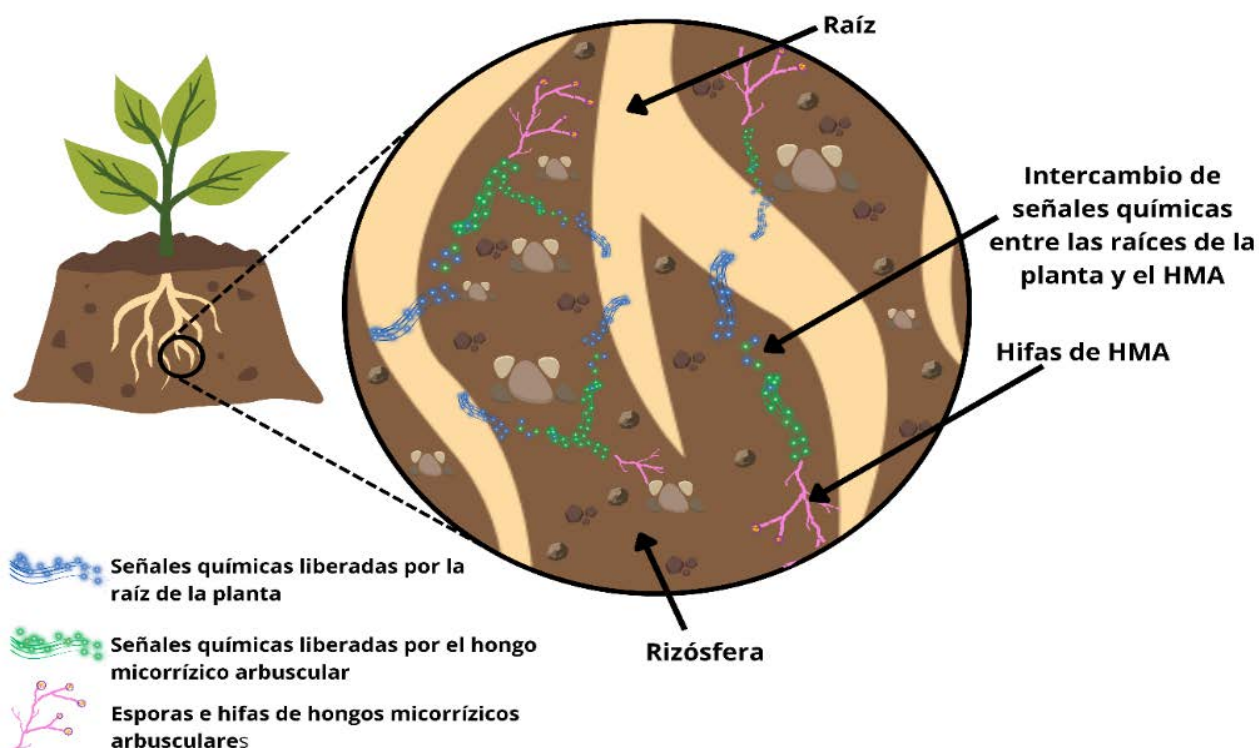


Figura 1. Intercambio de señales químicas entre la raíz de la planta y los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), que permite su reconocimiento e inicio de la simbiosis.

Un viaje hacia el interior (fase intraradical)

Ya que se encuentra formado el apresorio, este ejerce presión sobre la raíz para introducir las hifas en las células, una vez dentro, las hifas van creciendo entre las células formando una red interna (figura 2A). Cuando se encuentra una célula adecuada, se ramifica creando un arbusculo: una estructura característica en forma de árbol, la cual se encarga del intercambio de nutrientes entre el hongo y la planta. Además, para asegurar su supervivencia, el HMA forma vesículas, que son diminutas esferas de reserva llenas de lípidos (grasas) que aseguran un suministro constante de nutrientes para el hongo en tiempos de escasez (Figura 2B).



Para asegurar su supervivencia, el hongo forma vesículas, que son diminutas esferas de reserva llenas de lípidos.

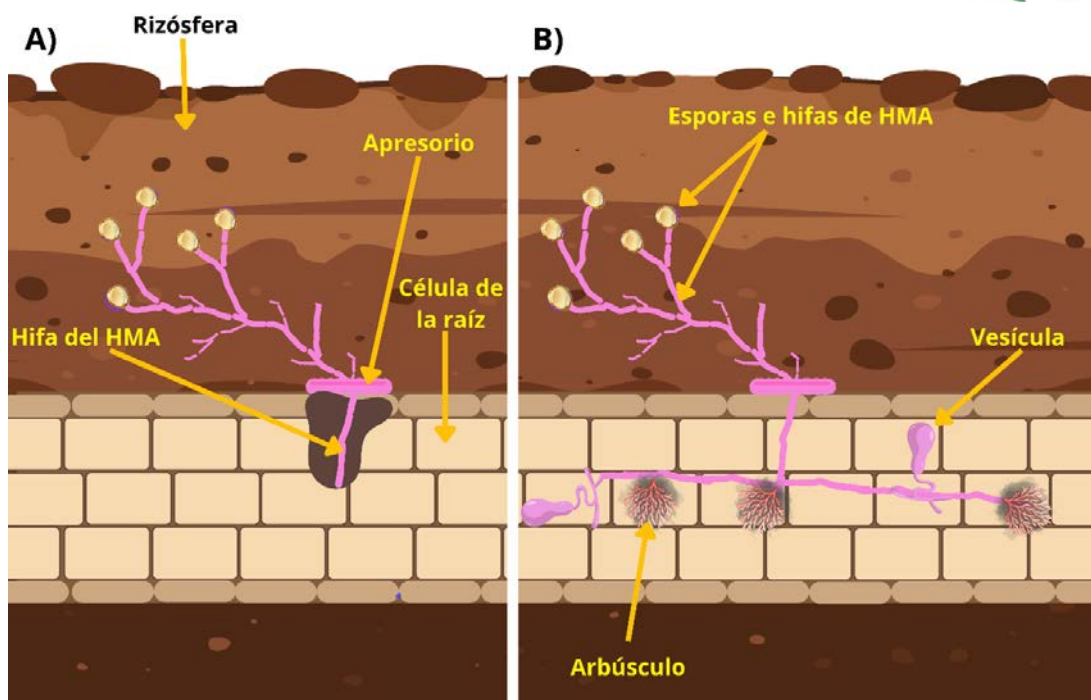


Figura 2. Proceso de establecimiento de la simbiosis entre los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y la raíz de la planta. A) Formación del apresorio y penetración de las hifas en las células de la raíz. B) Desarrollo de estructuras intraradicales como arbúsculos y vesículas.

La red exterior: expandiendo fronteras (fase extraradical)

Mientras tanto, fuera de la raíz el hongo continúa creciendo, expandiendo su red de hifas por el suelo formando el micelio, este micelio funciona como una extensión microscópica de las raíces, formando una gran red que llega más allá de donde la raíz podría llegar por sí misma.

Imagínalo como un túnel que conecta a la raíz con el suelo circundante y por el cual se transportan agua y minerales (especialmente fósforo) directamente a la planta (Figura 3A).

El cierre del ciclo

Cuando la misión se ha cumplido, el HMA produce esporas en el suelo (Figura 3B). Estas esporas funcionan de forma similar a las semillas de las plantas, las cuales representan un mecanismo de supervivencia para que se lleve a cabo una nueva simbiosis con otras especies vegetales.

A pesar de su enorme importancia, los hongos micorrízicos arbusculares suelen ser los grandes olvidados en el campo.



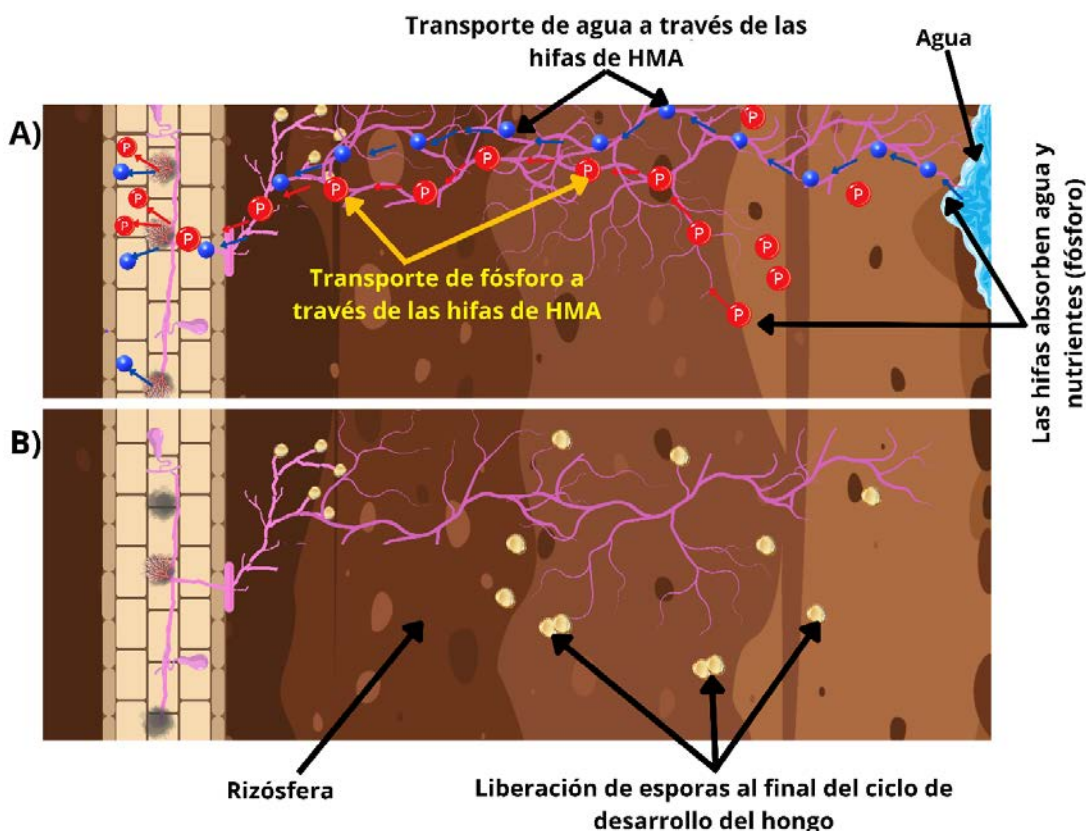


Figura 3. Fase extraradical de los hongos micorrízicos arbusculares. A) Expansión del micelio en el suelo y transporte de agua y nutrientes hacia la planta a través de la red de hifas. B) Formación de esporas como estructuras de reproducción y supervivencia para el establecimiento de nuevas asociaciones simbióticas.



¿Por qué son importantes los hongos micorrízicos arbusculares?

La importancia de los HMA no se limita exclusivamente a formar una simbiosis con las raíces de las plantas, sino que va más allá de esto, ya que influyen de manera directa en la productividad de los cultivos y en la salud del suelo, al aumentar la disponibilidad de nutrientes y minimizar los factores de estrés, promoviendo la sostenibilidad de ecosistemas agrícolas. Porque, aunque son invisibles a simple vista, su papel es fundamental para el equilibrio del suelo y la salud de los cultivos. A continuación, se resumen los principales beneficios de los HMA (Tabla 1).

Los HMA influyen de manera directa en la productividad de los cultivos y en la salud del suelo, al aumentar la disponibilidad de nutrientes y minimizar los factores de estrés



Tabla 1. Principales funciones y beneficios de los HMA en sistemas agrícolas

Aspecto	¿Cómo ayudan los HMA?	Impacto en plantas, suelo y agricultura
Nutrición vegetal	Facilitan la absorción de nutrientes esenciales para las plantas como el fósforo y nitrógeno	Mejor crecimiento vegetal y aumento en la productividad en suelos pobres o degradados
Aprovechamiento del agua	Mayor exploración del suelo mediante sus redes de hifas	Aumento en la tolerancia a sequías
Protección contra patógenos	Activan respuestas de defensa de las plantas	Menos enfermedades en cultivos y menor dependencia de agroquímicos
Mejora del suelo	Favorecen la formación de agregados del suelo	Mejor estructura del suelo y menor erosión
Sostenibilidad agrícola	Mejor aprovechamiento de fertilizantes	Agricultura más sustentable y resiliente
Biodiversidad y equilibrio ecológico	Creación de redes que sostienen a otros microorganismos (bacterias y hongos)	Ecosistemas más estables y funcionales

Conclusión

La simbiosis entre los HMA y las plantas terrestres resulta ser un proceso altamente especializado y vital de la naturaleza. Como se ha descrito, esta alianza subterránea no solo optimiza la nutrición vegetal y da acceso al agua a los cultivos mediante la expansión de su micelio, sino que también logra fortalecer la salud y estructura del suelo. Reconocer que el suelo no es solo "tierra", sino un tejido vivo sostenido por estas redes invisibles es el primer paso para valorar el equilibrio ecológico de los sistemas agrícolas y transitar hacia una agricultura más sostenible. Al proteger a estos aliados microscópicos, no solo aseguramos la salud de las plantas, sino también la fertilidad de nuestro planeta a largo plazo.





Literatura recomendada

- Carrillo-Saucedo, S.M., Puente-Rivera, J., Montes-Recinas, S. & Cruz-Ortega, R. (2022). Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta Botánica Mexicana*, 129, e1932.
- Luna-Fontalvo, J. A., Santos-Castellar, G.J., Atencia-Meza, L.C., Morales C., Ramires-Roncallo, K. & Negritto, M.A. (2019). Hongos micorrícicos arbusculares: phylum Glomeromycota. *Infloflora Boletín de Botánica*, 6, 1-16.
- Umer, M., Anwar, N. Mubeen, M., Li, Y., Ali, A., Alshaharni, M.O. & Liu, P. (2025). Roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth and disease management for sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*, 16, 16162873.



Semblanzas de autores

Adriana Antonio-Bautista: Dra. en Ciencias en Recursos Fitogenéticos para Zonas Áridas por la UAAAN. Investigadora del Departamento de Fitomejoramiento de la UAAAN. Pertenece al SNII nivel I. Sus líneas de investigación se centran en la caracterización y conservación ex situ de recursos fitogenéticos nativos con potencial ornamental, agrícola y forestal de las zonas áridas y semiáridas.

Gabriela Guillen-Cruz: Dra. en Ciencias en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía por el Cinvestav. Actualmente es investigadora invitada en el Programa de Recursos Fitogenéticos de la UAAAN. Pertenece al SNII nivel C. Su trayectoria se ha centrado en el estudio del intercambio de carbono entre la atmósfera y los ecosistemas terrestres, la salud y calidad del suelo y los efectos del cambio global en diferentes ecosistemas.

César R. Sarabia-Castillo: Dr. en Ciencias en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía por el Cinvestav-Salttillo. Investigador invitado en el Programa de Recursos Fitogenéticos de la UAAAN. SNII nivel I. Miembro de la SMCS, A.C. Su investigación se enfoca en el estudio de nanomateriales y sus efectos en las interacciones Planta-Suelo-Microorganismos.



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>



Antropoceno: entre la transformación del planeta y la responsabilidad humana

Luis Rodrigo Vaca-Juárez¹
Rubén Hernández-Morales^{2,3}
Edgar Vázquez Núñez⁴
Gabriela A. Zanor^{5*}

¹ Maestría en Biociencias, División de Ciencias de la Vida (DICIVA), Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato, Ex Hacienda El Copal km 9 Carretera Irapuato-Silao; A.P. 311; C.P. 36500; Irapuato, Guanajuato, México

² Doctorado en Biociencias, División de Ciencias de la Vida (DICIVA), Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato, Ex Hacienda El Copal km 9 Carretera Irapuato-Silao; A.P. 311; C.P. 36500; Irapuato, Guanajuato, México

³ Laboratorio de Biología Acuática "J. Javier Alvarado Díaz", Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Av. Francisco J. Mújica S/N. Ciudad Universitaria. CP58030. Morelia, México⁴ Departamento de Ingeniería Química, Electrónica y Biomédica, División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, Universidad de Guanajuato, Loma del Bosque 103, Lomas del Campestre CP 37150, León, Guanajuato México.

⁵ Posgrado en Biociencias, Departamento de Ciencias Ambientales, División de Ciencias de la Vida (DICIVA), Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato, Ex Hacienda El Copal km 9 Carretera Irapuato-Silao; A.P. 311; C.P. 36500; Irapuato, Guanajuato, México

*Autor para correspondencia: gzanor@ugto.mx



Esta contribución explora cómo los seres humanos hemos transformado nuestro planeta en un tiempo récord, dando paso a lo que muchos llaman la era del Antropoceno. A través de un recorrido por el pasado de la Tierra, se exploran los impactos ambientales que hoy enfrentamos: el cambio climático, el cambio del uso del territorio, la modificación de los ciclos biogeoquímicos, la pérdida de la

biodiversidad y la degradación del suelo, destacando el rol del ser humano, el papel de la tecnología, la educación y la responsabilidad colectiva.

Introducción

¿Sabías que vivimos en una edad de la Tierra en donde los seres humanos hemos modificado el planeta entero? Hoy en día, la Tierra experimenta un "Cambio Global", atribuyendo al ser humano como la principal fuerza de cambio en el planeta y el protagonista de las transformaciones sobre los procesos que ocurren en los ecosistemas.



En el Cambio Global, los cambios son más rápidos en comparación a otro acontecimiento ocurrido en la historia de nuestro planeta y no tiene precedentes en el registro histórico de nuestro planeta. Estos cambios quedan registrados en la secuencia de los sedimentos, particularmente en el registro de polen de plantas, el aumento en la concentración de carbono inorgánico y posterior a la revolución industrial, la presencia de microplásticos y diversos aportes de



En pocas décadas, los seres humanos hemos transformado el planeta más rápido que en millones de años de historia geológica.

metales. Algunos autores han nombrado a este periodo en la Tierra como “El Antropoceno”, el cual tiene su origen con la Revolución Industrial (a mediados del siglo XVIII). Esta nueva era se caracteriza por alteraciones en el ciclo del agua y del carbono, la quema de combustibles fósiles, la urbanización y la pérdida de ecosistemas, cambios que no tienen precedentes ni análogos en la historia de la Tierra.

Primero, ¿Qué son las eras geológicas?

Las eras geológicas son como capítulos de un libro inmenso. Cada una abarca millones de años y narra un momento clave en la historia del planeta. Sus nombres provienen de eventos que marcaron profundamente cada época (Figura 1), en especial, extinciones en masa.

El super eón Precámbrico es el punto de partida, hace 4,567 millones de años (M. a.). La Tierra era un caos de océanos calientes y volcanes activos. Hace aproximadamente 4,031 millones de años se inicia con el eón Arqueano la proliferación de formas de vida

microscópica conformada por numerosos grupos de bacterias primitivas.

Posteriormente surge el eón Fanerozoico con la era Paleozoica, hace 538.8 ± 6 M. a., cuando la vida explotó en los océanos con organismos como los trilobites (artrópodos marinos). Con el tiempo, algunas especies se aventuraron a tierra firme y surgieron las primeras plantas e insectos.

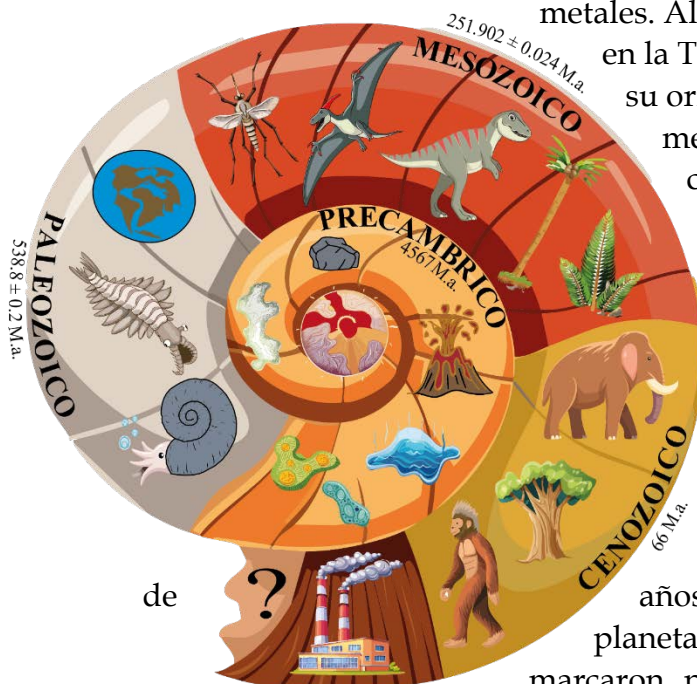


Figura 1. “Así ha cambiado la Tierra: un espiral del tiempo geológico”. Espiral que ilustra de manera general los grandes eones y eras geológicas, desde el Precámbrico hasta el Cenozoico. Cada color e ilustración del caracol resume los eventos que transformaron al planeta a lo largo de millones de años (M. a.).



La era Mesozoica (251 ± 0.02 -66 M.a) continúa después de la era Paleozoica, ésta se caracteriza por el dominio de los dinosaurios, desde bosques gigantes hasta depredadores como el *Tyrannosaurus rex*. En el aire volaban *pterosaurios* (lagartos alados) y en los mares nadaban enormes reptiles. Esta era terminó con el impacto de un meteorito que cambió el clima global y provocó una extinción masiva.

Finalmente, se ubica la era Cenozoica hace 66 M. a., en esta nueva era de la Tierra los mamíferos tomaron el liderazgo. Aparecieron mamuts, tigres dientes de sable y, los primeros humanos modernos (*Homo sapiens*), que comenzaron a transformar el mundo hace aproximadamente 315,000 años, con herramientas como el fuego y la vida en comunidad.

La Gran Aceleración implica cambios acelerados en nuestro planeta asociados con la construcción de presas, la urbanización, la producción de nuevos materiales, el uso de agroquímicos, dejando impactos visibles en el clima, los ecosistemas y los suelos, desde el año 1950.

Ahora sí... El Antropoceno: ¿La era de los humanos?

La palabra "Antropoceno" fue propuesta por dos científicos llamados Paul Crutzen y Eugene Stoermer en el año 2000. Crutzen sugirió que los cambios realizados por los humanos en el planeta eran tan grandes que debían tener su propia época geológica. Por lo tanto, el Antropoceno es la "Nueva Época de los Humanos". Aunque muchos geólogos usan esta palabra, no todos están de acuerdo en considerarla una era geológica oficial. Se ha propuesto como una nueva época en la parte más actual del Holoceno, considerando su origen en la Revolución Industrial (mediados del siglo XVIII), debido al aumento del dióxido de carbono (CO_2) y otros gases efecto invernadero. Sin embargo, en el año 2024, la Subcomisión Estratigráfica del Cuaternario ratificó su rechazo a que el Antropoceno sea catalogado como una época oficial en la Escala Geológica.

El planeta Tierra se encuentra operando en un estado sin precedente en términos de los cambios ambientales producidos al sistema Tierra y ocasionados fundamentalmente por el ser humano.

¿Y por qué es tan especial esta era? Porque los humanos han cambiado la Tierra más que cualquier otra criatura del pasado. Hemos extendido las fronteras agrícolas, deforestado, fragmentado ecosistemas, desarrollado tecnología, y hasta hemos logrado viajar al espacio exterior. Pero con todos estos increíbles logros, también hemos causado problemas al equilibrio natural de nuestro planeta, afectando a los animales, plantas, personas y en general a los procesos fundamentales que sostienen la vida tal y como la conocemos.





¿Hemos perjudicado el planeta más que los dinosaurios o los mamíferos?

Los humanos hemos impactado al planeta mucho más que los dinosaurios o los grandes mamíferos del pasado. Aunque los dinosaurios dominaron la Tierra por millones de años, no transformaron el ambiente, no construyeron ciudades, no contaminaron ni alteraron ecosistemas; simplemente vivían y se adaptaban. Su extinción ocurrió por un evento natural, no por sus acciones. Después, los mamíferos ocuparon su lugar. Mamuts y tigres dientes de

sable vivieron miles de años sin modificar el entorno de forma significativa. Solo cumplían su ciclo natural.

En cambio, en el Antropoceno, los humanos hemos rediseñado el planeta. Construimos ciudades, carreteras y usamos enormes cantidades de recursos como petróleo, carbón y minerales de las rocas. Esa explotación y las industrias asociadas generan contaminación, degradación del suelo y pérdida de hábitats. Al quemar combustibles fósiles liberamos gases que atrapan el calor del Sol, produciendo alteraciones en el efecto invernadero y acelerando el cambio climático. Esto altera los patrones de lluvia, provoca olas de calor inusuales y aumenta la intensidad de fenómenos, como huracanes y tornados.

¿El cambio climático y el calentamiento global es nuestra responsabilidad?

El cambio climático responde a variaciones cíclicas naturales. Sin embargo, los humanos, hemos contribuido a su aceleración de varias maneras:

- Al quemar petróleo, carbón y gas para generar energía — como la electricidad que usamos para la luz, cargar el celular o las tabletas — liberamos grandes cantidades de CO₂ y otros gases de efecto invernadero a la atmósfera, que modifican el balance energética Tierra-Atmósfera.
- Al talar árboles para obtener madera o abrir espacios para viviendas, reducimos la cantidad de vegetación capaz de absorber CO₂. Esto incrementa la concentración de este gas en la atmósfera y favorece la retención de calor amplificando el calentamiento global.





- En la agricultura, el uso de agroquímicos libera compuestos tóxicos y persistentes que pueden volatilizarse hacia la atmósfera o alcanzan los cuerpos de agua a través de escorrentías agrícolas ricas en fósforo y nitrógeno, que conllevan a la proliferación de *blooms* algales o macrófitas.
- Los autos, aviones y otros medios de transporte que usamos diariamente también emiten CO₂ y otros contaminantes.

El cambio climático es una responsabilidad humana. El planeta se encuentra en un estado post-crisis, y es nuestra obligación protegerlo, y preservarlo para las futuras generaciones.

¿Se han acelerado estos cambios?

La respuesta es afirmativa. Se considera que a partir del año 1950 se da inicio a la “Gran Aceleración”, una etapa muy reciente en la historia de la Tierra que describe los cambios en nuestro planeta producidos por el ser humano con una rapidez extrema. Es notable como desde el año 1950, se han construido una gran cantidad de presas o reservorios para almacenar agua y controlar inundaciones, se ha incrementado el uso de agroquímicos, la degradación del suelo, la acidificación de los océanos, el uso de energía, entre otros. En la década de 1970 se produce una transformación agrícola conocida como la “Revolución Verde”, caracterizada por el gran uso de fertilizantes, maquinaria y riego artificial para aumentar la producción de alimentos a nivel mundial. Esto trajo aparejado, en términos ambientales, la degradación del suelo, el aumento de la erosión y el surgimiento de la desertificación. Las personas también comenzaron a usar más energía, como el petróleo y el gas, para abastecer sus autos y casas. La contaminación del aire y el agua empezó a ser un problema grande porque se usaban muchos productos químicos en fábricas y campos. Aquí es cuando las personas comenzaron a darse cuenta de los problemas ambientales y surgieron movimientos para proteger el entorno, y comenzaron a preocuparse por la salud de éste.

El Antropoceno muestra que los humanos hemos rediseñado el planeta: ciudades, carreteras, agricultura intensiva y residuos que afectan los procesos de los ecosistemas y su biodiversidad.



Y ahora en la última década, desde el 2010 hasta el 2020, la gran mayoría de las personas tienen celulares, y la tecnología está en cada parte de nuestras vidas. Podemos hablar con alguien al otro lado del mundo con una videollamada o tomar clases en línea. Sin embargo, la Tierra está sintiendo los efectos de esta rápida aceleración. La Gran Aceleración promueve el cambio climático y la contaminación en el planeta. Todos estos hechos en el Antropoceno han cambiado a nuestro planeta y en muchos casos, de manera irreversible (Figura 2). En este espacio acelerado y cambiante, es de destacar que los avances tecnológicos también se están haciendo notar en el mundo actual y muchos de estos ejercen un impacto positivo y sirven para cuidar nuestro planeta, como por ejemplo: el uso de las energías limpias, el tratamiento de aguas residuales, los filtros atmosféricos, la economía circular, etc.



Figura 2. Ambiente en transformación: dimensiones del antropoceno. Diagrama tipo panal que ilustra las principales dimensiones del impacto humano en el Antropoceno. (1) urbanización y pérdida de biodiversidad, (2) aceleración tecnológica, (3) contaminación y residuos, (4) agricultura y degradación del suelo y, (5) cambio climático.



¿Qué podemos hacer para cuidar el planeta?

Proteger la Tierra es un reto enorme, pero no es inalcanzable. Y, aunque parezca ambicioso, comienza con decisiones simples que se multiplican cuando toda la sociedad se suma: familias, escuelas, autoridades, comunidad científica y cualquier persona que quiera un futuro mejor. El primer paso es entender que los problemas ambientales no se resuelven solos. Cambiar nuestros hábitos de consumo es un paso fundamental que implica muchos cambios positivos para cuidar nuestro entorno: reducción de residuos, utilizar menos plásticos, consumir de forma responsable y aplicar la regla de las 3R.

La tecnología también puede ser un aliado estratégico. Hoy contamos con herramientas capaces de monitorear el agua y la biodiversidad, detectar fugas de agua, generar energía verde, y vigilar zonas vulnerables. Esta gran red de infraestructura e innovación (la tecnósfera) puede servir para reconstruir, restaurar y planificar un uso más equilibrado de los recursos, siempre que se utilice de forma ética y responsable.

Pero nada de esto funcionará sin educación ambiental. Enseñar a niñas, niños y jóvenes cómo funciona el planeta es esencial para formar generaciones que cuiden la naturaleza y crezcan valorando el entorno donde viven, con un sentido de identidad y responsabilidad. Saber por qué es importante separar residuos, entender qué es el cambio climático o reconocer la importancia de los ecosistemas crea ciudadanos capaces de actuar con criterio, compromiso y solidaridad.

También es clave recuperar nuestra relación con la naturaleza y revalorizar el patrimonio cultural, ambiental e histórico de los ecosistemas. Observar un lago, caminar por un bosque o valorar los servicios ambientales que nos ofrecen los ecosistemas nos recuerda que dependemos de sistemas que no son infinitos, y cuyo daño puede ser irreversible. Esa conexión impulsa el respeto y el cuidado (Figura 3).

Cada persona puede aportar desde su espacio: elegir energías limpias, evitar desperdicios, informarse, apoyar proyectos ambientales, participar en actividades comunitarias o promover cambios en su escuela o trabajo. Lo importante no es hacer todo, sino comenzar por algo.

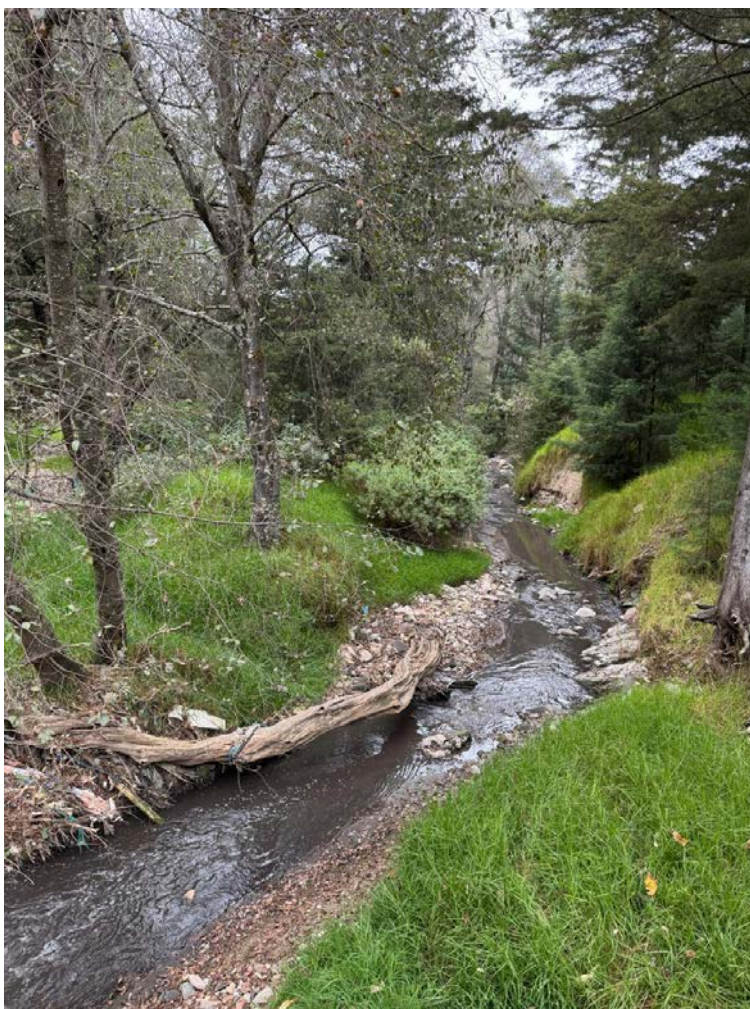


Figura 3. Impacto de las actividades humanas en el ambiente. Fotografía de un riachuelo contaminado en contacto con depósitos de jales mineros auríferos, que evidencia la interacción entre aguas residuales y suelos alterados por actividades mineras en Tlalpujahua, Michoacán. Fotografía: Luis Rodrigo Vaca-Juárez.

Conclusión

El Antropoceno podrá ser una era no oficial en la geología, pero evidencia el enorme poder de transformación que tiene la humanidad sobre el planeta Tierra. Hemos alterado nuestro entorno más rápido que cualquier otra especie en la historia de la Tierra, y a un ritmo o velocidad nunca antes visto. Debemos redirigir y cambiar nuestras acciones enfocadas hacia la recuperación de los ecosistemas. La clave está en adoptar hábitos sostenibles, impulsar energía limpia y fortalecer la educación ambiental. Estamos ante un enorme reto. No es tarde. El futuro del planeta depende de nosotros y de las decisiones que tomemos hoy. Debemos animarnos a hacer el cambio para lograr vivir en un mundo mejor, con una visión sistémica y solidaria hacia todas las especies que habitan nuestro planeta.



Literatura recomendada

Álvarez-Lopezello, J., Santiago Mejía, H., & Sunny, A. (2025). Antroposoles: la historia poco conocida de la humanidad en el suelo. *Desde el Herbario CICY*, 17, 11-17.

http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/

Cearreta, A. (2015). La definición geológica del Antropoceno según el Anthropocene Working Group (AWG). *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23.3, 263-271.

https://www.researchgate.net/publication/301487509_La_definicion_geologica_del_Antr opoceno_segun_el_Anthropocene_Working_Group_AWG

Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., & Ludwig, C. (2015). The trajectory of the Anthropocene: The great acceleration. En *The Anthropocene Review* (Vol. 2, Número 1, pp. 81-98). SAGE Publications Inc. <https://doi.org/10.1177/2053019614564785>



Semblanzas de autores

Luis Rodrigo Vaca-Juárez. Ingeniero Ambiental y maestrante en Biociencias por la Universidad de Guanajuato. Su trabajo se centra en la dinámica hidrológica e hidroquímica de sistemas lacustres, aplicando herramientas analíticas y modelación para conocer los procesos geoquímicos y las fuentes de aporte principales, y apoyar en la gestión sostenible de recursos hídricos.

Rubén Hernández Morales. Biólogo de formación y Maestro en Ciencias Biológicas por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Con enfoque de investigación en química analítica, ficología aplicada, bioindicadores, manejo y conservación de recursos acuáticos, así como calidad de agua.

Edgar Vázquez Núñez. Ing. Químico egresado del Instituto Tecnológico de Oaxaca. Tiene grado de Doctor en Ciencias en Biotecnología por el CINVESTAV, Zacatenco. Con enfoque en Biotecnología aplicada a sistemas ambientales y actualmente está enfocado en el desarrollo y aplicación de biotecnologías para la remediación de suelos y aguas contaminadas, además estudia y evalúa recursos vegetales no convencionales para el desarrollo de materiales biodegradables poco contaminantes.



Gabriela A. Zanor. Geóloga y Doctora en Ciencias Geológicas por la Universidad Nacional de Córdoba (Argentina). Estudia la calidad de suelos y aguas de lagos y embalses, geología ambiental y paleolimnología de cuerpos lacustres.



Alfalfa biofortificada con boro: el match planta – cabra

Xileme Yaquin González-Hidalgo¹
Steffanny Sánchez-Portillo²
Sarahí del Carmen Rangel-Ortega¹
Fabián Pérez-Labrada²

¹Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista Saltillo, Coahuila de Zaragoza, Mexico

²Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923 Bellavista Saltillo, Coahuila de Zaragoza, Mexico

*Autor para correspondencia: fabian.perezl@uaaan.edu.mx

¿Sabías que las plantas de alfalfa, al requerir una gran cantidad de boro (B) pueden ser biofortificadas? Sorprendentemente al incrementar la concentración de este nutriente se mejora el contenido de proteínas y, cuando las cabras consumen este forraje su metabolismo y la calidad de la leche son promovidos. Por ello, te invitamos a conocer más sobre este lazo.



Introducción

La alfalfa es un forraje producido mayormente en el norte del país, sobre todo en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango y Sonora y se caracteriza por tener altos niveles proteicos, por lo que es ideal para la alimentación del sector pecuario. Este cultivo forrajero demanda altas cantidades de boro (B) para lograr una adecuada metabolización del nitrógeno y formación de proteínas, esto se debe a que el B promueve la actividad de enzimas asociadas con la fijación de nitrógeno

atmosférico (N_2) en los nódulos: nitrogenasa y nitrato reductasa (Tabla 1). Este elemento muestra especial relevancia porque participa en la movilización de azúcares alrededor de la planta. En suelos agrícolas el contenido de este elemento oscila entre los 7 a 80 ppm, pero menos del 5% está realmente disponible por lo que en ocasiones, el tipo de suelo y/o estrategias de manejo agrícola, provocan que las plantas no tengan un buen contenido de B.





Ante ello se implementan estrategias como la biofortificación que buscan incrementar la concentración del nutriente y de los biocompuestos en el tejido de interés de los cultivos; para el caso de la alfalfa sería en el tejido foliar.

Tabla 1. Nutrientes más importantes en la estructura de la alfalfa

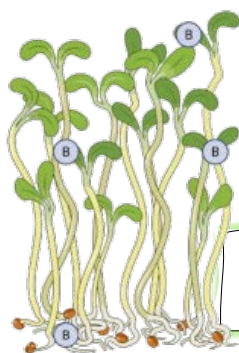
Estructura	Alfalfa
Boro (B)	Interviene en la formación de la pared celular y tejidos nuevos, promueve síntesis de Uracilo, mejora la traslocación de azúcares, promueve enzima nitrogenasa y nitrato reductasa.
Nitrógeno (N)	Contribuye al crecimiento vegetativo y a la clorofila.
Calcio (Ca)	Mantiene la estructura de los tejidos.
Potasio (K)	Mantiene la firmeza y estructura celular.

La biofortificación busca incrementar la concentración de nutrientes en las partes comestibles de las plantas mediante técnicas como la fertilización ya sea edáfica o foliar.

Desarrollo

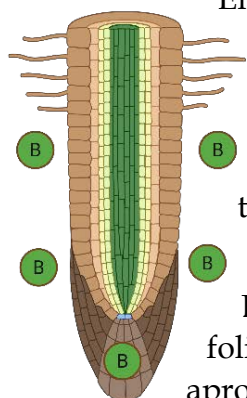
El papel del boro en las plantas de alfalfa

Vamos a comenzar mencionando que en el suelo el B puede presentarse como ácido bórico (H_3BO_3) o bien como tetrahidroxiborato $[B(OH)_4]^-$. En ambos casos el B se mueve hacia la raíz por flujo de masa y en menor medida por difusión. Una vez que llega a la raíz el B puede ingresar a la planta a través de la membrana plasmática o bien por medio de pequeñas puertas especializadas llamadas canales específicos y transportadores de borato.



El cultivo de alfalfa puede ser biofortificado con Boro

Al aplicarse de manera foliar el B inicialmente debe esquivar algunas barreras en la cutícula (como los tricomas o algunas ceras) y enseguida tomar las mismas rutas hacia el interior de la hoja.



El B mejora el desarrollo de los haces vasculares gracias a su asociación con las paredes celulares (donde incrementa la estructura y la permeabilidad). De igual manera este elemento se asocia con el metabolismo de los fenoles y la fijación de nitrógeno atmosférico (N_2). Así mismo durante la fase de floración el B permite la maduración del polen así como el crecimiento del tubo polínico. Otro papel crucial del B es el transporte y el uso de fotoasimilados (azúcares).

La alfalfa está clasificada como un cultivo muy exigente de B (el contenido foliar oscila entre 30 – 80 ppm) por lo que sus necesidades se encuentran aproximadamente en 0.45 kg de B/tonelada para un rendimiento aproximado de 15 toneladas/hectárea. Por ello es fundamental el adecuado contenido de B para promover la síntesis de proteínas y el transporte de azúcares.

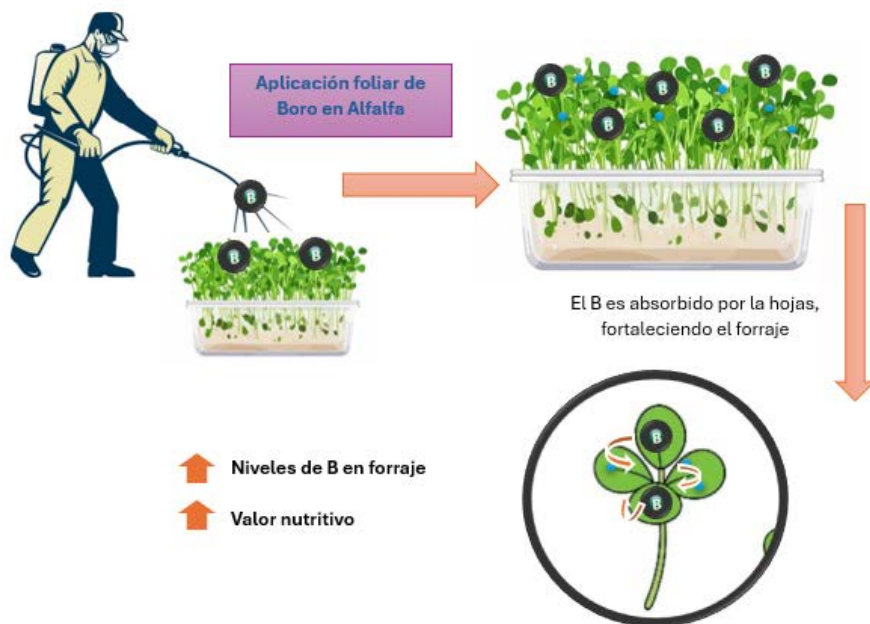
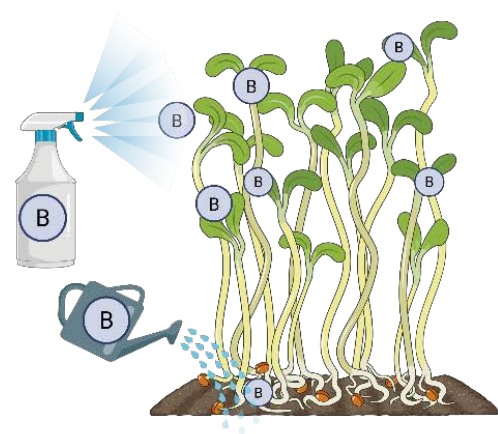


Figura 1. Aplicación foliar de boro en plantas de alfalfa como estrategia para biofortificación (Elaboración propia).

En ese sentido este elemento puede aplicarse al suelo o bien a través de aspersiones foliares (Figura 1), ya sea usando ácido bórico (H_3BO_3), tetraborato de sodio (bórax, $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$) o bien en forma de quelato.



La aplicación foliar permite un efecto más rápido pero temporal, ya que este elemento puede quedarse “atrapado” en las hojas de la planta lo que reduce su movilidad, por ello se sugiere realizar aplicaciones periódicas. Bajo este panorama se requiere determinar dosis, número y momentos de aplicación de B en alfalfa para lograr máximos beneficios.

Las aplicaciones de B ayudan a la mejora en la calidad del forraje; si el corte se realiza en alfalfa con deficiencia de B, las hojas suelen secarse rápidamente. Si hay pérdida de hojas la cantidad de proteínas en el forraje disminuye, al igual que su rendimiento.

Cabe señalar que el ambiente hídrico de las plantas condiciona fuertemente la movilidad del B a través de la planta. En regiones áridas, donde comúnmente se desarrolla el cultivo de alfalfa, los problemas hídricos y la deficiencia de B son altamente probables.

Cuando se presenta una deficiencia de B las plantas muestran ondulaciones en la parte central de las hojas así como una decoloración en la parte superior de las hojas con tonos amarillentos, rojizos o dorados. Mientras que la toxicidad se observa con quemaduras en los bordes (Figura 2).

El Boro beneficia el metabolismo tanto de la planta como de la cabra.

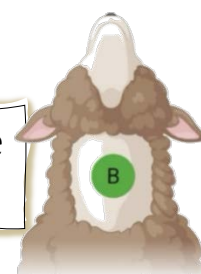


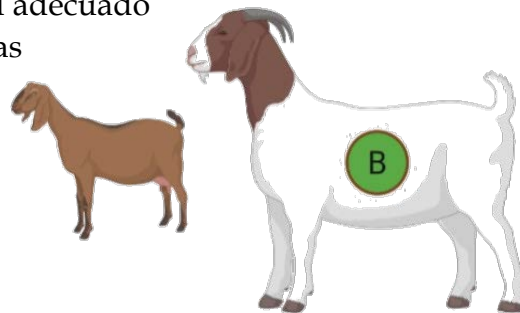
Figura 2. Síntomas de toxicidad por boro en plantas de alfalfa (Fotografía por: Gonzalez-Hidalgo).



El papel del boro en la cabra

El B tiene doble relevancia ya que interviene tanto en el desarrollo de la planta como en la producción de leche. En la cabra el B actúa como micronutriente para el beneficio del metabolismo, además de que contribuye a la mejora de la fertilidad y función testicular. Así mismo el B se asocia con la formación ósea, respuestas inmunitarias, regulación del metabolismo mineral, reducción del estrés oxidativo y fortalecimiento del sistema de defensa antioxidante. Así el adecuado aporte de B además de promover el bienestar de las plantas puede aumentar la productividad animal.

La deficiencia de B en cabras se asocia a una baja ingesta de este nutriente en su dieta y se caracteriza por problemas óseos y bajo peso del animal.



La biofortificación
con Boro fortalece
el desarrollo la
planta

En contraste un exceso de B genera irritación intestinal que reduce el apetito del animal y como consecuencia hay pérdida de peso además de causar posible daño reproductivo.

Alfalfa enriquecida con boro y su impacto en la cabra: el match.

Varios estudios demuestran que las dietas ricas en B pueden mejorar el contenido de calcio en el suero de corderos, cabras, ovejas y vacas además de impactar las hormonas (incrementando estradiol, progesterona y testosterona), mejoran el crecimiento de tejidos lisos, optimiza la cicatrización de heridas y sorprendentemente mejora inmunidad, flora intestinal y calidad del semen en animales. Estas respuestas se deben a que el B al formar complejos de éster y azúcares estabiliza la síntesis de adenosina fosfato y adenosilmetionina. De igual manera el B puede promover la concentración de ácidos (acético, butírico, isobutírico y propiónico) así como ácidos grasos totales de cadena corta, estas respuestas mejoran la producción y, potencialmente, la calidad de leche de cabra.



Figura 3. Plantas de alfalfa biofortificada con boro y su impacto en la producción de leche de cabra.

Retos para la juventud

Adoptar alfalfa biofortificada como parte de la dieta de las cabras puede ofrecer una leche de alta calidad; sin embargo, existen dificultades como las alteraciones microclimáticas y la falta de agua que pueden llegar a limitar la puesta en marcha de esta estrategia. En ese sentido se requiere del sector juvenil para que actúe como un puente entre el sector agrícola y el sector académico, esta propuesta, además de permitir su inserción en el campo, logrará difundir el conocimiento.



Además este sector poblacional presenta mayor facilidad para aprender y emplear el uso de tecnologías novedosas y emergentes que pueden orientar el desarrollo de investigaciones enfocadas a la biofortificación de B en alfalfa y su impacto en el metabolismo de la cabra.

El consumo de alfalfa biofortificada con Boro puede mejorar la calidad de la leche de cabra.



Conclusión

La alfalfa biofortificada con B puede mejorar el rendimiento y calidad tanto del forraje como finalmente el de la leche producida. Pero es imperativo implementar futuros estudios encaminados sobre dosis óptimas y sostenibilidad agrícola que promueva un uso racional del B en el cultivo de alfalfa.

Literatura recomendada

Gress-Davila, M., & Pavón-Hernández, N.P. (2025). Agua de acuíferos usada para riego de forrajes en Ahumada, Chihuahua, México. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 13(25), 83-90.
<https://doi.org/10.29057/icbi.v13i25.12776>

Lestari, M.W., Pujiwati, I., Karyawati, A.S., & Demirkiran, A.R. (2026). Alternative growing media to increase growth performance and quality of Amaranthus, broccoli, watercress, alfalfa, mung bean, and pea shoot microgreens. *Journal of Ecological Engineering*, 27(3), 288-296.
<https://doi.org/10.12911/22998993/213649>

Moreira, A., Moraes, L.A., Filho, M.C.T., Delfim, J., & Romagnolli, S.R. (2025). Boron extractants, shoot dry weight yield, and nutritional status of alfalfa grown in different soil types. *Journal of Plant Nutrition*, 48(11), 1950-1961.
<https://doi.org/10.1080/01904167.2025.2461749>



Semblanzas de autores



Xileme Yaquin Gonzalez-Hidalgo

Estudiante de la carrera de Ingeniero en Alimentos en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.



Steffanny Sánchez-Portillo

Ingeniera Agroindustrial por la Universidad Popular del Cesar. Maestra en Ciencias en Tecnología de los Alimentos por la Universidad Autónoma de Coahuila. Doctorando en Ciencias en Agricultura Protegida en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Miembro activo del Grupo de investigación en ingeniería de producto y procesos agroindustriales – GIPA.1.



Sarahi del Carmen Rangel-Ortega

Ingeniera en Ciencia y Tecnología de Alimentos por la UAAAN. Maestra en Ciencias de los Alimentos por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Hermosillo, Sonora. Dra en Ciencias en Tecnología de los Alimentos por la Universidad Autónoma de Coahuila. Miembro del Cuerpo Académico Bioprocesos Agroalimentarios del Departamento de Ciencia y Tecnología de la UAAAN.



Fabián Pérez-Labrada

Profesor Investigador de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el Departamento de Botánica.



Portainjerto CM-334: Armadura genética para la producción comercial de chile manzano

Tabita Queren Pérez-Reyes^{1*}
Mario Pérez-Grajales²
Ma Teresa Martínez-Damián²

¹Investigadora de Cátedra del Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECyT).

²Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. México-Texcoco km 38.5, Chapingo, México.

*Autor para correspondencia: *tabita_queren@hotmail.com

El uso del portainjerto CM-334 representa una innovación genética sostenible y viable frente a la marchitez del chile ocasionada por *Phytophthora capsici*, al reducir la dependencia de fungicidas y así garantizar la productividad comercial de chile manzano. Esta estrategia aprovecha la múltiple resistencia del CM-334 para crear un "escudo invisible" que protege al chile manzano desde las raíces y abre la posibilidad de una agricultura más resiliente y amigable con el medio ambiente.

Introducción



Figura 1. Frutos del híbrido "Dali" de chile manzano injertado en CM-334.

El chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz y Pav.) es originario de los Andes de Bolivia y Perú, conocido comúnmente como "rocoto". Fue introducido a México a principios del siglo XX, donde se cultiva en las zonas con clima templado/frío de Michoacán, Puebla, Estado de México, Veracruz y en menor escala en Chiapas y Oaxaca. Su nombre común depende de la región: chile de cera, perón o canario.

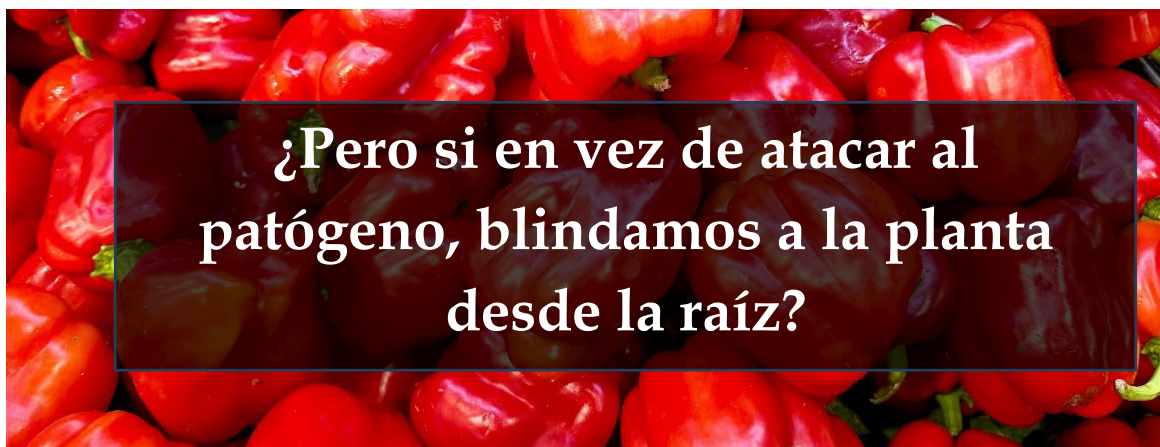
Es una planta perenne cuyos frutos, redondeados y de color amarillo (Figura 1) o rojo brillante, forman parte importante de la gastronomía mexicana debido a su picor que es dos veces más picante que el chile jalapeño, pero más moderado que el habanero.



En México, la producción de este cultivo ha experimentado un incremento significativo en los últimos cinco años, lo que ha fomentado el empleo local. Este auge responde a una demanda creciente, principalmente en el mercado estadounidense, por lo que se han implementado sistemas intensivos de producción, como crecimiento en invernadero, con riego por goteo, sistema de tutorado, poda de ramas y hojas, así como el control de plagas y enfermedades. No obstante, a pesar de estos avances tecnológicos y del incremento en la superficie cultivada, la producción comercial de esta especie de chile enfrenta un desafío fitopatológico devastador: *Phytophthora capsici*.



Este patógeno es capaz de permanecer oculto y dormido en el suelo, durante varios años, en espera de las condiciones adecuadas para despertar y atacar al cultivo en cualquier etapa, desde el semillero hasta la planta adulta y los frutos. Ante la poca o nula eficiencia de los fungicidas convencionales, que además comprometen la salud ambiental y humana, se plantea parar la guerra química contra el patógeno, y en su lugar, fortalecer el sistema radicular, dando al chile manzano raíces capaces de resistir y prosperar. Para lograrlo, primero debemos entender el entorno donde ocurre esta interacción.

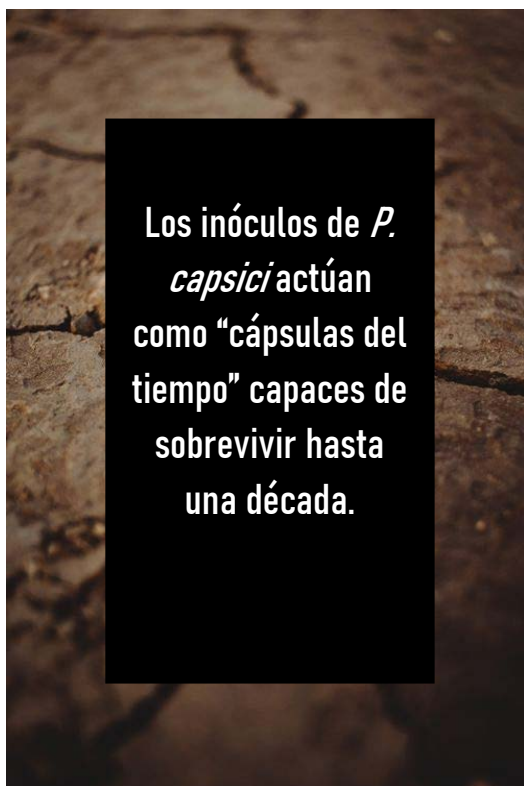


**¿Pero si en vez de atacar al
patógeno, blindamos a la planta
desde la raíz?**



El suelo: ¿Cuna o tumba de la productividad?

El suelo no es solo un soporte físico o tierra que rodea las raíces: es una rizosfera, zona estrecha de suelo que rodea a las raíces, rica en nutrientes minerales y



densamente poblada por diversos microorganismos “cuna nutritiva”. Sin embargo, cuando es colonizada por oosporas, cápsulas del tiempo de *P. capsici*, se transforma en una tumba biológica para cultivos susceptibles como los del género *Capsicum* y la familia Solanácea (tomate, berenjena) y cucurbitáceas (calabacita, pepino, melón y sandía).

El reto radica en la naturaleza del agresor: aunque se comporta como un hongo, en realidad es un oomiceto o “moho acuático”. Esta diferencia en su “árbol genealógico” lo cambia todo, a diferencia de los hongos verdaderos, su cubierta exterior está compuesta por celulosa y no por quitina, lo que lo hace inmune a los fungicidas convencionales.

Adicionalmente, su doble modo de reproducción, asexual y sexual, lo convierte en un verdadero “super-patógeno” difícil de controlar, dado que es una perfecta combinación entre la supervivencia a largo plazo y una rápida velocidad de reproducción. Por un lado, las estructuras resistentes permanecen en el suelo y actúan como “cápsulas del tiempo”, capaces de sobrevivir en el suelo hasta una década en condiciones climáticas extremas e incluso sin hospedero. Por otro lado, las estructuras móviles y hábiles se diseminan fácilmente a través del agua de lluvia o de riego, generando una epidemia silenciosa capaz de colonizar todo el terreno a partir de una pequeña área infectada.

Una vez que estas estructuras entran en contacto con las raíces, penetran sus tejidos y provocan marchitez en la planta. A partir de ahí aparecen síntomas como amarillamiento de las hojas, pudrición de la raíz, manchas oscuras y secas en el tallo, hojas y frutos.





Esto puede provocar muerte prematura de la planta por marchitamiento y el daño suele terminar en la pérdida total del cultivo (Figura 2). La gravedad de la enfermedad depende del estado de madurez de la planta, pues las plantas adultas generalmente son más resistentes que las plántulas o que los frutos jóvenes.

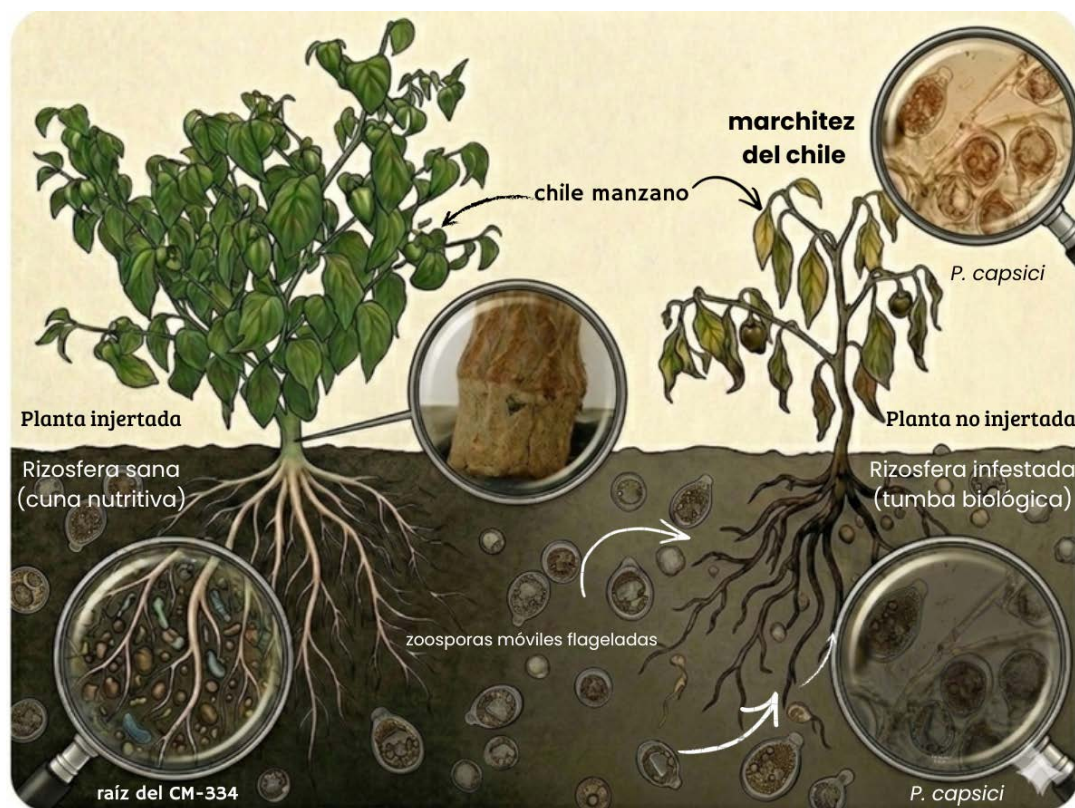


Figura 2. El portainjerto CM-334 como escudo protector del chile manzano contra la marchitez ocasionada por *P. capsici*. Diagrama generado con herramientas de IA a partir de fotografías originales e inéditas.

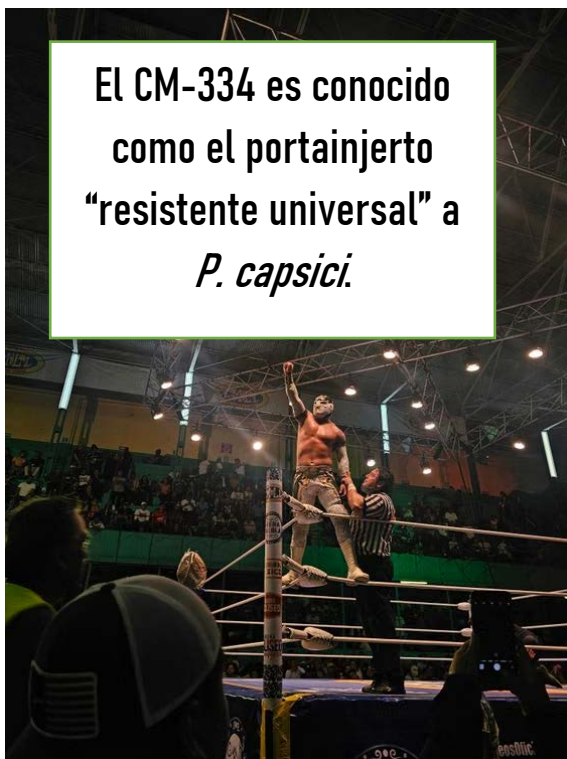
CM-334: el guardián de la biodiversidad

En medio de esta batalla invisible contra el patógeno, aparece un aliado inesperado: el chile serrano criollo de Morelos, conocido como CM-334 (*Capsicum annuum* L.). Este tesoro de nuestra biodiversidad funciona como un auténtico guardián genético, capaz de proteger al chile manzano y darle raíces más fuertes. El CM-334 es reconocido como “resistente universal” frente a *P. capsici*, ya que mantiene su integridad fisiológica y capacidad productiva sin importar que tan agresiva sea la cepa, el estado fenológico de la planta o las condiciones ambientales.



Esta resistencia está dada por muchos genes y se consolidó tras una prolongada coevolución entre la planta y el patógeno en su centro de origen (Morelos, México), donde ambos conviven sin que la planta sea extinguida o el patógeno erradicado. Los mecanismos asociados con la resistencia del CM-334 implican una barrera física que impide el avance del patógeno, pero también, hay una fuerte defensa química basada en el incremento de enzimas y otros compuestos con propiedades antimicrobianas.

**El CM-334 es conocido
como el portainjerto
“resistente universal” a
P. capsici.**



Sin embargo, aunque la resistencia del CM-334 es dominante, al cruzarlos, se pierden las características de rendimiento y calidad del fruto comercial. Por ello, pese a su uso en programas de mejoramiento genético, no se han generado cultivares comerciales de chile con resistencia al patógeno, lo que plantea la búsqueda de otra alternativa agrícola.

El injerto: Un escudo invisible y productivo

La técnica del injerto es común en

frutales, pero innovadora en hortalizas como el chile manzano. La cual consiste en el corte y unión del tallo herbáceo del chile manzano y el portainjerto CM-334 mediante injerto tipo empalme con pinzas de silicón (Figura 3).

Cabe mencionar que, aunque ambos chiles son de diferente especie, bajo condiciones controladas de 90 % de humedad relativa y 24 °C de temperatura, se alcanzó un prendimiento superior al 92 %. La sincronía entre los tejidos que transportan agua y nutrientes permiten el desarrollo de plantas adultas vigorosas.



Figura 3. Híbrido “Dali” de chile manzano injertado sobre el portainjerto CM-334.



Los resultados son contundentes: las plantas de chile manzano injertadas sobrevivieron en un suelo infectado por *P. capsici*, mientras que las no injertadas murieron en pocas semanas (Figura 4). El CM-334 actuó como escudo protector, lo que impidió la invasión del patógeno. La técnica del injerto no busca exterminar al enemigo, sino pactar una tregua evolutiva gracias a las cualidades de resistencia del portainjerto. Así, el suelo deja de ser una tumba biológica y se convierte nuevamente en un espacio de coexistencia favorable para la planta y el patógeno.



Figura 4. A la derecha: Híbrido “Dali” de chile manzano injertado sobre CM-334 (completamente sana) mientras que a izquierda se encuentran plantas del mismo híbrido no injertado (enfermas), con síntomas de marchitamiento vascular y necrosis foliar.

Sostenibilidad: Más allá de la resistencia

No se trata únicamente de generar plantas que sobrevivan en tierras contaminadas con *P. capsici*, sino de impulsar alternativas amigables con el medio ambiente y con la salud humana, al reducir el uso excesivo de fungicidas que, a través del tiempo, generan cepas resistentes.

Las plantas injertadas de chile manzano tienen mayor longevidad, ya que producen durante al menos 5 años, a diferencia de las plantas no injertadas que en ocasiones no alcanzan a generar un primer flujo de producción en el primer año de cultivo.



Bajo esta perspectiva, la técnica del injerto permite aprovechar el potencial perenne de este cultivo, esto implica reducción de gastos por resiembra y el empleo de fungicidas, lo que brinda seguridad a largo plazo a los productores. En este sentido, el injerto no solo representa una estrategia de resistencia, sino también una vía hacia sistemas agrícolas más resilientes, sostenibles y capaces de equilibrar productividad con cuidado ambiental.

Conclusiones

El suelo es un organismo vivo que se debe cuidar. Esto no significa eliminar a los enemigos, sino contar con herramientas que permitan resistir y convivir con ellos.

El uso de técnicas de manejo agronómico como el injerto sobre el portainjerto CM-334 ha demostrado que, con el conocimiento de la genética y la fitopatología, es posible enfrentar a los patógenos del suelo sin destruir la rizosfera.

El empleo de variedades criollas como portainjertos (CM-334) permite producir chile manzano. Esto no solo representa una victoria fitopatológica, sino también un acto de rescate de nuestra biodiversidad aplicada a la agricultura moderna. El injerto de chile manzano en el CM-334, se perfila como una alternativa viable y sustentable para los productores, principalmente aquellos que cultivan en suelos infestados con *P. capsici*.



Literatura recomendada



Pérez-Grajales, M., Pérez-Reyes, T. Q., Cruz-Álvarez, O., Castro-Brindis, R., & Martínez-Damián, M. T. (2021). Compatibilidad del portainjerto CM-334 y su respuesta sobre el rendimiento, calidad fisicoquímica y contenido de capsaicinoides en frutos de *Capsicum pubescens*. *Información Técnica Económica Agraria*, 117(4).
<https://doi.org/10.12706/itea.2021.003>

Pérez-Reyes, Tabita Queren, Leyva-Mir, Santos Gerardo, Pérez-Grajales, Mario, Martínez-Damián, María Teresa, & Castro-Brindis, Rogelio. (2025). Resistencia a *Phytophthora capsici* de chile manzano injertado en CM-334, cultivado en suelo infestado, con aplicaciones de auxinas y *Trichoderma Harzianum*. *Revista mexicana de fitopatología*, 43(2), RMEXFIT24085. Epub 29 de julio de 2025.
<https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2408-5>

Xingú-López, A., Espinoza-Gutierrez, D., Miranda-Gómez, J. M., Cruz-Gutierrez, J., & Pérez-González, C. K. (2025). *Capsicum pubescens* situación actual y tendencias futuras en el Estado de México. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 13, 115-121.
<https://doi.org/10.29057/icbi.v13iEspecial2.14636>

Semblanzas de autores

Tabita Queren Pérez-Reyes. Doctora en Ciencias en Horticultura por la Universidad Autónoma Chapingo. Investigadora de cátedra (estancia posdoctoral) del Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECyT) adscrita a la Universidad Autónoma Chapingo.

Mario Pérez-Grajales. Doctor en Ciencias en Genética por el Colegio de Posgraduados. Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma Chapingo, miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNII), nivel I.

Ma Teresa Martínez-Damián. Doctora en Fisiología vegetal por el Colegio de Posgraduados de Ciencias Agrícolas. Profesora-Investigadora de la Universidad Autónoma Chapingo, miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNII), nivel I.





El frijol criollo como patrimonio natural y cultural de los pueblos originarios

Orlanda Tanahiri García-González
Marisela Calderón-Jurado
Oscar Cruz-Álvarez
Oscar Sariñana-Aldaco
Dámaris Leopoldina Ojeda-Barrios*

Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas,
31350, México.

*Autor de correspondencia: dojeda@uach.mx.



El frijol criollo cultivado en la Sierra Tarahumara representa un patrimonio biológico y cultural de gran importancia para las comunidades rarámuri. Además de constituir un alimento fundamental en la dieta tradicional, conserva una amplia diversidad genética que le permite adaptarse a condiciones ambientales adversas. Su cultivo dentro del sistema milpa ha contribuido durante generaciones a la conservación de la biodiversidad, la seguridad alimentaria y la transmisión de conocimientos ancestrales. Este artículo destaca la relevancia del frijol criollo, su relación con la cultura de los pueblos originarios y los retos que enfrenta para su conservación ante los cambios ambientales y sociales actuales.

Introducción

En las montañas de la Sierra Tarahumara, el frijol criollo ha acompañado durante siglos la vida de las comunidades rarámuri (Figura 1). Más que un simple cultivo, estas semillas representan una herencia transmitida de generación en generación, resultado de la estrecha relación entre los pueblos originarios y su entorno natural. Gracias a la selección y conservación realizadas por los agricultores a lo largo de generaciones, el frijol criollo presenta una amplia diversidad genética, reflejada en su adaptación a distintas condiciones ambientales, así como en la variedad de colores, tamaños y usos culinarios. Además de su importancia cultural, el frijol constituye una fuente fundamental de alimento por su aporte de proteínas, fibra, vitaminas y minerales esenciales para la salud humana. Sin embargo, este valioso patrimonio enfrenta actualmente diversos desafíos. El cambio climático, la pérdida de biodiversidad agrícola, la migración de las nuevas generaciones y la sustitución de variedades tradicionales por materiales comerciales amenazan la conservación de muchas semillas nativas.



En este contexto, reconocer la importancia del frijol criollo no solo permite valorar el conocimiento ancestral de las comunidades indígenas, sino también comprender su potencial para contribuir a la seguridad alimentaria, la conservación de los recursos genéticos y el desarrollo de sistemas agrícolas más sustentables. Por ello, resulta fundamental difundir su relevancia biológica, nutricional y cultural, así como las acciones que pueden favorecer su preservación para las futuras generaciones.



Figura 1. Frijol criollo: patrimonio agrícola de la Sierra Tarahumara. Fuente: Imagen generada mediante inteligencia artificial con fines ilustrativos (2026).

El frijol criollo: una herencia de miles de años.

El frijol es una de las especies agrícolas más importantes originarias del continente americano. Diversas investigaciones arqueológicas y genéticas han demostrado que México desempeñó un papel fundamental en la domesticación y diversificación de varias especies del género *Phaseolus*. Desde tiempos prehispánicos, el frijol ha acompañado a las sociedades mesoamericanas, convirtiéndose en uno de los pilares de su alimentación y desarrollo cultural.

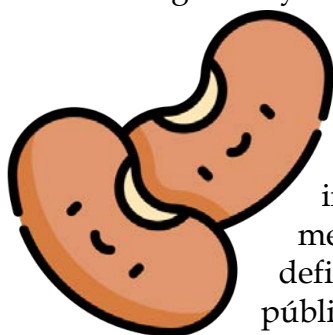
A diferencia de las variedades comerciales modernas, los frijoles criollos han sido conservados por los agricultores mediante la selección tradicional de semillas. Este proceso ha permitido la aparición de una extraordinaria diversidad de colores, tamaños, formas y características agronómicas. Existen frijoles negros, amarillos, rojos, pintos, blancos, morados y moteados, cada uno con atributos particulares que responden a las preferencias culturales y a las condiciones ambientales de las regiones donde se cultivan. Esta diversidad genética constituye una reserva invaluable para enfrentar los desafíos agrícolas del futuro. Muchas variedades criollas poseen tolerancia a sequías, bajas temperaturas, enfermedades o condiciones de baja fertilidad del suelo, características que podrían resultar esenciales ante los efectos del cambio climático.



El valor nutricional del frijol

Además de su importancia cultural, el frijol es considerado uno de los alimentos más completos dentro de la dieta tradicional mexicana. Su alto contenido de proteínas vegetales lo convierte en una alternativa accesible para complementar la alimentación de millones de personas. El frijol también aporta carbohidratos complejos, fibra dietética, vitaminas y minerales esenciales para el funcionamiento del organismo. Entre estos minerales destacan el hierro y el zinc, micronutrientes fundamentales para el crecimiento, el desarrollo cognitivo y el fortalecimiento del sistema inmunológico.

El frijol es uno de los alimentos más completos de la dieta tradicional mexicana por su aporte de proteínas, fibra y micronutrientes esenciales.



Asimismo, contiene compuestos bioactivos como polifenoles, flavonoides y antioxidantes naturales que han sido asociados con la prevención de enfermedades cardiovasculares, diabetes y algunos tipos de cáncer. Por esta razón, organismos nacionales e internacionales consideran al frijol como un alimento estratégico para mejorar la calidad nutricional de la población. Sin embargo, la deficiencia de hierro y zinc continúa siendo un problema de salud pública en diversas regiones del mundo (Figura 2). Por ello, actualmente existen investigaciones orientadas a incrementar la concentración de estos micronutrientes en el grano mediante estrategias de biofortificación genética y agronómica.

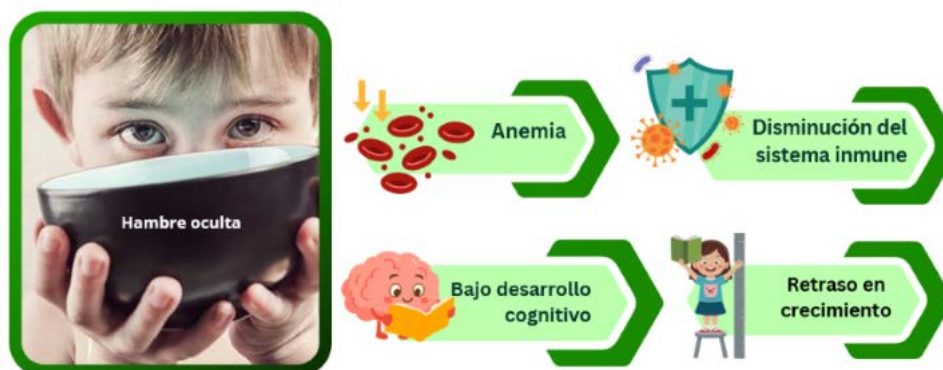


Figura 2. Efectos del hambre oculta en el desarrollo y la salud. Fuente: Elaboración propia (2026).



La milpa: un ejemplo de agricultura sustentable

En numerosas comunidades rurales de México, el frijol continúa cultivándose dentro del sistema tradicional de milpa (Figura 3). Este sistema agrícola, desarrollado por los pueblos mesoamericanos hace miles de años, integra diferentes especies vegetales que interactúan de manera complementaria. Las especies más representativas de la milpa son el maíz, el frijol y la calabaza. El maíz proporciona soporte físico para el crecimiento del frijol, mientras que este último contribuye a enriquecer el suelo mediante la fijación biológica de nitrógeno. Por su parte, la calabaza ayuda a proteger el suelo de la erosión y favorece la conservación de humedad. La milpa también promueve una mayor diversidad biológica al generar hábitats para insectos benéficos, microorganismos y otras especies que participan en el equilibrio ecológico del agroecosistema. Esta diversidad puede contribuir al control natural de plagas y enfermedades, reduciendo la dependencia de insumos externos. Más allá de sus beneficios productivos, la milpa representa un espacio donde se transmiten conocimientos tradicionales relacionados con la agricultura, la alimentación y el manejo de los recursos naturales. Por ello, es considerada un importante patrimonio biocultural de México.



Figura 3. La milpa: un sistema agrícola tradicional.

Fuente: Elaboración propia (2026).

Guachochi y la Sierra Tarahumara: un reservorio de diversidad

La Sierra Tarahumara, ubicada en el estado de Chihuahua, constituye una de las regiones con mayor riqueza biológica y cultural del país. Dentro de esta región destaca el municipio de Guachochi, caracterizado por sus paisajes montañosos, bosques de pino y encino, barrancas profundas y una notable diversidad de ecosistemas. En esta zona habitan comunidades rarámuri que han mantenido prácticas agrícolas tradicionales durante generaciones. La agricultura de temporal continúa siendo una de las principales actividades productivas, destacando cultivos como maíz, frijol, papa, manzana y durazno.



Las variedades criollas de frijol cultivadas en Guachochi presentan características únicas derivadas de largos procesos de adaptación a condiciones ambientales complejas.

El frijol criollo de la Sierra Tarahumara es un patrimonio biológico y cultural que ha sido conservado por generaciones de comunidades rarámuri.

Estas variedades son capaces de desarrollarse en ambientes donde otros materiales comerciales podrían presentar limitaciones productivas. No obstante, las comunidades rurales enfrentan diversos desafíos relacionados con la pobreza, el acceso limitado a servicios básicos, la migración de jóvenes hacia centros urbanos y la disminución progresiva del relevo generacional en las actividades agrícolas. Estos factores representan amenazas para la conservación de las semillas criollas y del conocimiento tradicional asociado a su manejo.

Conservación, investigación y oportunidades para el futuro

La conservación del frijol criollo requiere acciones coordinadas entre productores, instituciones académicas, organismos gubernamentales y sociedad en general. Una de las estrategias más importantes consiste en fortalecer la conservación *in situ*, es decir, aquella que ocurre directamente en los campos de cultivo donde las variedades continúan evolucionando bajo las condiciones ambientales locales. Paralelamente, los bancos de germoplasma desempeñan un papel fundamental en la conservación *ex situ* de los recursos genéticos. Estas colecciones permiten resguardar semillas para futuras investigaciones y programas de mejoramiento.

En años recientes también ha aumentado el interés por desarrollar estrategias de biofortificación que permitan incrementar la concentración de hierro y zinc en el grano (Figura 4). Estas investigaciones buscan aprovechar la diversidad genética existente para generar materiales con mayor valor nutricional sin perder las características de adaptación que distinguen a las variedades criollas. Asimismo, resulta necesario documentar y valorar los conocimientos tradicionales de las comunidades indígenas, pues representan una fuente invaluable de información sobre selección de semillas, manejo de cultivos y conservación de la biodiversidad agrícola. La participación de estudiantes, investigadores y jóvenes productores puede contribuir significativamente a la preservación de este patrimonio mediante actividades de investigación, educación ambiental, intercambio de semillas y difusión del conocimiento local.



Figura 4. Enfoques principales de la biofortificación.
Fuente: Elaboración propia (2026).

Conclusiones

El frijol criollo de la Sierra Tarahumara constituye mucho más que un cultivo agrícola. Es el resultado de siglos de interacción entre las comunidades humanas y su entorno natural, reflejando conocimientos, tradiciones y formas de vida que continúan vigentes en numerosos pueblos originarios.

Su diversidad genética representa una herramienta fundamental para enfrentar los retos asociados al cambio climático, mientras que su valor nutricional lo convierte en un aliado importante para la seguridad alimentaria. Conservar estas semillas significa proteger una parte esencial de la biodiversidad agrícola de México y reconocer el papel histórico de las comunidades que las han preservado generación tras generación.

La conservación del frijol criollo requiere el esfuerzo conjunto de productores, investigadores, instituciones educativas y sociedad en general. Acciones como el intercambio de semillas nativas, la promoción de sistemas agrícolas sustentables, la investigación participativa y la difusión de la cultura alimentaria pueden contribuir a garantizar que este legado continúe formando parte de las futuras generaciones. Proteger el frijol criollo es también proteger la historia, la identidad y el patrimonio biocultural de los pueblos originarios de México.



Literatura recomendada

- CONEVAL. 2022. Informe de pobreza y evaluación 2022. Estado de Chihuahua. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. Ciudad de México. Recuperado de:
https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Documents/Informes_de_pobreza_y_evaluacion_2020_Documentos/Informe_Chihuahua_2020.pdf
- Leyva-Trinidad, D. A., Pérez-Vázquez, A., Bezerra da Costa, I., & Formighieri Giordani, R. C. (2020). El papel de la milpa en la seguridad alimentaria y nutricional en hogares de Ocotil Texizapan, Veracruz, México. *Polibotánica*, (50), 279-299. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.50.16>
- Suárez-Martínez, S. E., Ferriz-Martínez, R. A., Campos-Vega, R., Elton-Puente, J. E., de la Torre Carbot, K., & García-Gasca, T. (2016). Bean seeds: leading nutraceutical source for human health. *CyTA-Journal of Food*, 14(1), 131-137. <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1063548>



Semblanza de autores

Orlanda Tanahiri García-González. Maestra en Ciencias Hortofrutícolas por la Universidad Autónoma de Chihuahua, donde actualmente realiza estudios de doctorado en la misma disciplina. Cuenta con experiencia profesional en investigación aplicada y desarrollo de soluciones agrícolas, adquirida durante su trayectoria en Innovak Global. Es autora de publicaciones científicas y de divulgación, y ha participado activamente en seminarios y congresos nacionales.

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.

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.

Oscar Sariñana-Aldaco. Profesor Investigador en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Pertenecer al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores nivel 1. Su línea de investigación se centra en la ecofisiología y nutrición vegetal, con el uso de selenio, yodo, cobalto, extractos de algas y fitohormonas.

Dámaris Leopoldina Ojeda-Barrios. Maestra Investigadora de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Es Ing. Fruticultor, M en C en Suelos y D. en C. en Horticultura. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNII), nivel II, presidenta de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Editor en jefe de la Revista Voces del Suelo, Agricultura y Medio Ambiente de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Editor asociado de Terra Latinoamérica.





Ácidos húmicos y fúlvicos:

ALIADOS DEL SUELO

¿Sabías que?

Las sustancias húmicas son la fracción más estable de la materia orgánica del suelo.



:Fuentes:



Compost



Leonardita



Vermicompost



Turba

Ácidos húmicos

- Alto peso molecular
- Insolubles en medio ácido ($\text{pH} < 2$)
- Alta capacidad de intercambio catiónico (CIC)
- Mayor estabilidad y persistencia en el suelo

Aumento de microorganismos y materia orgánica

Carbono recalcitrante

Los ácidos húmicos y fúlvicos aportan carbono recalcitrante, una forma estable de carbono que permanece por largos periodos en el suelo.



Efectos en el sistema suelo-planta

Crecimiento radicular

Ácidos fúlvicos

- Bajo peso molecular
- Solubles en todo el rango de pH
- Alta movilidad en el suelo y la planta
- Mayor actividad fisiológica

Disponibilidad de nutrientes

Darahani Violeta Díaz García
Universidad Autónoma de Chihuahua



Ácidos húmicos y fúlvicos: aliados del suelo

Darahani Violeta Díaz García*

Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua.

*Autor para correspondencia: p348214@uach.mx

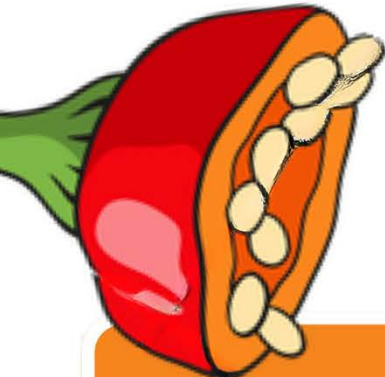
Literatura recomendada

- Stoeff Belkenoff, I. (2022). *Estudio de la influencia de la aplicación de enmiendas orgánicas en la degradación de plaguicidas en suelos hortícolas como estrategia para su recuperación* (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Exactas).
- Colina Navarrete, E., Flores Leturne, H., Castro Arteaga, C., Vera Suarez, M., & García Sánchez, Álvaro. (2022). Influencia de hongos micorrízicos más ácidos húmicos en la producción de maíz duro (*Zea mays* L.) en Babahoyo. *Journal of Science and Research*, 7(2), 13–34. Recuperado a partir de <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/2884>
- Nina, S. S., Hernández, R. D. Z., & López, L. A. A. (2021). Comparación del carbono orgánico proveniente de los ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y el grado de humificación en cinco órdenes de suelos. *Peruvian Journal of Agronomy*, 5(1), 25-34.

Semblanzas de autores



Darahani Violeta Díaz García. Ingeniera Agrónoma Fitotecnista egresada de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Durante su formación profesional, realizó prácticas profesionales en el Centro de Investigación, Alimentación y Desarrollo (CIAD). Unidad Delicias, Chihuahua. En donde participó en proyectos de investigación del área de fisiología y nutrición vegetal. Actualmente, es estudiante de Maestría en Ciencias Hortofrutícolas, de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

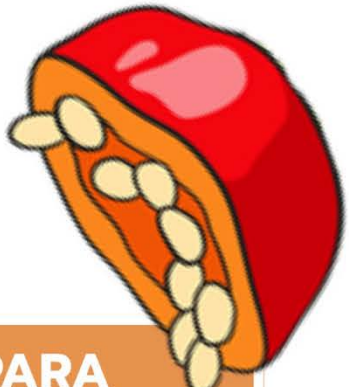


EL

CHILTEPÍN:

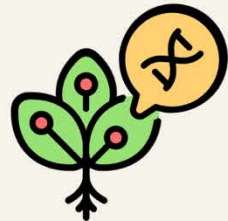
Un recurso valioso que necesita conservación

Brenda I. Guerrero
Evelyn Berenice Sánchez Chávez



¿POR QUÉ CONSERVARLO?

Potencial para mejoramiento genético



Resistente a sequía

Uso tradicional medicinal



Mantiene biodiversidad

Alto valor económico



AMENAZAS ACTUALES

Fragmentación de su hábitat natural



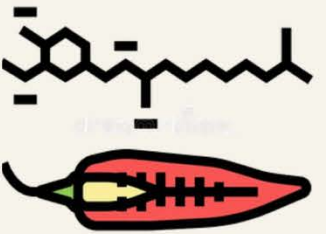
Pérdida de diversidad genética
Baja germinación



Difícil domesticación
Información limitada
Sobrecolecta

COMPUESTOS BIOACTIVOS

Alto contenido de capsaicinoides



Presencia de compuestos fenólicos
Potencial antimicrobiano



Actividad antioxidante

CLAVES PARA CONSERVAR SU BIODIVERSIDAD

Promover sistemas agroforestales y manejo sustentable

Evitar la sobreexplotación de poblaciones silvestres

Conservar semillas en bancos de germoplasma

Impulsar cultivo y la conservación dinámica





El chiltepín: Un recurso valioso que necesita conservación

Evelyn Berenice Sánchez Chávez
Brenda I. Guerrero Camacho*

Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua.

*Autor para correspondencia: brguerrero@uach.mx

Literatura recomendada

- Comisión Nacional Forestal. (2009). Técnicas para el establecimiento y producción de chiltepín silvestre, bajo un sistema agroforestal en Sonora, México: *Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser & Pickersgill. Comisión Nacional Forestal, Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Sánchez Chávez, E. B. (2025). *Streptomyces* sp. como modulador del crecimiento temprano en dos accesiones no domesticadas de chiltepín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas].
- Secretaría de Bienestar. (2021). Implementación de chile chiltepín en sistemas agroforestales en el estado de Chihuahua. Programa Sembrando Vida

Semblanzas de autores

Evelyn Berenice Sánchez Chávez. Es Ingeniera Horticultora egresada de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Ha participado en actividades de investigación relacionadas con agricultura sostenible y microorganismos benéficos.

Brenda I. Guerrero. Química Bacterióloga Parasitóloga y Maestra en Ciencias por la Universidad Autónoma de Chihuahua, Doctora en Ciencias Agrarias y del Medio Natural por la Universidad de Zaragoza, España, especializada en biología reproductiva de especies vegetales con énfasis en frutales de zona templada. Actualmente es Investigadora Posdoctoral (SECIHTI) comisionada a la Universidad Autónoma de Chihuahua, es miembro candidata del SNII con experiencia en proyectos internacionales sobre adaptación climática, polinización y caracterización de la diversidad genética de frutales.





De residuo porcino a ornamental: lombricomposta como bioinsumo

¿Qué son los residuos porcinos?

Son un subproducto (bioinsumo) generado en la producción porcina compuesta por:

- Estiércol
- Orina
- Resto de alimento

Con mal manejo el estiércol contamina el suelo, el agua y el aire.



Los bioinsumos son estables y seguros para su uso en plantas, ya que aportan macro y micronutrientes.



Lombricompostaje: ¿Cómo transformar residuos porcinos en abonos orgánicos?

Las lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*) convierten la materia orgánica en fertilizante natural.

Estabilización del residuo
(se realiza un pre-compostaje de 21 días)



Inoculación
(incorporación de la lombriz a la cama de pre-compostaje)



Adaptación/Ciclo de la lombriz
(las lombrices se adaptan, se reproducen y procesan el residuo en 90 días)



Después del ciclo se forma humus líquido y sólido



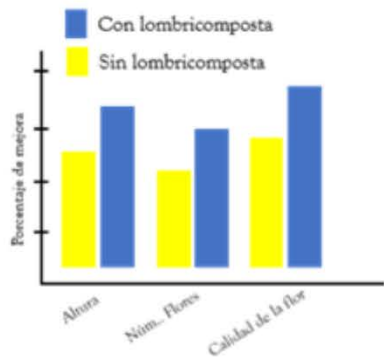
Lombricomposta

Convertir los residuos porcinos en fertilizantes orgánicos promueve una agricultura sostenible

Beneficios de la aplicación de bioinsumo en la gerbera:

La incorporación de entre 5 y 15% de lombricomposta al sustrato actúa como un fertilizante orgánico, favoreciendo:

- ✓ El incremento de la fertilidad y calidad del sustrato
- ✓ La activación y diversidad de la microbiota benéfica
- ✓ La estimulación del crecimiento y desarrollo vegetal
- ✓ Una mayor producción floral y flores más grandes
- ✓ El aumento de la vida de florero



Cultivo de gerbera en casa sombra, Saltillo, Coah.

Gabriel Alberto Barrios López* y Carmen Alicia Ayala Contreras



De residuo porcino a ornamental: lombricomposta como bioinsumo

Gabriel Alberto Barrios-López
Carmen Alicia Ayala-Contreras*

Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

*Autor para correspondencia: cayala710@gmail.com

Literatura recomendada

- Acosta-Durán, C.M., Bahena-Galindo, M.E., Chávez-García, J.A., Acosta-Peñaloza, D., & Solis-Reynoso, M.G. (2017). Sustrato de lombricomposta para el cultivo de Belén (*Impatiens walleriana* Hook. f.). *Revista Bio Ciencias*, 4(5):1-14.
- <https://doi.org/10.15741/revbio.04.05.04>
- Pérez, M.P., & López, K.H. (2022). Vermicompostaje: un camino a la sustentabilidad. *Rd-Icuap*, 70-82.
- <https://doi.org/10.32399/icuap.rdic.2448-5829.2022.24.987>
- Cruz Campos, J. M., Álvarez Suárez, J. M., Soria Fregoso, M. D. J., & Candelaria Martínez, B. (2016). Producción de sustratos orgánicos para ornamentales a menor costo que los importados. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(1), 44-49.

Semblanzas de autores

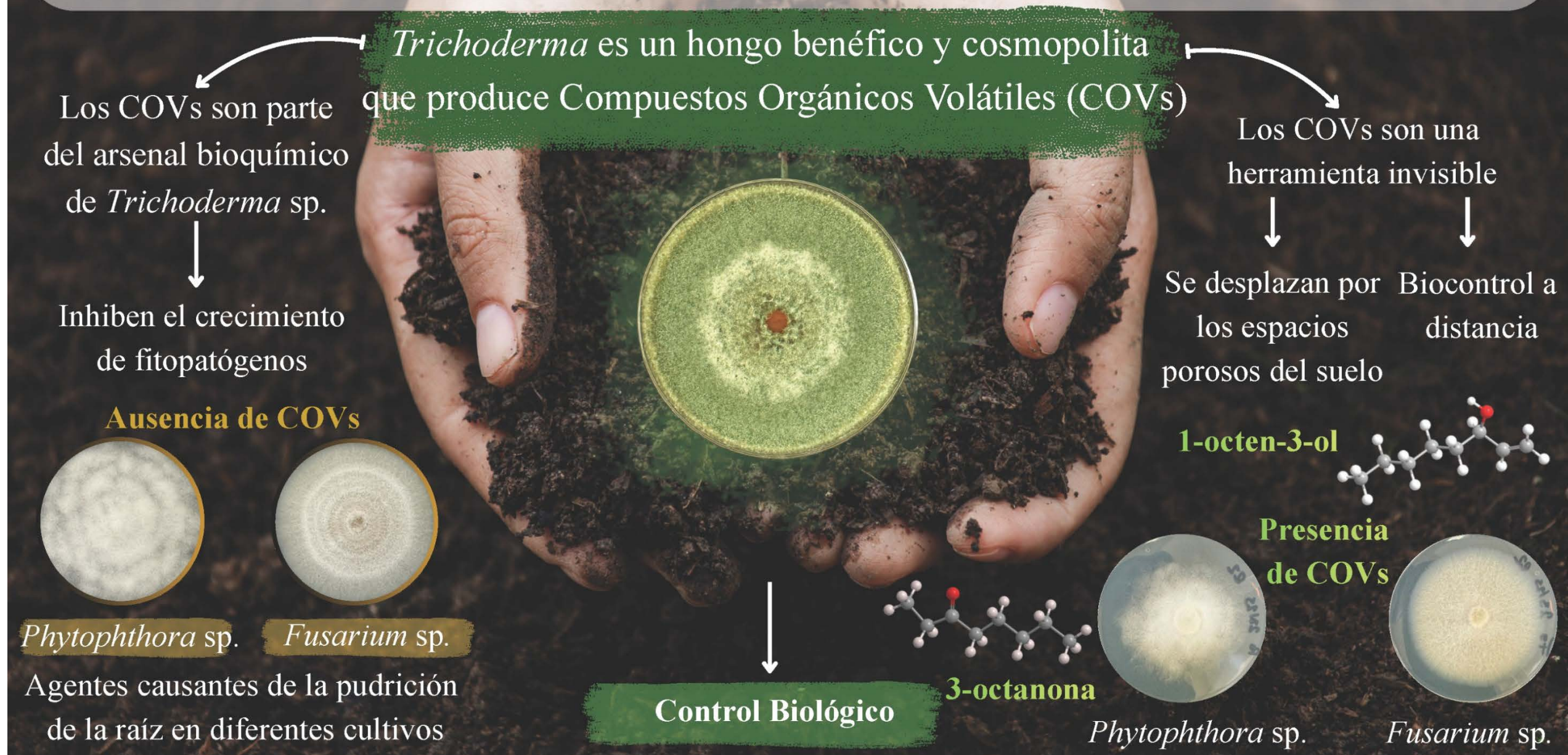
Gabriel Alberto Barrios López. Maestro en Ciencias en Horticultura. Actualmente estudiante de Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Investigación enfocada en la producción vegetal orgánica y el uso de bioinsumos, con interés en la mejora del crecimiento, calidad y fisiología de los cultivos.

Carmen Alicia Ayala Contreras. Doctora en Ciencias en Agricultura Protegida por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Trabajo enfocado en producción vegetal y fisiología de cultivos, con estudios en estrés abiótico y seguridad alimentaria mediante huertos urbanos.



Volátiles un lenguaje bioquímico en el suelo; *Trichoderma* sp. en el control de fitopatógenos

Edel Torres-Torres, Hilda Karina Sáenz-Hidalgo, Francisco Javier Molina-Corral,
Erika Sireni Rodríguez-Martínez, Sandra Mónica Alvarado-González





Volátiles, un lenguaje bioquímico en el suelo; *Trichoderma* sp. en el control de fitopatógenos

Edel Torres Torres^{1,2}
Hilda Karina Sáenz Hidalgo¹
Francisco Javier Molina Corral³
Erika Sireni Rodríguez Martínez¹
Sandra Mónica Alvarado González^{1*}

¹ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo Subsele Delicias, Chihuahua, Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)

² Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad Autónoma de Chihuahua

³ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo Subsele Cuauhtémoc, Chihuahua, Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)

*Autor para correspondencia: salvarado@ciad.mx

Literatura recomendada

- Asad, S. A. (2022). Mechanisms of action and biocontrol potential of *Trichoderma* against fungal plant diseases. *Ecological Complexity*, 49; 1-11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2021.100978>
- Pascoalino, L. A., Pires, T. C., Taofiq, O., Ferreira, I. C., Barros, L., & Reis, F. S. (2023). Biochemistry of secondary metabolism of fungi. In M. Carocho, S. A. Heleno, & L. Barros, *Natural secondary metabolites from nature. through science, to industry* (pp. 437-687). Cham: Springer.
- Rodríguez-Martínez, E. S., Rios-Velasco, C., Sepúlveda Ahumada, D. R., Buenrostro-Figueroa, J. J., Correia, K. C., Guigón-López, C., & Alvarado-González, M. (2025). *Trichoderma* Species from Semiarid Regions and Their Antagonism Against the Microorganisms That Cause Pepper Wilt. *Journal of Fungi*, 11(3):174. doi: <https://doi.org/10.3390/jof11030174>



Semblanzas de autores

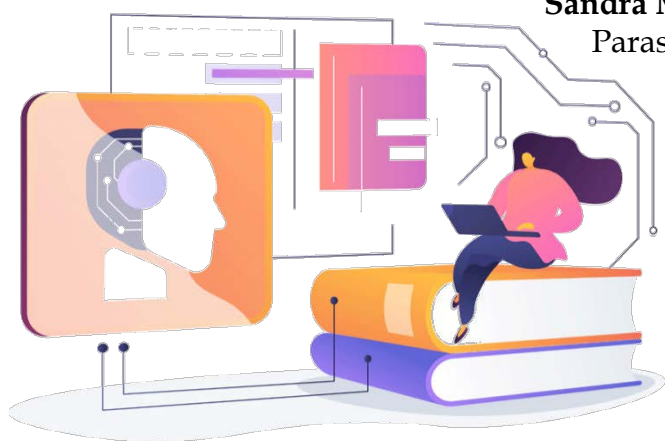
Edel Torres Torres. Ingeniero Agrónomo Fitotecnista egresado de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales (FCAyF), Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Profesor investigador en el área de microbiología agrícola, FCAyF. Estudiante de posgrado en la Maestría en Ciencias, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo.

Hilda Karina Sáenz Hidalgo. Doctora en Ciencias Hortofrutícolas egresada de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua, miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel 1. Técnico académico del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo en el Laboratorio de Microbiología y Biología Molecular. Desempeña actividades de investigación, docencia y vinculación.

Francisco Javier Molina Corral. Ingeniero Fruticultor por la Facultad de Fruticultura de la UACH. Maestría de Ciencias Químicas, UACH. Profesor investigador asociado del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, en el Laboratorio de Preservación y Procesamiento de Alimentos de Origen Vegetal.

Erika Sireni Rodríguez Martínez. Ingeniera Agrónoma Fitotecnista egresada de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la UACH, Maestra en Ciencias y actualmente estudiante de Doctorado en Ciencias en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Llevando a cabo investigación en agrobiotecnología sustentable basada en la aplicación de hongos como control biológico de fitopatógenos.

Sandra Mónica Alvarado González. Química Bacterióloga Parasitóloga y Maestría en Ciencias en Biotecnología en la UACH. Doctorado en Ciencias de Materiales con especialidad en Nanotecnología y Química Computacional, en el CIMAV. Titular en el Laboratorio de Microbiología y Biología Molecular del CIAD. Investigación en Agrobiotecnología Sustentable, Microbiología aplicada y Desarrollo de alimentos funcionales.





Biofortificación de Espinaca: Innovación con Nanotecnología para la Salud



Alan Alvarez-Monge, Ezequiel Muñoz-Márquez, Celia Chávez-Mendoza, Alexandro Guevara-Aguilar, Esteban Sánchez-Chávez*

El Desafío: la Crisis de Micronutrientes



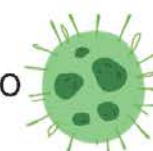
Deficiencia Global de Zinc (Zn)

El 46% de la población mundial (3.5 billones de personas) presenta ingestas inadecuadas.



El impacto en la salud humana

Estas carencias debilitan el sistema inmunológico y reducen la protección contra radicales libres.



Deficiencia Global de Selenio (Se)

El 38% de la población mundial (2.8 billones de personas) presenta ingestas inadecuadas.



Passarelli *et al.* (2024)

La Solución: Biofortificación con nanopartículas de Zn y Se

¿QUE ES LA BIOFORTIFICACIÓN?

Es una estrategia que aumenta el contenido de micronutrientes en los cultivos para mejorar su valor nutricional.

En este caso, se usan nanopartículas de **Selenio (Se)** y **Zinc (Zn)** aplicadas en plantas de espinaca.



APLICACIÓN FOLIAR

Reduce la pérdida de nutrientes y acelera la movilización mineral dentro de la planta.

VENTAJAS DE LAS NANOPARTICULAS

- ✓ Mayor absorción y eficacia en dosis bajas.
- ✓ Menos impacto ambiental al requerir menores cantidades.

Nanopartículas (0.1 - 100 nm)



Beneficio para la planta

- Se** Favorece al crecimiento y la tolerancia a condiciones adversas (estrés hídrico, salinidad, etc.).
- Zn** Favorece al desarrollo de hojas, raíz y a la síntesis de proteínas.



USO RESPONSABLE Y SEGURO

Aunque es una tecnología innovadora, su aplicación aún se encuentra en etapa de investigación. Es fundamental evaluar las dosis adecuadas, la seguridad para la salud y los posibles efectos ambientales a gran escala.

Beneficio para humanos

- Se** Mejora las defensas del cuerpo y ayuda a retrasar el envejecimiento celular.
- Zn** Clave para el crecimiento, cicatrización de heridas y la formación de proteínas.





Biofortificación de espinaca: Innovación con nanotecnología para la salud

Alan Álvarez Monge
Ezequiel Muñoz Márquez
Celia Chávez Mendoza
Alexandro Guevara Aguilar
Esteban Sánchez Chávez*

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHITI)

*Autor para correspondencia: esteban@ciad.mx

Literatura recomendada

- Passarelli, S., Free, C. M., Shepon, A., Beal, T., Batis, C., & Golden, C. D. (2024). Global estimation of dietary micronutrient inadequacies: a modelling analysis. *The Lancet Global Health*, 12(10), e1590-e1599.
- Golubkina, N. A., Folmanis, G. E., Tananaev, I. G., Krivenkov, L. V., Kosheleva, O. V., & Soldatenko, A. V. (2017). Comparative evaluation of spinach biofortification with selenium nanoparticles and ionic forms of the element. *Nanotechnologies in Russia*, 12, 569-576.
- López-Morales, D., De La Cruz-Lazaro, E., Sánchez-Chávez, E., Preciado-Rangel, P., Márquez-Quiroz, C., & Osorio-Osorio, R. (2020). Impact of agronomic biofortification with zinc on the nutrient content, bioactive compounds, and antioxidant capacity of cowpea bean (*Vigna unguiculata* L. Walpers). *Agronomy*, 10(10), 1460.

Semblanzas de autores

Alan Álvarez Monge. Ingeniero Agrónomo Fitotecnista por la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Estudiante de Maestría en Ciencias con términos en Horticultura dentro del grupo de Investigación en Fisiología y nutrición Vegetal en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD).

Ezequiel Muñoz Márquez. Profesor-Investigador Asociado en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) Subsede Delicias, Chihuahua. Miembro del SNII nivel I, miembro del grupo de Investigación en Fisiología y Nutrición Vegetal con líneas de investigación en Nutrición de cultivos hortofrutícolas, Fitopatología y hongos simbiotes y Nanotecnología aplicada en la agricultura.



Celia Chávez Mendoza. M.C. por la Universidad Autónoma Chapingo. Doctor in Philosophia por la Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua. Profesora e Investigadora del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C. Subsede Delicias, Chihuahua. Pertenece al SNII nivel II y SEI nivel III. Su línea de Investigación es en Tecnología y Conservación de Alimentos.

Alexandro Guevara Aguilar. Maestría en Ciencias Hortofrutícolas por la Universidad Autónoma de Chihuahua, Técnico académico de tiempo completo en el Centro de Investigaciones en Alimentación y Desarrollo A.C. Subsede Delicias, Chihuahua. Líneas de Investigación en Análisis de Alimentos, Conservación de Alimentos, Valor agregado y generación de nuevos productos.

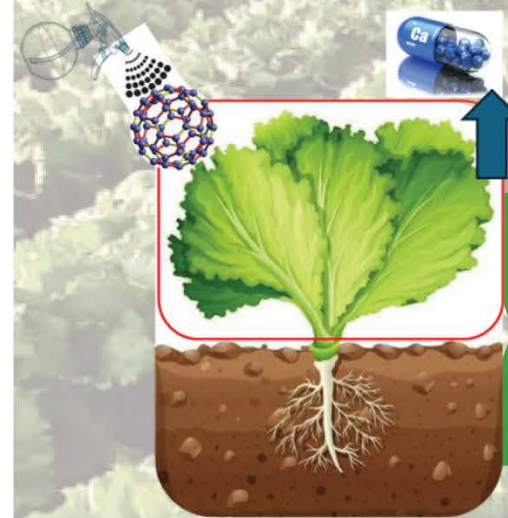
Esteban Sánchez Chávez. Profesor-Investigador Titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) Subsede Delicias, Chihuahua. Pertenece al SNII nivel II y SEI nivel Investigador Estatal Extraordinario. Líder del Grupo de Investigación de Investigación en Fisiología y Nutrición Vegetal con líneas de investigación en: Biofortificación en cultivos agrícolas, Nanotecnología aplicada a la agricultura, Nutrición en cultivos hortofrutícolas y Fisiología del estrés en plantas. Miembro activo de las Sociedad Mexicanas: Ciencias Hortícolas y Ciencias del suelo.





Hortalizas biofortificadas alternativa a la malnutrición

Juan J., Patiño-Cruz, Alan Alvarez-Monge, Esteban Sánchez-Chávez*



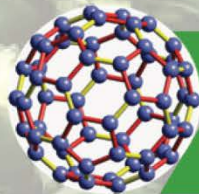
Biofortificación

1

Es una estrategia innovadora, capaz de incrementar minerales esenciales en las partes comestibles de las plantas a través de la fertilización foliar.

Nanofertilizantes

2



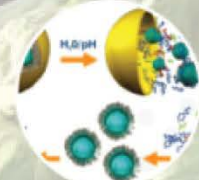
Son un tipo de tecnología con tamaño de partícula pequeña de 1-100 nanómetros.

Propiedades

3



Mayor
superficie
de contacto



Liberación
controlada



Mayor
asimilación



Menor
impacto
ambiental

4



¿Porqué biofortificar lechuga?

Por su consumo en fresco, son de ciclo corto y aportan agua, minerales, vitaminas, fibra y compuestos benéficos.



El enriquecimiento de hortalizas ayuda a disminuir la malnutrición y mejora la salud.

Malnutrición

5



66% de la población mundial tiene carencias de calcio.

Salud

6



La osteoporosis es el principal problema por deficiencia de calcio.





Hortalizas biofortificadas: alternativa a la malnutrición

Juan J. Patiño-Cruz
Alan Álvarez Monge
Esteban Sánchez-Chávez*

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Secretaría de Ciencias,
Humanidades, Tecnología e Innovación

*Autor para correspondencia: esteban@ciad.mx

Literatura recomendada

- Jarecka, K., & Sosnowski, J. (2021). The Effect of a Growth Stimulant Based on Iodine Nanoparticles on *Festuca glauca*. *Journal of Ecological Engineering*, 22(11). 72-78.
- Passarelli, S., Free, C. M., Shepon, A., Beal, T., Batis, C., & Golden, C. D. (2024). Global estimation of dietary micronutrient inadequacies: a modelling analysis. *The Lancet Global Health*, 12(10), e1590-e1599.
- Saravanan, A., Kumar, P. S., Karishma, S., Vo, D.-V. N., Jeevanantham, S., Yaashikaa, P., & George, C. S. (2021). A review on biosynthesis of metal nanoparticles and its environmental applications. *Chemosphere*, 264, 128580.



Semblanzas de autores

Juan José Patiño Cruz. Ingeniero Agroindustrial por la Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencias en Horticultura por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Actualmente, se desempeña como estudiante del Doctorado en Ciencias del CIAD en la línea de investigación de biofortificación de cultivos. Autor y co-autor en publicación de artículos en revistas JCR-Scopus y capítulos de libro.

Alan Alvarez Monge. Ingeniero Agrónomo Fitotecnista por la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Estudiante de Maestría en Ciencias con términos en Horticultura dentro del grupo de Investigación en Fisiología y Nutrición Vegetal en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD).

Esteban Sánchez Chavez. Profesor-Investigador Titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) Subselección Delicias, Chihuahua. Pertenece al SNII nivel II y SEI nivel Investigador Estatal Extraordinario. Líder del Grupo de Investigación en Fisiología y Nutrición Vegetal con líneas de investigación en: Biofortificación en cultivos agrícolas, Nanotecnología aplicada a la agricultura, Nutrición en cultivos hortofrutícolas y Fisiología del estrés en plantas. Miembro activo de las Sociedades Mexicanas: Ciencias Hortícolas y Ciencias del suelo.





El cascalote y su importancia



Centro de Investigación
en Alimentación y Desarrollo

(*Libidibia coriaria*)

Neydi Mayte De la Torre-Juárez
José Juan Buenrostro-Figueroa



Árbol de hasta
10 m
de altura

Nativo del Sur-Oeste de
México y América Central



Sus flores se agrupan en inflorescencias de 3-5 cm
con 15-20 flores. Los pétalos son carnosos,
color crema amarillento a **blanco verdoso**

Hojas **verdes claro** en
pinnas de 3 a 10 pares



Fruto en forma de **vainas**
irregulares, **verdes** o
cafés según la madurez



Ricas en
taninos

Producción de hasta 150 kg
de vainas/árbol

Usos: curtido de pieles, alimento
para ganado y medicina **tradicional**

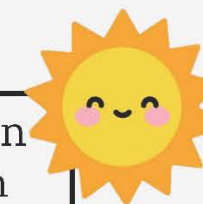


-Antiinflamatorio
-Antimicrobiano
-Antidiarreico
-Antioxidante

Crece en suelo:



Presente en
zonas con
abundante sol





¿Qué es el cascalote y por qué es importante?

José Juan Buenrostro-Figueroa*
Neydi Mayte De la Torre Juárez

Centro de investigación en Alimentos y Desarrollo (CIAD)

*Autor para correspondencia: jose.buenrostro@ciad.mx

Literatura recomendada

- Cipriano-Salazar, M., Salem, M. Z. M., Elghandour, M. M. M. Y., Selim, S., Lackner, M., & Salem, A. Z. M. (2025). Phytochemical profile and biological activities of *Caesalpinia coriaria* extract: a review [Mini Review]. *Frontiers in Veterinary Science*, Volume 12 - 2025. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1629447>
- López-Cárdenas, F., Ochoa-Reyes, E., Baeza-Jiménez, R., Tafolla-Arellano, J. C., Ascacio-Valdés, J. A., & Buenrostro-Figueroa, J. J. (2023). Solid-State Fermentation as a Sustainable Tool for Extracting Phenolic Compounds from Cascalote Pods. *Fermentation*, 9(9).
- Olmedo-Juárez, A., Briones-Robles, T. I., Zaragoza-Bastida, A., Zamilpa, A., Ojeda-Ramírez, D., Mendoza de Gives, P., Olivares-Pérez, J., & Rivero-Perez, N. (2019). Antibacterial activity of compounds isolated from *Caesalpinia coriaria* (Jacq) Willd against important bacteria in public health. *Microbial Pathogenesis*, 136, 103660. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103660>

Semblanzas de autores

José Juan Buenrostro-Figueroa. Es Investigador Titular del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Tiene experiencia en biotecnología alimentaria, enfocada en el desarrollo de bioprocesos microbianos para valorizar residuos agroindustriales y especies vegetales subutilizadas de forma sustentable. Cuenta con una amplia producción científica y es miembro Nivel II del SNII.

Neydi Mayte De la Torre Juárez. Es Ingeniera en Agroalimentos por la UNICACH y Maestra en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo (CIAD). Cursa el Doctorado en Ciencias en el CIAD, donde se desempeña en el laboratorio de Biotecnología y Bioingeniería, enfocando su investigación en especies vegetales subutilizadas para la obtención de compuestos bioactivos.



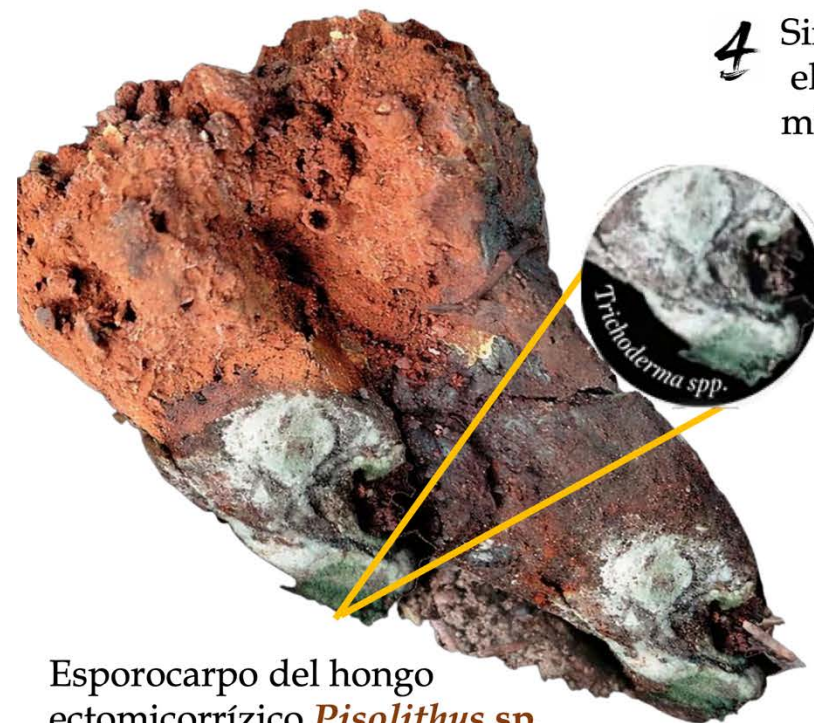


El desequilibrio de *Trichoderma* spp. en el suelo inhibe a los hongos ectomicorrízicos

Nancy Vyanney Romero-Alcantar, Ezequiel Muñoz-Márquez, Sandra Pérez-Álvarez,
Esteban Sánchez, Hilda Karina Sáenz-Hidalgo

- 1 *Trichoderma* spp. es un hongo cosmopolita altamente efectivo para controlar enfermedades que matan las raíces de las plantas.

 Un hongo **cosmopolita** es una especie con una distribución geográfica global, capaz de habitar diversos ecosistemas y climas en todo el mundo.



Esporocarpio del hongo ectomicorrízico *Pisolithus* sp. colonizado por *Trichoderma* spp.

- 2 Y es precisamente por su alta eficiencia que los productores lo utilizan como un insumo recurrente en las huertas de nogal pecanero.

- 3 Su agresividad y rápido crecimiento le permiten dominar la rizosfera en muy poco tiempo.

- 4 Sin embargo, siempre debe de prevalecer el equilibrio rizosférico entre todos los microorganismos que cohabitan en el suelo.

- 5 Pero este equilibrio se rompe con la aplicación masiva de productos con *Trichoderma* spp., que provocan un efecto grave en las huertas de nogal.

- 6 Si *Trichoderma* spp. supera en número a los hongos ectomicorrízicos, puede causar su muerte.

- 7 Cuando este hongo benéfico muere, la raíz del nogal también muere, ya que ambos organismos son física y fisiológicamente uno solo.

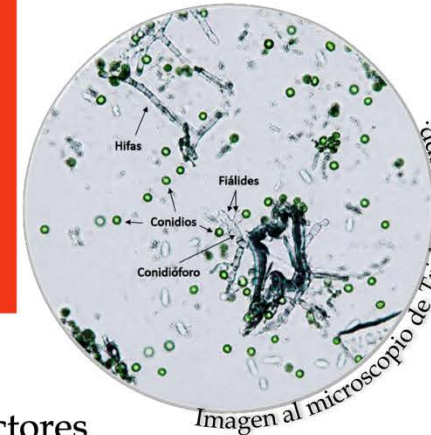
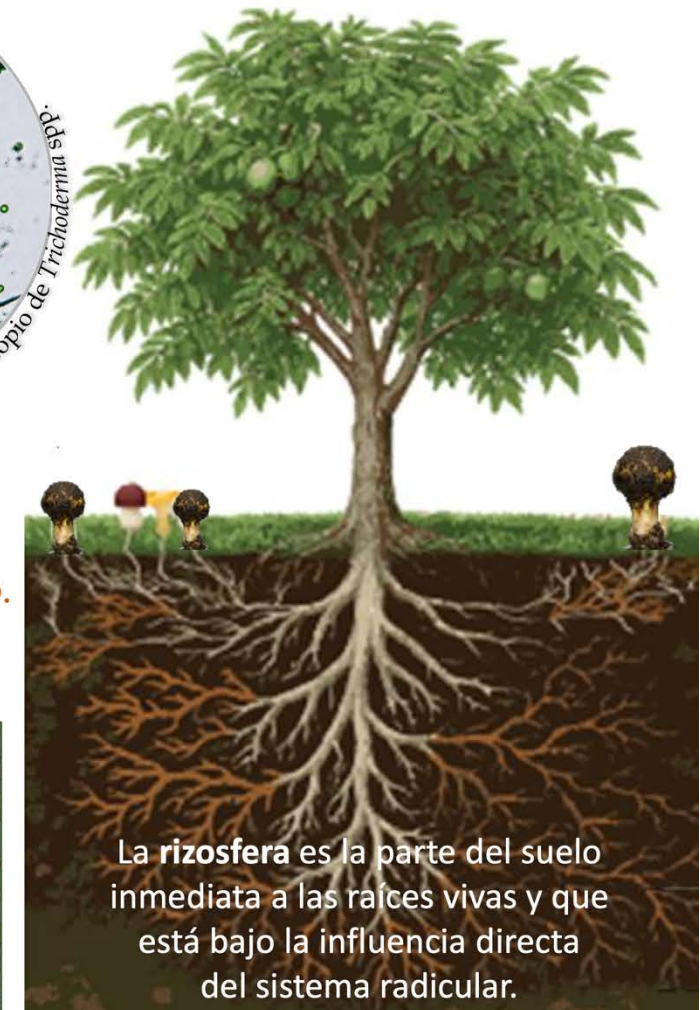


Imagen al microscopio de *Trichoderma* spp.

-  Esporocarpio de *Pisolithus* sp. en estado natural en las huertas nogaleras.



La **rizosfera** es la parte del suelo inmediata a las raíces vivas y que está bajo la influencia directa del sistema radicular.



-  Las **micorrizas** son asociaciones simbióticas mutualistas benéficas vitales e inseparables.

- 8 La ectomicorriza en el nogal pecanero es vital para la absorción de agua y nutrientes, además lo protege contra enfermedades, sequías y climas extremos.



El desequilibrio de *Trichoderma* spp. en el suelo inhibe a los hongos ectomicorrízicos

Nancy Vyanney Romero Alcantar¹
Ezequiel Muñoz Márquez^{1,2*}
Sandra Pérez Álvarez³
Esteban Sánchez Chávez^{1,2}
Hilda Karina Sáenz Hidalgo^{1,2}

¹ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo

² Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)

³ Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad Autónoma de Chihuahua

*Autor para correspondencia: emunoz@ciad.mx

Literatura recomendada

- Matas Baca, M. Á., Flores-Córdova, M. A., Pérez Álvarez, S., Rodríguez Roque, M. J., Salas Salazar, N. A., Soto Caballero, M. C., & Sánchez Chávez, E. (2023). *Trichoderma fungi as an agricultural biological control in Mexico*. Revista Chapingo. Serie Horticultura, 29(3). <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2022.11.015>
- Yadav, A.N., Kour, D., Kaur, T., Devi, R. and Yadav, A., 2022. Endophytic fungal communities and their biotechnological implications for agro-environmental sustainability. *Folia Microbiologica*, 67(2), pp.203-232.
- Pérez M. J. 1995. La simbiosis ectomicorrízica y su importancia ecológica. Área de Microbiología, PROEDAF- Instituto de Recursos Naturales, Colegio de posgraduados en ciencias agrícolas. Montecillo, Estado de México, Méx. p 201-209.



Semblanzas de autores



Nancy Vyanney Romero Alcantar. Maestra en Administración de Agronegocios por la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Estudiante del Doctorado en Ciencias en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) Subsele Delicias, integrante del Grupo de Investigación en Fisiología y Nutrición Vegetal.



Ezequiel Muñoz Márquez. Profesor-Investigador Asociado en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) Subsele Delicias, Chihuahua. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNII) nivel I, y del Sistema Estatal de Investigadores (SEI) nivel II, miembro del grupo de Investigación en Fisiología y Nutrición Vegetal con líneas de investigación en Nutrición de cultivos hortofrutícolas, Fitopatología y Hongos simbioses y Nanotecnología aplicada a la agricultura.



Sandra Pérez Álvarez. Profesora titular C de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la UACH. Miembro del SNII nivel I, miembro del Cuerpo Académico UACH-CA-174 "Manejo sustentable de sistemas agrícolas y forestales" trabajando la LGAC manejo de los recursos naturales para la mejora integral de sistemas agrícolas y forestales con las líneas de investigación biofertilización, cultivo in vitro y Fisiología vegetal.



Esteban Sánchez Chávez. Profesor-Investigador Titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) Subsele Delicias, Chihuahua. Pertenecce al SNII nivel II y SEI nivel Investigador Estatal Extraordinario. Líder del Grupo de Investigación en Fisiología y Nutrición Vegetal con líneas de investigación en: Biofortificación en cultivos agrícolas, Nanotecnología aplicada a la agricultura, Nutrición en cultivos hortofrutícolas y Fisiología del estrés en plantas. Miembro activo de las Sociedades Mexicanas: Ciencias Hortícolas y Ciencias del suelo.



Hilda Karina Sáenz Hidalgo. Doctora en Ciencias Hortofrutícolas por la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Maestra en Ciencias en Horticultura por la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la UACH e Ingeniero Químico en Alimentos por la Facultad de Ciencias Químicas de la UACH. Técnico académico en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo Subsele Delicias, Chihuahua y Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNII) nivel I, y del Sistema Estatal de Investigadores (SEI) nivel II.

| 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