



Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente

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



Vol. 4 — Núm. 1 — 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
Tesorería
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 Creación 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

Editores 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

Biol. Mariana Tovar-Castañón
UNAM

Dra. Dámaris Leopoldina Ojeda-Barrios
Universidad Autónoma de Chihuahua

Dr. Fernando López-Valdez
CIBA-IPN

Dra. Alma C. Hernández Mondragón
Cinvestav Zacatenco

Dr. Julián Delgadillo Martínez
Colegio de Postgraduados

Dra. Mariana Miranda Arámbula
CIBA-IPN

Dra. Rosalía Castelan Vega
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Dr. Fabián Fernández-Luqueño
Cinvestav Zacatenco

Dra. Susana González Morales
SECIHTI-UAAAN
Dra. Gabriela Guillen Cruz
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

M.C. Rene Juárez Altamirano
Cinvestav Saltillo

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

Editores Asociados

Dra. Nayelli Azucena Sigala Aguilar
Cinvestav Saltillo

M.C. Sarahi Moya-Cadena
Cinvestav Saltillo

Biól. Fernanda Naomi Shimizu Romero
UNAM

Dr. Ricardo Aarón González Aldana
Universidad Autónoma de Chihuahua

M.C. Jessica Elizabeth Martínez-Vázquez
Cinvestav Saltillo

Dr. Andrés Torres-Gómez
Cinvestav Saltillo

M.C. Oscar Fernández-Fernández
Universidad Autónoma Chapingo

Dra. Brenda I. Guerrero Camacho
Universidad Autónoma de Chihuahua

M.C. Karla Liliana López García
Cinvestav Saltillo

M.C. Marisela Calderón Jurado
Universidad Autónoma de Chihuahua

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

Dr. Gabriel Alejandro Hernández Vallecillo
Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo

J. Esmeralda García Gallegos
Cinvestav Saltillo

M.C. Alejandro Meléndez Aldana
Universidad Autónoma de Guadalajara

M.C. Mayra Andrea Martínez Curiel
Cinvestav Saltillo

Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente; Año 4, Número 1, enero 2026 a marzo 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>, smcssissn@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, marzo 31 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

Llegar a marzo de 2026 con este nuevo número en circulación representa mucho más que una fecha en el calendario editorial: significa constancia, compromiso y una comunidad creciente que cree en el valor de divulgar el conocimiento sobre el suelo como un componente esencial para la vida. Este ejemplar marca el cuarto año de trabajo de **Voces del Suelo, Agricultura y Medio Ambiente** y, con ello, celebramos también un hito significativo: **esta es nuestra décima publicación**.

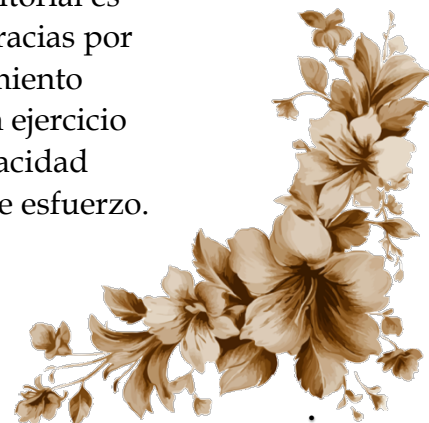
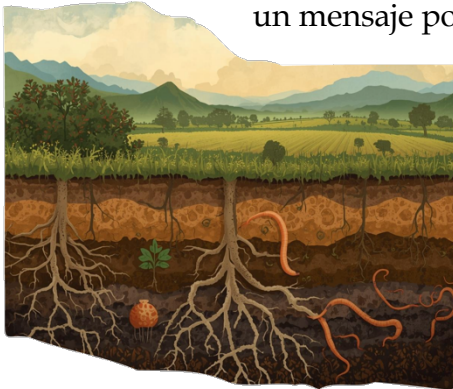
Diez números pueden parecer pocos en el contexto de revistas con décadas de historia, pero para un proyecto de divulgación científica, sostenido por el esfuerzo voluntario y la convicción colectiva, diez números son una prueba clara de que el entusiasmo se ha transformado en permanencia. En estos cuatro años, hemos publicado alrededor de **150 artículos de divulgación científica**. Cada uno de ellos ha sido una pieza de diálogo entre especialistas y sociedad, una oportunidad para acercar la ciencia del suelo a públicos diversos: estudiantes, docentes, productores, tomadores de decisión y lectores curiosos que buscan entender mejor el mundo bajo sus pies.

Los manuscritos que se incluyen en este número convergen de manera natural en un mensaje poderoso: el suelo es simultáneamente territorio, memoria,

laboratorio vivo y base de nuestra seguridad alimentaria. **El suelo no solo es biología: es también paisaje, conocimiento autóctono, historia y geografía.**

En estas páginas encontramos ciencia aplicada, reflexión ambiental, innovación tecnológica, biología invisible y paisajes que cuentan historias geológicas y culturales. Las contribuciones que integran este número nos invitan a mirar la agricultura y los ecosistemas desde perspectivas integrales.

Publicar una revista como **Voces del Suelo Agricultura y Medioambiente** no sería posible sin el trabajo colectivo de muchas personas. Por ello, este editorial es también un espacio para **agradecer**. A nuestras **autoras y autores**, gracias por confiar en este proyecto y por dedicar tiempo a transformar conocimiento especializado en textos accesibles, atractivos y útiles. Divulgar es un ejercicio intelectual exigente: requiere rigor, pero también sensibilidad y capacidad narrativa. Cada artículo publicado en este número es resultado de ese esfuerzo.





Agradecemos profundamente a quienes participan en la **revisión** de los manuscritos. En estos años han contribuido casi doscientos revisores, su labor sostiene la calidad de la revista. Revisar implica leer con atención, sugerir mejoras, cuestionar afirmaciones, proponer enfoques más claros y asegurar que el contenido sea correcto, comprensible y relevante. En una revista de divulgación, **el rol de revisores y editores es especialmente importante** porque no solo se cuida el contenido científico, sino también el lenguaje, la estructura y el impacto comunicativo. Cada publicación implica coordinación, gestión, corrección de estilo, diseño y compromiso con los tiempos. En estos diez números, la revista se ha consolidado como un espacio de encuentro para quienes trabajan por el conocimiento y la protección del suelo en México.

Este décimo número es, en síntesis, una muestra de que **la divulgación científica no es un esfuerzo menor: es una necesidad**. En un contexto donde los suelos enfrentan degradación, contaminación, pérdida de fertilidad, cambios en el uso de suelo y presiones climáticas crecientes, comunicar lo que sabemos y lo que aún necesitamos entender es parte esencial de la solución. **Hablar de suelos es hablar de alimentos, de agua, de biodiversidad, de cultura y de futuro.**



Invitamos a nuestras lectoras y lectores a recorrer este número con curiosidad, con espíritu crítico y con la certeza de que cada texto representa una ventana a procesos complejos que ocurren bajo nuestros pies y que determinan nuestra vida diaria. Que este ejemplar sea una oportunidad para aprender, cuestionar, compartir y, sobre todo, valorar al suelo como lo que es: un sistema vivo, finito y profundamente indispensable.

Seguimos avanzando. Gracias por acompañarnos.

Editores en Jefe

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

Dra. Dámaris Leopoldina Ojeda-Barrios
Universidad Autónoma de Chihuahua



Contenido

SECCIÓN I. FACTORES DE FORMACIÓN DEL SUELO	Páginas
Subsección IA: Material Parental	
Más allá del potrero: La sinergia entre árboles y ganado para proveer servicios ecosistémicos del suelo César Augusto de la Cruz López; Fabiola del Carmen Oliva Merodio; Gilberto Villanueva López	1
Bioestimulantes con elementos benéficos: una estrategia poderosos para que las plantas enfrenten y superen estrés Carlos Alberto Gabriel Zunun; José Antonio González Fuentes; Daniela Rodríguez Luna	12
Estudios de Suelos en las Áreas Naturales Protegidas de México: El componente oculto de la conservación ambiental. Sandra Monserrat Barragán-Maravilla; Fernando Ayala Niño; Gabriel Alejandro Hernández-Vallecillo	20
Subsección IB: Clima	
Los suelos ribereños del Iztaccíhuatl como sumideros de carbono Juan Carlos Sandoval Aparicio; Gerardo Cruz Flores; Alma Bella López López	28
Diversificación de cultivos: estrategia ante la sequía en zonas áridas Alejandro Palacio-Márquez; Carlos Abel Ramírez Estrada; Omar Cástor Ponce García; Janeth Guadalupe González Domínguez; Jerónima Antonieta Pérez	35
Subsección IC: Topografía	
Paisaje, suelos y agricultura en Huajuapán de León, Oaxaca Juan Fidel Reyes Velasco	42
Okra: Un alimento con alto valor nutritivo y bueno para la salud Gaspar Santana-Charles; Álvaro Morelos-Moreno; Ileana Vera-Reyes; Eduardo A. Treviño-López	51
Subsección ID: Organismos	
Explorando la virósfera del suelo: los guardianes invisibles de la vida terrestre Jessica E. Martínez-Vázquez; Fabian Fernández-Luqueño; Ana Margarita Rodríguez-Hernández	59
Subsección IE: Tiempo	
Polímeros orgánicos: Tecnología innovadora ante el estrés hídrico agrícola Yair Palma Rosas; Héctor Del Hierro González; Jared Hernández Huerta; Aracely Zulema Santana Jiménez	72
Información satelital: clave para cultivos, tierra y ciudad Oscar Reyes-Cárdenas; Abraham Cárdenas-Tristán; María Guadalupe Galindo-Mendoza	79



SECCIÓN II. PROCESOS DE FORMACIÓN DEL SUELO

Subsección IIA: Adición

Relevancia de las sustancias húmicas y no húmicas en la materia orgánica 84

Marisela Calderon-Jurado; Damaris Leopoldina Ojeda-Barrios; Yesenia Campos-Gonzalez; Orlanda Tanahiri Garcia-Gonzalez; Oscar Cruz-Alvarez

Subsección IIB: Transformación

Sin contribuciones

Subsección IIC: Translocación

Guardianes naturales en los suelos cultivados con crucíferas: glucosinolatos 96

Carmen Alicia Ayala-Contreras; Alberto Sandoval-Ranguel; Oscar Sariñana-Aldaco

Plasma frío: una alternativa verde para la agricultura 103

Aracely Zulema Santana Jiménez; Belén Arely Camargo Olivas; Nora Aidée Salas Salazar; Ndahita de Dios Avila; María Janeth Rodríguez Roque

Subsección IID: Pérdida

Del mismo vientre geológico, distintas pieles de la tierra: Atltzayanca 111

Jhonatan Orlando Blanco Huerta; Joel Altamirano Alvino; Saúl Pérez Velasco

Microplásticos contra hongos micorrízicos: una batalla silenciosa bajo nuestros pies 118

Jonás Álvarez-Lopezello; Sofía Becerril-González; Armando Sunny

SECCIÓN III. LA ARCILLA

***Pisolithus tinctorius*: Bioinsumo micorrízico para huertas nogaleras sustentables** 67

Rosa Carolina Talamantes González; Sandra Pérez Álvarez; Luisa Patricia Uranga Valencia; Marina Imelda Terrazas Gómez; Ezequiel Muñoz Márquez

Donde la lluvia escasea: suelos áridos y semiáridos de México 70

Fabiola Morales Jiménez; Lorena Jaimes González



SECCIÓN IV: HORIZONTES GENÉTICOS MAYORES Y CAPAS

Subsección IVG: Capa R

De la hamburguesa al suelo: entendiendo sus capas

127

Astrid Iriana Sánchez-Vázquez; Emily Sofia Lara-Macías; Cristhian Sarahi
Patiño-Loera; Andrea Zambrano-Arizpe

SECCIÓN V. CICLOS DEL SUELO

SECCIÓN VI. ENTISOL



Más allá del potrero: La sinergia entre árboles y ganado para proveer servicios ecosistémicos del suelo

César Augusto de la Cruz López^{1*},
Fabiola del Carmen Oliva Merodio²
Gilberto Villanueva López³

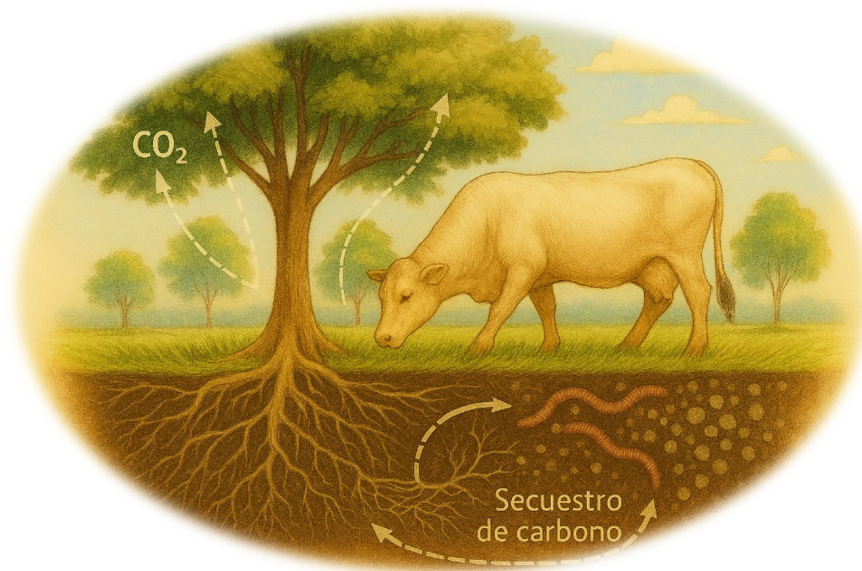
¹Estudiante del Doctorado en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable, El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa.

²Programa de Asistentes de investigación, El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa.

³Grupo Ganadería Sustentable y Cambio Climático, El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa.

*Autor de correspondencia: cesar.delacruz@posgrado.ecosur.mx

Los Sistemas Silvopastoriles (SSP) son una práctica sostenible que va más allá del potrero tradicional. Al integrar árboles, pasto y ganado, se crea una sinergia que regenera la salud del suelo. Esta interacción no solo potencia la fertilidad, la retención de agua y la biodiversidad, sino que también optimiza el bienestar animal y contribuye a la salud ambiental. Lo que demuestra que la sinergia entre estos elementos con la naturaleza es clave para proveer servicios ecosistémicos vitales y lograr una ganadería más productiva y resiliente.





Introducción

Lo que se pierde cuando cambia el paisaje

En muchos rincones del trópico mexicano, el paisaje ha cambiado y seguirá cambiando. Lo que antes eran selvas con árboles altos, suelos húmedos y animales que convivían en armonía, se han convertido en grandes áreas de pastizales o campos agrícolas dedicados a monocultivos. Estos sistemas productivos suelen excluir a los árboles y demandan grandes cantidades de insumos para mantener su productividad. Esta transformación del paisaje, conocida como cambio de uso de suelo, va más allá de una decisión productiva: es una alteración ecológica que afecta la salud y el funcionamiento de los agroecosistemas, que provoca cambios en los procesos e interacciones naturales que afectan los servicios ecosistémicos que nos brinda la naturaleza, específicamente el recurso suelo.

En muchos rincones del trópico mexicano, el paisaje ha cambiado y seguirá cambiando. Lo que antes eran selvas con árboles altos, suelos húmedos y animales que convivían en armonía, se han convertido en grandes áreas de pastizales o campos agrícolas dedicados a monocultivos.

Por mucho tiempo, el paisaje en la región tropical ha sido dominado por grandes extensiones de terrenos conocidos como “potreros” sin la presencia de árboles, dedicados exclusivamente al pastoreo, bajo la premisa de que la producción ganadera eficiente requiere la eliminación de cualquier elemento que no sea pasto y ganado (Fig. 1). Sin embargo, esta visión, ha tenido grandes impactos en la funcionalidad de los agroecosistemas, teniendo como resultado la degradación del suelo, que hoy se manifiesta en erosión, compactación, pérdida de fertilidad, productividad y vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos (p.ej., inundaciones, lluvias intensas y largos periodos de lluvia y sequías extremas).

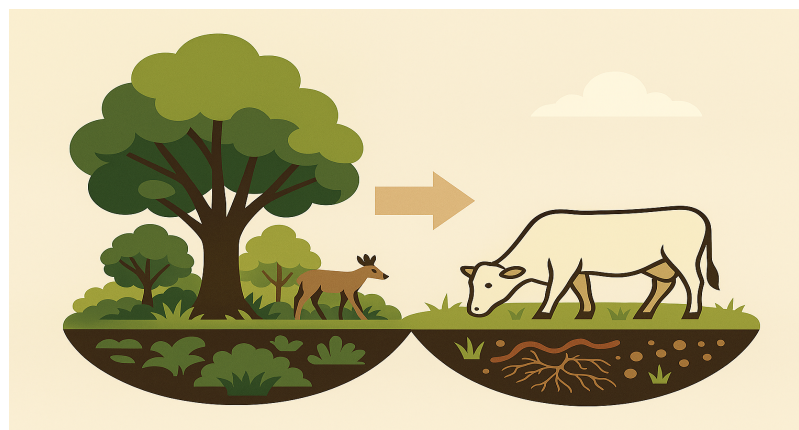




Figura 1. Sistemas ganaderos basados en los monocultivos de pastos, es decir aquellos que no cuentan con la presencia de árboles. (Fotografía: César de la Cruz).

Frente a estos desafíos, los SSP, son una innovadora práctica agroforestal que va mucho más allá del potrero tradicional. Estas prácticas se basan en la interacción equilibrada entre árboles, pastos y ganado, orientada a incrementar la productividad del sistema. Además, promueven la regeneración de nuestro recurso más vital: el suelo. Estas buenas prácticas también permiten al suelo recuperar y proveer una amplia gama de servicios ecosistémicos que son fundamentales no solo para la agricultura, sino para la vida misma.

Pero ¿qué pasaría si la clave para una ganadería sostenible y resiliente no estuviera en la separación, sino en la integración? ¿Qué tal si el futuro de la producción de alimentos se encontrara en la sinergia entre dos elementos que antes se consideraban incompatibles: los árboles y el ganado?

¿Qué son los servicios ecosistémicos?

Los servicios ecosistémicos son todos los beneficios que la tierra, el agua, las plantas y los animales nos ofrecen sin cobrarnos nada. Desde la lluvia que se infiltra al subsuelo, hasta el aire limpio, el alimento, la biodiversidad que controla plagas, y el clima que se regula gracias a los bosques. La naturaleza tiene su propio sistema de funcionamiento, y cuando lo rompemos, también rompemos nuestra relación con ella. Cuando destruimos la selva, se interrumpen funciones que antes ocurrían sin intervención humana: se degrada el suelo, se alteran los ciclos del agua, aumenta la temperatura y disminuye la variedad de especies.



Estas consecuencias no solo afectan al medio ambiente, sino también a los animales y personas que dependen de él.

El suelo es mucho más que un sustrato inerte; es el centro de un universo que vive en él. Es toda una red de vida en el que se incluye a las bacterias, hongos, protozoos, insectos y lombrices, todos trabajando en conjunto para operar los ciclos naturales del planeta. Este proceso biológico es el motor que impulsa los servicios ecosistémicos del suelo, beneficios esenciales que nos brinda la naturaleza y que sustentan nuestra existencia.

Los servicios ecosistémicos son todos los beneficios que la tierra, el agua, las plantas y los animales nos ofrecen sin cobrarnos nada.

Los servicios ecosistémicos podemos categorizarlos en cuatro grandes grupos, según la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (Fig. 2).

Lamentablemente, la agricultura convencional, la ganadería extensiva y el uso intensivo de fertilizantes sintéticos, pesticidas, herbicidas han degradado la estructura del suelo, mermando la vida que habita en él y dejándolo vulnerable a la erosión, lo que interrumpe la provisión de estos servicios vitales.



Figura 2. Servicios ecosistémicos que provee la naturaleza [Imagen generada con IA].
(Elaboración propia con ayuda de Copilot 365, 2025).



La ganadería extensiva y el cambio de uso de suelo

Durante décadas, la ganadería extensiva ha sido una de las principales razones de la degradación del suelo. Este modelo de producción, caracterizado por mantener una baja densidad animal en relación con la gran extensión de terreno disponible, suele eliminar toda la vegetación arbórea del suelo. Con los árboles fuera, el suelo queda expuesto, el calor aumenta, los ciclos del agua se desequilibran y la biodiversidad y producción disminuye. Todo lo que la selva hacía por sí sola, deja de ocurrir.

El suelo es mucho más que un sustrato inerte; es el centro de un universo que vive en él. Durante décadas, la ganadería extensiva ha sido una de las principales razones de la degradación del suelo.

La transformación del paisaje no solo debilita la salud de los ecosistemas, sino que también vuelve más vulnerable la producción ganadera. La tierra se empobrece, el ganado se estresa por el calor, y se depende cada vez más de insumos externos como fertilizantes, medicamentos o riego artificial para “mantenerlo” con vida.

Sistemas silvopastoriles: una alternativa regenerativa

Ante este panorama, han surgido alternativas que buscan producir sin destruir. Entre ellas, los SSP se destacan por ser una alternativa viable y transformadora, una propuesta que integra a la ganadería con la conservación con beneficios desde mejorar el bienestar animal hasta la seguridad alimentaria y la mitigación climática. En vez de talar, invitan a plantar. En vez de aislar, conectan. Y en vez de agotar, regeneran.

Un sistema silvopastoril es aquel en el que árboles, pastos y animales conviven de forma estratégica (Fig. 3). No se trata de dejar algunos árboles por casualidad, sino de diseñar el paisaje para que la vegetación cumpla funciones concretas. Los árboles dan sombra al ganado, lo nutren con hojas y frutos, protegen el suelo y atraen aves, insectos y otros animales. Los pastos prosperan entre esta vegetación, y los animales descansan en ambientes más frescos, encuentran mejor forraje y son menos propensos a las enfermedades.

Los sistemas silvopastoriles se destacan por ser una alternativa viable y transformadora, una propuesta que integra a la ganadería con la conservación con beneficios desde mejorar el bienestar animal hasta la seguridad alimentaria y la mitigación climática.



Aquí es donde entran en juego los sistemas agroforestales, dado que restablecen el equilibrio entre árboles, pastos y animales, transformando un simple pastizal en un ecosistema robusto. El árbol, a menudo visto como un obstáculo en la ganadería convencional, se convierte en un pilar fundamental de la salud del suelo. Sus profundas raíces forman una red natural que penetra las capas compactadas del suelo y crea canales que permiten la infiltración del agua y un ciclo cerrado de nutrientes.

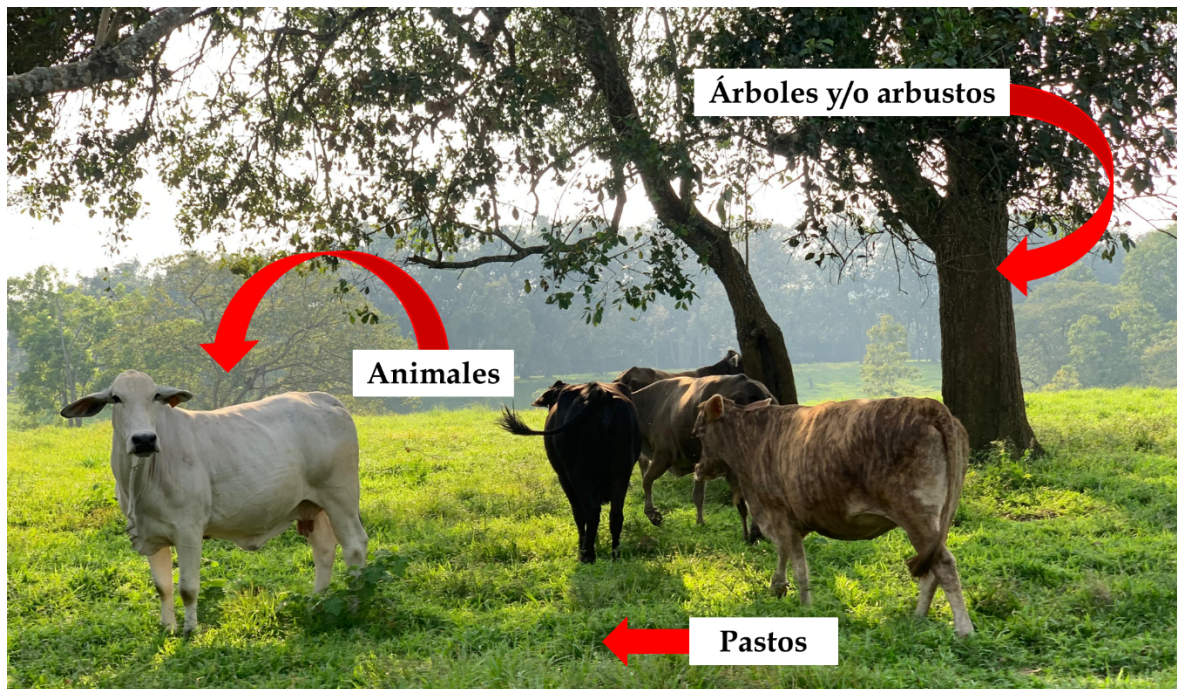


Figura 3. Elementos que integran un sistema ganadero con prácticas silvopastoriles. (Fotografía: César de la Cruz).

Esta red no solo combate la erosión, sino que también crea un hábitat ideal para los microorganismos. La hojarasca y las ramas caídas son una fuente constante de materia orgánica, el "alimento" del suelo. A medida que este material se descompone, enriquece el suelo con nutrientes esenciales, aumenta su capacidad de retención de agua y reduce la necesidad de fertilizantes sintéticos.

Un sistema silvopastoril es aquel en el que árboles, pastos y animales conviven de forma estratégica.



La sombra que proporcionan los árboles también modera la temperatura del suelo, minimiza la evaporación y protege a los microorganismos del calor extremo, permitiéndoles desempeñar mejor sus funciones biológicas en el suelo.

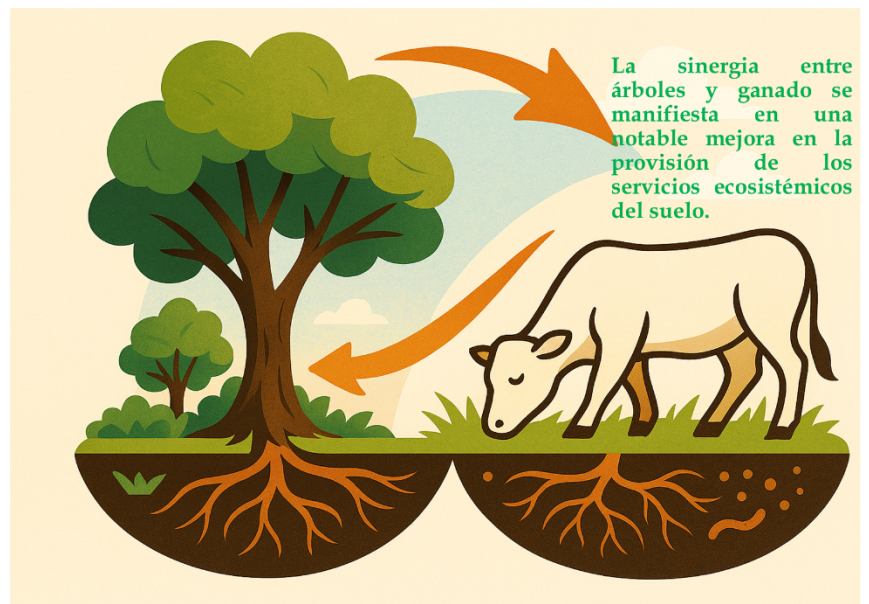
El ganado, lejos de ser un factor de degradación, se convierte en un aliado indispensable en esta sinergia. Mediante un manejo inteligente y la rotación de pastoreos, los animales se convierten en “jardineros” móviles. Su pisoteo controlado ayuda a airear el suelo y a incorporar la materia orgánica y el estiércol, mientras que sus excrementos actúan como un fertilizante natural, reponiendo los nutrientes de forma cíclica y distribuida.

Este pastoreo bien planificado estimula el rebrote del pasto, lo que fortalece sus raíces y contribuye a la salud general del sistema. Además, el pastoreo de los animales contribuye al control de especies no deseadas, ya que actúa como control biológico de plagas y promueve la conservación de los pastizales.

Por otro lado, los animales funcionan como dispersores de semillas a través de la deposición de las heces en el terreno, lo que modifica la presencia y distribución de un cierto número de especies vegetales. Además, el pastoreo de los animales podría tener beneficios para reducir el riesgo de incendios forestales al reducirse la cantidad de biomasa sujeta al fuego.

Restaurar los servicios que la selva solía ofrecer

La sinergia entre árboles y ganado se manifiesta en una notable mejora en la provisión de los servicios ecosistémicos del suelo (Figura 4). A nivel de regulación, el suelo en los SSP muestra una mayor capacidad de infiltración de agua, lo que favorece un ciclo de nutrientes más eficiente en lugar de que se pierdan por erosión, además, reduce el riesgo de inundaciones y recarga los acuíferos subterráneos.





Mientras que la materia orgánica acumulada actúa como una esponja, permitiendo que el suelo retenga la humedad por más tiempo, lo que lo hace mucho más resiliente a las sequías. Además, estos sistemas son altamente efectivos en la captura de carbono. Los árboles lo almacenan principalmente en su biomasa leñosa, y el suelo, al ser más rico en materia orgánica, se convierte en un sumidero de carbono a largo plazo, contribuyendo directamente a la mitigación del cambio climático.



Figura 4. Aporte de los servicios ecosistémicos en los sistemas silvopastoriles [Imagen generada con IA]. (Elaboración propia con ayuda de Copilot 365, 2025).

En cuanto a los servicios de provisión, la sinergia crea un entorno más productivo. La diversidad de forraje (pasto, hojas de árboles y arbustos) mejora la dieta del ganado, lo que se traduce en un aumento de peso, mayor producción, bienestar de los animales, y menor dependencia de alimentos balanceados, antibióticos, y fertilizantes químicos, lo cual disminuye los riesgos en la salud de las personas. Por otra parte, el productor puede diversificar sus ingresos a través de la venta de

productos del árbol, como frutas o madera, pero también generar ingresos mediante pagos por mitigación climática. Esta diversificación no solo es económicamente viable, sino que fortalece la seguridad alimentaria y la estabilidad económica de las comunidades rurales.

Esta sinergia tiene un impacto profundo en los servicios de soporte. Al crear un hábitat más complejo, los SSP fomentan un incremento en la biodiversidad del suelo. La presencia de diferentes especies de plantas atrae a una variedad de insectos y aves, que actúan como controladores biológicos de plagas, reduciendo la dependencia de pesticidas.



Una ganadería más resiliente y productiva

En los SSP, los animales pastorean bajo sombra, tienen acceso a forraje más variado y mejoran las condiciones climáticas. Esto mejora su salud, reduce el estrés y aumenta la eficiencia productiva.

El entorno se vuelve más amable para todos: para el ganado, para el productor y para la tierra. Incluso desde el punto de vista económico, estos sistemas son viables. Permiten diversificar la producción de alimentos (carne, leche, forraje, leña, frutos y semillas) y ofrecen ventajas frente a los sistemas convencionales.

También pueden integrarse a programas de pago por servicios ambientales, donde los productores reciben incentivos por conservar vegetación y capturar carbono.

Recuperar el vínculo cultural con el territorio

Además del beneficio ecológico y productivo, los SSP tienen un valor cultural profundo. Muchos saberes campesinos antiguos ya contemplaban el manejo del paisaje de manera respetuosa: árboles frutales, plantas medicinales, sombra estratégica. El modelo industrial desplazó esas prácticas, pero los SSP las recuperan, integrando experiencia tradicional con conciencia ecológica. Cuando se tala una selva, también se pierde el acceso a frutos, medicinas, leña, agua limpia y paisajes que dan sentido a la identidad rural. Estos sistemas permiten que esa conexión se mantenga.

Retos y oportunidades

No todo es fácil. Los SSP enfrentan obstáculos como la falta de información técnica accesible, la escasa presencia en políticas públicas, y la resistencia al cambio por parte de ciertos sectores. Sin embargo, también ofrecen oportunidades importantes:

- Alianzas entre **universidades, gobiernos y productores**
- Programas de **capacitación agroecológica**
- Reconocimiento en **planes de manejo ambiental**
- Redes de intercambio de **saberes entre comunidades rurales**

Cada árbol integrado a un sistema productivo es una apuesta hacia la sostenibilidad. Y cada productor que adopta prácticas silvopastoriles está contribuyendo a restaurar funciones que benefician no solo a su finca, sino al territorio entero.



Además del beneficio ecológico y productivo, los sistemas silvopastoriles tienen un valor cultural profundo. Muchos saberes campesinos antiguos ya contemplaban el manejo del paisaje de manera respetuosa: árboles frutales, plantas medicinales, sombra estratégica.

Conclusión

Los SSP representan un cambio de paradigma: nos invitan a ver la ganadería no como una actividad extractiva, sino como un proceso de construcción y regeneración. Al ir más allá del potrero tradicional y abrazar la sinergia entre los árboles y el ganado, estamos redescubriendo el potencial del suelo como un ecosistema vivo y dinámico. Esta práctica es un ejemplo tangible de cómo la producción y la conservación pueden coexistir, demostrando que la rentabilidad a largo plazo y la sostenibilidad ambiental van de la mano.

La clave está en entender que no hay que elegir entre conservar y producir. Los SSP demuestran que ambas cosas son posibles cuando se diseña el campo con inteligencia y respeto por los ritmos de la naturaleza. En vez de avanzar sobre el bosque, se puede trabajar con él. En lugar de cambiar el uso de suelo, se pueden integrar sus funciones a la producción.

En tiempos de crisis climática, escasez de agua, pérdida de biodiversidad y la necesidad de seguridad alimentaria, esta alternativa no solo es válida: es una necesidad. Apostar por SSP no solo es sembrar árboles, es también sembrar un futuro para las generaciones venideras. Un futuro donde el campo mexicano sea fértil, diverso, resiliente y vivo.





Literatura recomendada



- Casanova-Lugo, F., Ramírez-Avilés, L., Parsons, D., Caamal-Maldonado, A., Piñero-Vázquez, A. T., & Díaz-Echeverría, V. (2016). Servicios ambientales de los sistemas agroforestales tropicales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22(3), 269–284. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.06.029>
- Maldonado García, N. M. (2013). Los sistemas silvopastoriles en Tabasco: Una opción para desarrollar una ganadería productiva y amigable con la naturaleza. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://doi.org/10.19136/book.33>
- Millennium Ecosystem Assessment (Ed.). (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press.
- Villanueva López, G., Martínez Zurimendi, P., & Van der Wal, H. (2015). Árboles y arbustos en áreas ganaderas de Tabasco: Un recurso prometedor. *Ecofronteras*, 14–17.

Semblanzas de autores

Cesar Augusto de la Cruz López. Ingeniero Ambiental por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Maestro en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural por El Colegio de la Frontera Sur. Las líneas de investigación se han enfocado a remediación de suelos contaminados, Ganadería sustentable y Cambio Climático en Sistemas Tropicales. Estudiante del Doctorado en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable en el Grupo Académico de Ganadería Sustentable y Cambio Climático.

Gilberto Villanueva López. Es doctor en Ciencias Agropecuarias y Manejo de los Recursos Naturales por la Universidad Autónoma de Yucatán. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 2. Líneas principales de investigación son: producción y productividad de sistemas agroforestales en el trópico. Diagnóstico, diseño, y establecimiento de sistemas agroforestales-silvopastoriles. Restauración de áreas degradadas, almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales. En los últimos años se ha interesado en los efectos del cambio climático, mitigación de gases de efecto invernadero, metano en rumiantes y óxido nitroso praderas.

Fabiola del Carmen Oliva Merodio. Es Ingeniero bioquímico por el tecnológico nacional de México, Instituto tecnológico de Villahermosa. Sus más recientes líneas de investigación han sido enfocadas al tratamiento de aguas residuales industriales y a la reutilización de aguas residuales de la industria acuícola con el fin de que sean aprovechadas para la agricultura en el trópico húmedo de Tabasco.





Bioestimulación vegetal mediante elementos minerales benéficos y su papel en la respuesta al estrés

Carlos Alberto Gabriel Zunun^{1*}
Jose Antonio González Fuentes²
Daniela Rodríguez Luna¹

¹Doctorado en Agricultura Protegida. Subdirección de Postgrado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Horticultura Buenavista, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México. C.P. 25350.

*Autor de correspondencia: tics41133109@outlook.com

Introducción

Las plantas aparecieron hace unos 500 millones de años, a partir de algas que lograron adaptarse al ambiente terrestre (Figura 1). Gracias a este acontecimiento, comenzaron a desarrollarse nuevas formas de vida, pues las plantas fueron las responsables de producir oxígeno y de dar origen a los ecosistemas que

existen en la actualidad. Lo anterior toma relevancia dado que las plantas esconden una compleja maquinaria biológica y/o metabolismo que depende de la combinación de varios factores como el suelo, el clima, la radiación, elementos minerales esenciales, entre otros (edafoclimáticos); los cuales son necesarios para crecer, desarrollarse, sobrevivir y multiplicarse.

Sin embargo, las plantas se enfrentan de manera constante a distintos tipos de estrés que desestabilizan su funcionamiento fisiológico y metabólico, repercutiendo en el crecimiento, el desarrollo y la acumulación de biomasa. En las últimas décadas, estas condiciones se han agravado por el cambio climático, el cual impacta severamente a los sistemas

de producción al incrementar la intensidad y frecuencia de estreses abióticos como sequía, salinidad en los suelos, temperaturas extremas e irregularidad de las lluvias y bióticos como patógenos, insectos, plantas parásitas, malezas y herbívoros, lo que pone en riesgo la estabilidad, la productividad y la sostenibilidad de los agroecosistemas.

El estrés en plantas es un factor que afecta su productividad la cual cae de forma notable



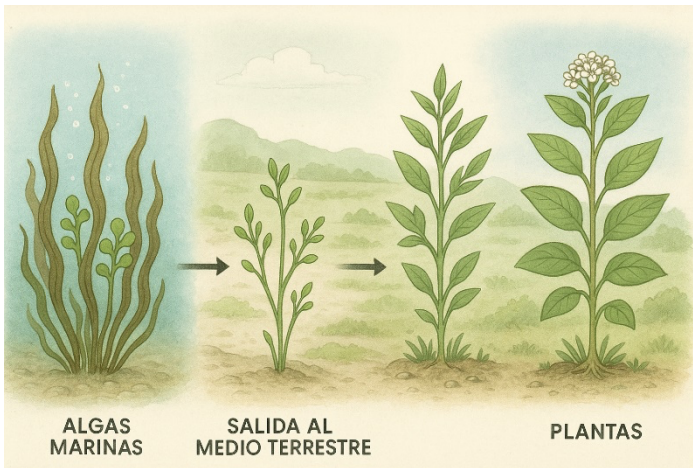


Figura 1. Representación de la evolución de las plantas

Para lograr una agricultura más sostenible y eficiente es fundamental adoptar e implementar nuevas tecnologías y métodos de producción que favorezcan el equilibrio entre rendimiento y conservación ambiental. En este contexto, la bioestimulación se ha consolidado como una herramienta eficaz para mejorar la productividad de los cultivos, ya que contribuye a

fortalecer las plantas frente a condiciones adversas. Además, en los últimos años la bioestimulación ha cobrado gran importancia gracias a la incorporación de elementos benéficos los cuales mejoran la eficiencia en el uso de nutrientes y refuerzan su tolerancia frente al estrés biótico y abiótico, contribuyendo así a una producción agrícola más resiliente y sostenible.

Para adentrarnos en este tema, primero necesitamos entender cuatro conceptos clave: qué es el estrés en las plantas, qué es la bioestimulación, qué es un elemento esencial y que es un elemento benéfico. Así que acompáñame en esta lectura y descubramos juntos cómo funcionan estos procesos que pueden transformar el rendimiento de un cultivo.

¿Qué es el estrés?

El estrés en las plantas se presenta cuando alguna condición del entorno o del propio organismo altera su crecimiento y funcionamiento normal. En otras palabras, sucede cuando algo interfiere con la fotosíntesis, el proceso mediante el cual las plantas aprovechan la luz solar para producir la energía que necesitan para desarrollarse.

Hay dos tipos: Estrés abiótico y biótico

El estrés abiótico se origina a raíz de varios factores ambientales (irradiación, sequía, temperaturas extremas, salinidad, metales pesados, entre otros) los cuales como consecuencia afectan el buen funcionamiento de las células de las plantas. Se estima que el 50% de las pérdidas de los cultivos en sistemas agrícolas en el planeta son debidas a este tipo de estrés.





Por consecuencia, en el mundo, el 95% de la superficie agrícola se ve afectada por este problema, lo cual ha ido en aumento a raíz del cambio climático debido a cambios en la temperatura, sobrepoblación, incendios, etc. El estrés biótico en las plantas es causado por la acción de organismos vivos que afectan su desarrollo y funcionamiento, los cuales son patógenos (hongos, bacterias, virus, etc.), insectos y ácaros (mosquita blanca, trips, chapulines, gusanos, araña roja, acaro blanco, etc.), plantas parásitas, malezas y animales herbívoros. Este tipo de estrés desencadena mecanismos de defensa destinados a preservar su estructura y garantizar su supervivencia. Entre los agentes más comunes se encuentran los hongos como *Fusarium*, *Botrytis* y *Alternaria* que provocan marchitez, pudriciones o manchas foliares; las bacterias *Pseudomonas*, *Xanthomonas* y *Erwinia*, que generan necrosis y pudriciones blandas; y los virus, como el mosaico amarillo de la calabaza (ZYMV) y el mosaico del tabaco (TMV), que deforman las hojas y reducen la fotosíntesis. También contribuyen a este tipo de estrés las plagas insectos como áfidos, trips o mosca blanca, además de ácaros y nematodos que dañan los tejidos o transmiten enfermedades, así como las malezas, que compiten con las plantas por agua, luz y nutrientes (Figura 2).

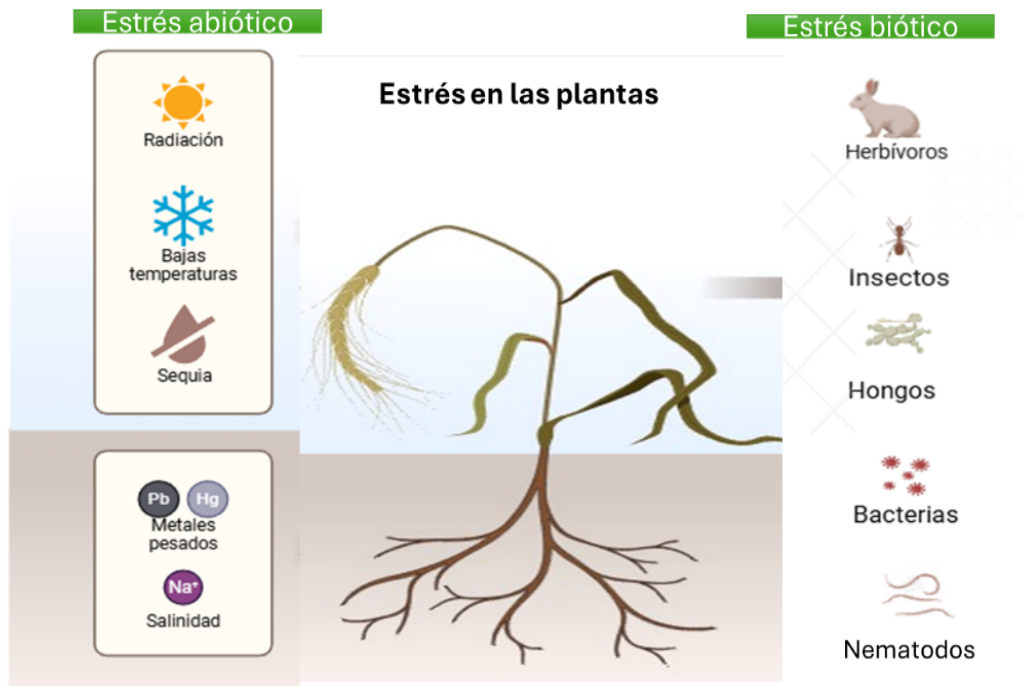


Figura 2. Principales factores que determinan el estrés biótico y abiótico en las plantas.



La bioestimulación en las plantas

La bioestimulación consiste en darle a las plantas un impulso extra para favorecer su desarrollo. A diferencia de los fertilizantes, cuyo propósito principal es suministrar nutrientes, los bioestimulantes actúan modulando procesos fisiológicos naturales de la planta, permitiéndole utilizar con mayor eficacia los recursos disponibles, optimizar la absorción y el aprovechamiento de nutrientes, se incrementa la tolerancia al estrés abiótico y se promueve el crecimiento y desarrollo vegetal sin aumentar la carga nutrimental del suelo. Gracias a ello, las plantas crecen con mayor vigor, resisten mejor las condiciones adversas y alcanzan un rendimiento más saludable y productivo (Figura 3).

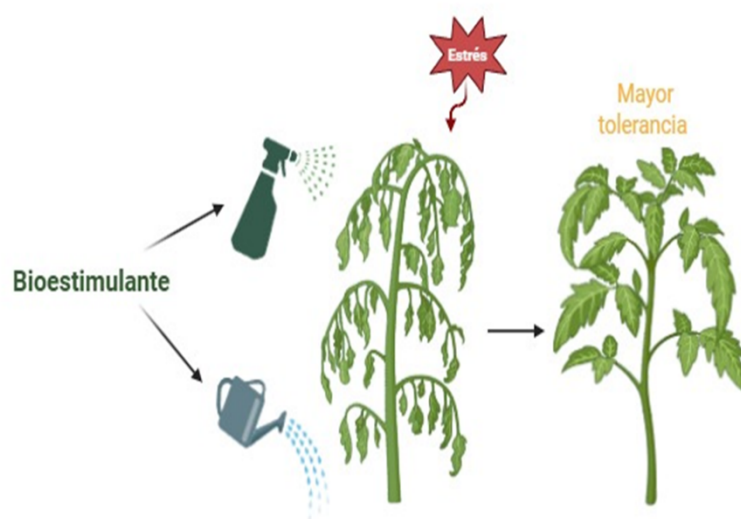


Figura 3. La aplicación de bioestimulantes en el sustrato o vía foliar induce resistencia al estrés en las plantas.

Tipos de bioestimulantes

En el mercado de bioestimulantes, las categorías con mayor uso se concentran, en primer lugar, en las fitohomonas y, desde el punto de vista nutrimental, las sustancias húmicas y fúlvicas, seguidas por proteínas, aminoácidos y péptidos, y por extractos de algas. En un nivel de adopción también relevante se encuentran los microorganismos benéficos (bacterias y hongos), mientras que, con una participación menor pero en crecimiento, se incluyen las sustancias inorgánicas o elementos minerales benéficos y los extractos botánicos. En términos generales, estos productos no actúan como fertilizantes, sino que modulan procesos fisiológicos y metabólicos de la planta, favoreciendo un mejor aprovechamiento de recursos (Figura 4).

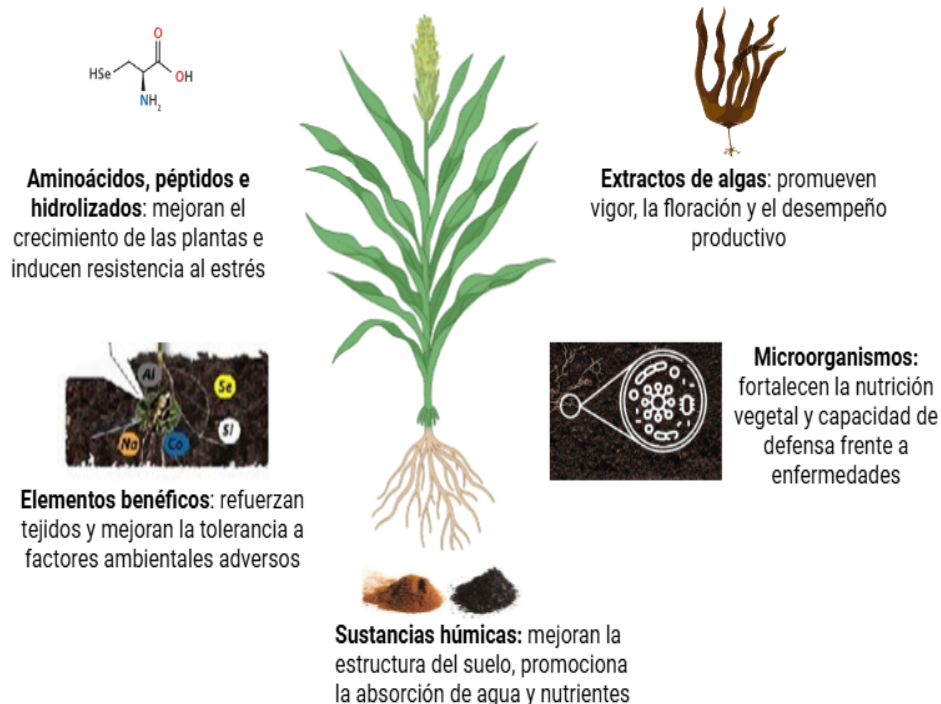


Figura 4. Clasificación de bioestimulantes y principales beneficios agronómicos en cultivos.

Más allá de lo esencial: Elementos benéficos

Las plantas necesitan 17 elementos esenciales para crecer y completar su ciclo de vida. Algunos, llamados macronutrientes, se requieren en grandes cantidades y permiten que la planta forme raíces, hojas y obtenga energía. Otros, los micronutrientes, aunque se necesitan en pequeñas dosis, son clave para activar procesos internos, producir pigmentos y ayudar a la planta a defenderse del estrés ambiental.

Los elementos benéficos son elementos minerales que, a diferencia de los nutrientes esenciales, no cumplen el criterio de “indispensables” (la planta puede completar su ciclo de vida sin ellos). Aun así, cuando están presentes en dosis adecuadas y en determinadas condiciones mejoran el desempeño de la planta: aumentan el vigor, optimizan el uso de nutrientes y ayudan a tolerar mejor el estrés.

¿Por qué “van más allá de lo esencial”?

Porque los nutrientes esenciales (N, P, K, Ca, Mg, S y los micronutrientes como Fe, Zn, Mn, Cu, B, Mo, Cl, Ni) son obligatorios para crecer y reproducirse. En cambio, los benéficos actúan como “potenciadores”: no evitan que la planta viva si faltan, pero sí pueden marcar una diferencia importante en productividad y resiliencia, sobre todo bajo estrés (sequía, salinidad, calor/frío, toxicidades, presión de plagas/enfermedades).





La agricultura moderna enfrenta un reto constante dado que muchos cultivos siguen produciendo por debajo de su potencial porque todavía no entendemos del todo cómo manejarlos o cómo protegerlos del estrés. ¡Pero hay una buena noticia! los elementos benéficos, aunque las plantas no los necesitan para sobrevivir, pueden actuar como verdaderos impulsores ocultos del crecimiento.

En un escenario donde el cambio climático y la degradación del suelo incrementan la frecuencia e intensidad del estrés vegetal, la bioestimulación con elementos minerales benéficos se plantea como una herramienta complementaria para mejorar el desempeño de los cultivos. A diferencia de los fertilizantes orientados principalmente al suministro de nutrientes, estos elementos se aplican en bajas dosis y actúan modulando procesos fisiológicos y metabólicos que optimizan el funcionamiento de la planta.



La evidencia disponible indica que, bajo esquemas de manejo adecuados, su aplicación puede asociarse con mejoras en crecimiento, rendimiento y eficiencia fotosintética, además de una disminución del daño por estrés oxidativo. En términos generales, esto se refleja en plantas más vigorosas, con mejor mantenimiento de pigmentos fotosintéticos, mayor integridad estructural y una utilización más eficiente de los recursos del suelo. Un efecto relevante de esta bioestimulación es el fortalecimiento de los mecanismos de defensa. Las plantas tratadas suelen presentar mayor tolerancia ante condiciones adversas como sequía, salinidad, temperaturas extremas y, en algunos casos, una mejor respuesta frente a patógenos, contribuyendo a sistemas de producción más estables bajo ambientes restrictivos. Asimismo, se ha observado influencia positiva en etapas clave del desarrollo, como el establecimiento, la formación de biomasa y procesos reproductivos como la floración, con impactos potenciales en calidad y productividad.

La bioestimulación en plantas funcionan como un impulso natural que despierta el potencial que la planta ya tiene dentro

No obstante, el efecto benéfico depende de la dosis, la forma de aplicación y el contexto edafoclimático. Un manejo inadecuado puede generar desequilibrios nutrimentales o síntomas de toxicidad, por lo que su uso debe sustentarse en el ambientales. En conjunto, la bioestimulación con elementos benéficos refuerza el enfoque de una agricultura más sostenible basada no solo en incrementar insumos, sino en mejorar la eficiencia funcional de la planta y fortalecer la interacción suelo-planta-ambiente frente a los retos actuales y futuros.



Los resultados que se han encontrados en algunos cultivos han sido relevantes como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Elementos benéficos y cultivos más estudiados.

Elemento benéfico	Cultivos más estudiados	Beneficios principales
Selenio (Se)	Hortalizas de hoja (lechuga, espinaca), tomate, pepino y frutales	Mejora tolerancia al estrés oxidativo y calidad nutricional
Silicio (Si)	Cereales (arroz, trigo), hortalizas (tomate, pepino)	Aumenta resistencia a plagas y enfermedades, mejora tolerancia al estrés hídrico
Cobalto (Co)	Leguminosas (frijol, soya, alfalfa)	Favorece la fijación de nitrógeno y la resistencia al estrés
Yodo (I)	Hortalizas (lechuga, col), tomate, pepino y frutales	Mejora la resistencia al estrés y puede contribuir a la calidad de los productos

Investigación y futuro: hacia una agricultura más sostenible

El estudio de los elementos benéficos y la bioestimulación vegetal representa una de las áreas más prometedoras de la ciencia agrícola. En el contexto global donde se busca mejorar la producción en los cultivos sin comprometer el ambiente, la aplicación de estos elementos benéficos podría ser clave para mejorar la calidad y rendimiento de las plantas.

Conclusión

La bioestimulación con benéficos son herramientas clave para lograr una agricultura más sostenible y resiliente. Ambos ayudan a las plantas a protegerse frente a factores bióticos (hongos, bacterias, virus o plagas) y abióticos (sequía, calor, radiación o cambios en la humedad).

Su aplicación adecuada favorece una mejor absorción de nutrientes, optimiza el metabolismo y fortalece el crecimiento vegetal. En conjunto, estos aliados invisibles contribuyen a una agricultura más productiva y sustentable. Por lo que estimular a las plantas con elementos benéficos es apostar por su capacidad natural de adaptarse, resistir y producir; una invitación a recordar que la sostenibilidad empieza al activar la vida del suelo, no solo al añadir insumos.





Literatura recomendada

- Romero-Félix, C. S., Paso, D. F. P., Salas-Arellanes, J. A., Saucedo-Acosta, R. H., Buelna-Tarín, S., López-Valenzuela, B. E., Romero-Félix, C. S., Paso, D. F. P., Salas-Arellanes, J. A., Saucedo-Acosta, R. H., Buelna-Tarín, S., & López-Valenzuela, B. E. (2023). Bioestimulantes en el crecimiento y rendimiento de *Phaseolus vulgaris* L. en el Norte de Sinaloa. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 10(2). <https://doi.org/10.19136/era.a10n2.3650>
- Soliveres, S. (2011). Efectos del estrés abiótico y factores bióticos en las interacciones planta-planta: Implicaciones para el funcionamiento y la restauración de los ecosistemas semiáridos. *Ecosistemas*, 20(2-3). <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/655>
- Trejo-Téllez, L. I., & Gómez-Merino, F. C. (2023). Beneficial elements: novel players in plant biology for innovative crop production, volume II. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1303462. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1303462>



Semblanza de autores

M.C. Carlos Alberto Gabriel Zunun. Pertenece al programa de Doctorado en Agricultura Protegida en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, su línea de investigación es bioestimulación de cultivos hortícolas con elementos beneficios y levaduras.

M. C. Daniela Rodríguez Luna. Pertenece al programa de Doctorado en Agricultura Protegida en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, su línea de investigación es Bioconversión de residuos agroindustriales.



Dr. José Antonio González Fuentes. Profesor-Investigador adscrito al Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, pertenece al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) en el nivel 2. Su línea de investigación nutrición y bioestimulación de cultivos hortícolas y ornamentales.



Estudios de Suelos en las Áreas Naturales Protegidas de México: El componente oculto de la conservación ambiental

Sandra Monserrat Barragan Maravilla*
Fernando Ayala Niño
Gabriel Alejandro Hernández Vallecillo

Laboratorio de Edafología Aplicada y Servicios Ambientales, Unidad de Biotecnología y Prototipos (UBIPRO), FES- Iztacala, UNAM.

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

Hasta 2025, México cuenta con 232 Áreas Naturales Protegidas (ANP) de carácter federal y más de 1,000 decretadas a nivel estatal y municipal. Sin embargo, la información sistemática sobre los suelos, como su diversidad, estado de conservación y funciones ecológicas, es limitada dentro de muchos de sus programas de manejo. En varios casos, los estudios de suelo se basan exclusivamente en cartografía oficial preexistente y no se verifican mediante trabajo de campo. Esta ausencia de evaluación directa restringe la comprensión de procesos clave como la dinámica del carbono, la regulación hídrica y la biodiversidad subterránea, dificultando la planificación de acciones efectivas de restauración y conservación de los suelos.



Introducción

Las ANP son ambientes terrestres o acuáticos que, por su relevancia y características biológicas, ecológicas, culturales y sociales, se establecen para conservar el capital natural de México a largo plazo. La primera ANP del país, el Parque Nacional Desierto de los Leones, fue decretada en 1917. Más de un siglo después, el sistema continúa expandiéndose con nuevas declaratorias, siendo algunas de las más recientes el Parque Nacional Bajos del Norte (Yucatán), la Reserva de la Biosfera Sierra Tecuani (Guerrero) y el Parque Nacional Carmen Serdán (Puebla), decretadas en 2024.

De acuerdo con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), México cuenta con 232 ANP de carácter federal y más de 1,000 bajo jurisdicción estatal o municipal. Las ANP se organizan en nueve direcciones regionales a lo largo del país (Figura 1).

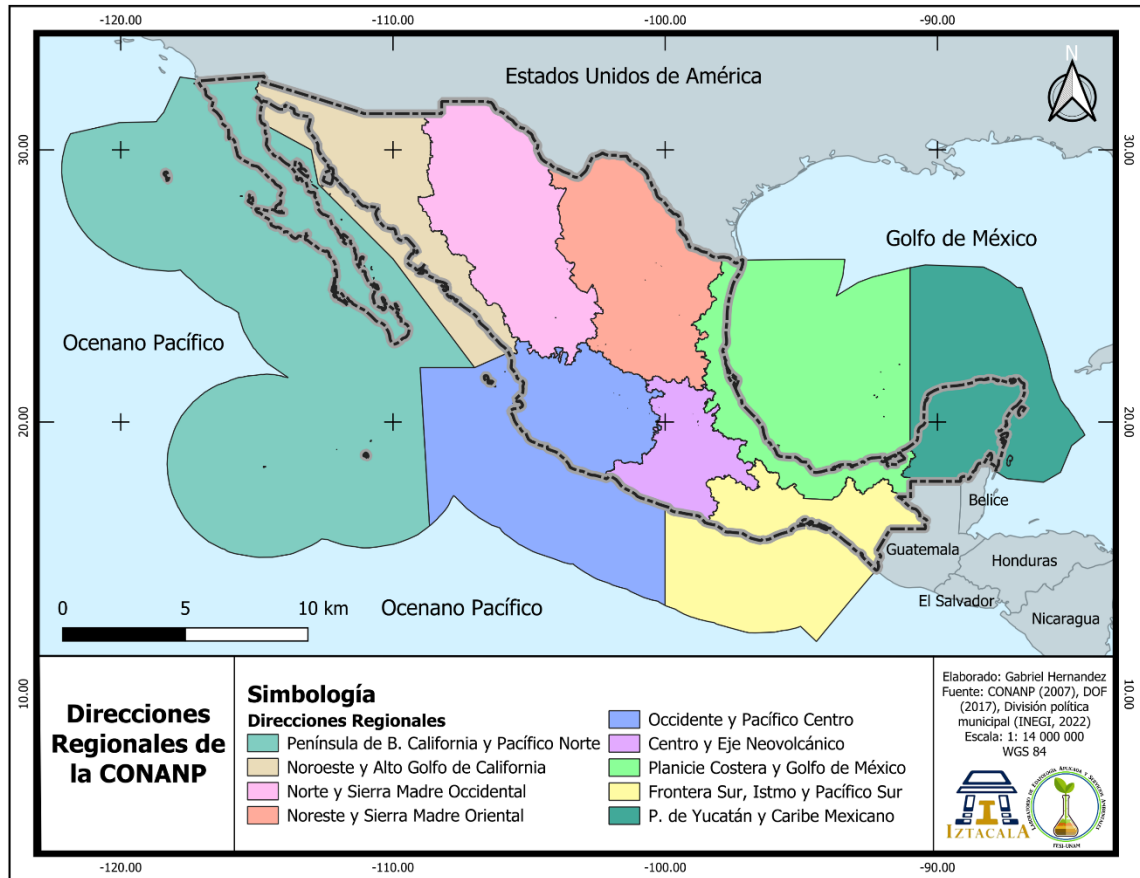


Figura 1. Distribución de las Direcciones Regionales de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas en México (CONANP).

A nivel federal, las ANP se agrupan en seis categorías en función de los recursos naturales que se desean gestionar. En la Figura 2 se pueden ver los objetivos y la cantidad decretada de cada categoría. Además, existen las Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADVC), que se impulsan a escala local.

El principal instrumento de política pública para la operación de las ANP es el Programa de Manejo. Este es un documento normativo, legal, que define la zonificación interna, los lineamientos de uso y las acciones de conservación y restauración, con base en el inventario de los recursos naturales que poseen. Sin embargo, solo poco más de la mitad de las ANP federales cuentan con un programa de manejo actualizado y disponible públicamente para su consulta. Mientras que, en el ámbito estatal y municipal, las ANP no cuentan con un programa de manejo, por lo que la información sobre sus recursos se encuentra únicamente en su declaratoria oficial (decreto en el Diario Oficial de la Federación). Además, los programas de manejo se centran en la riqueza biológica y dejan de lado la diversidad del suelo.



Figura 2. Número de Áreas Naturales Protegidas en México y sus objetivos por categoría.

Este contexto manifiesta la importancia de revisar la base de los inventarios ambientales, especialmente lo relacionado con el recurso suelo, que continúa siendo uno de los componentes menos evaluados de manera sistemática en las ANP, a pesar de su papel fundamental como soporte de la biodiversidad, regulador del agua y reservorio de carbono. La idea de su incorporación como eje central conllevaría más que un detalle técnico, una condición relevante para una gestión territorial efectiva.

¿Qué importancia tienen los suelos en las ANP?

En general, el suelo es importante para nuestra existencia, no solo para las ANP. El suelo nos aporta beneficios ambientales (servicios ecosistémicos), ya que permite la recarga de acuíferos al filtrar el agua de lluvia. El suelo proporciona nutrientes a los cultivos de los que obtenemos alimentos, medicamentos y ropa. El suelo captura el dióxido de carbono atmosférico y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que favorece la regulación del clima. El suelo tiene la capacidad natural de “capturar” y degradar algunos compuestos químicos que lo contaminan. Además, el suelo es el medio que sostiene nuestra infraestructura (casas, hospitales, carreteras, industrias, etc.).



Si pensamos en un paisaje, ya sea de bosque, desierto o selva, lo primero que imaginamos son grandes árboles, cactus gigantes o animales majestuosos como el jaguar. En este caso, el suelo pasa a ser un factor “invisible” y poco atractivo, lo que supone ignorar su importancia en el funcionamiento del ecosistema; a pesar de que es un recurso no renovable y que también puede perderse por un manejo inadecuado. En este mismo ejemplo, considerando una especie en peligro de extinción como el jaguar, la conservación del suelo toma relevancia si pensamos que es el medio en el que los árboles crecen y obtienen agua y nutrientes. Estos árboles, a su vez, son el alimento de las presas del jaguar, purifican el aire y liberan oxígeno, por lo que el suelo resulta esencial para el funcionamiento del ecosistema (Figura 3).



Figura 3. Importancia del recurso suelo en la conservación ambiental de las Áreas Naturales Protegidas.

Por otra parte, declarar un terreno como ANP no implica restricciones en el uso de sus recursos, sino que estos deben utilizarse de manera adecuada. Por este motivo, en los programas de manejo, las ANP tienen una zonificación, es decir, hay áreas destinadas a ciertos usos. Por ejemplo, zonas de amortiguamiento, zonas de aprovechamiento sustentable o de aprovechamiento de los ecosistemas, así como otras en las que se pretenden llevar a cabo actividades de restauración y protección. Sin embargo, surgen las siguientes preguntas: ¿cómo saber qué actividades se podrían llevar a cabo si desconocemos las características de los suelos?, ¿las zonas de aprovechamiento presentan problemáticas como erosión o contaminación?, ¿todas las zonas son aptas para la agricultura?, ¿el suelo es igual en todo el terreno?



Estas preguntas se pueden responder mediante el estudio del suelo e identificar las problemáticas o estrategias para su recuperación. Ya sea a partir de la descripción de un perfil del suelo o de la recolecta de muestras superficiales y el análisis de sus propiedades físicas, químicas, mineralógicas y biológicas, podremos identificar el impacto de las prácticas agrícolas, gestionar correctamente su uso en el ámbito forestal, medioambiental o urbano, e incorporar tecnologías o estrategias que favorezcan la permanencia de la biodiversidad (Figura 4).



Figura 4. Beneficios de conocer los suelos en las Áreas Naturales Protegidas (ANP).

Por ejemplo, se puede saber si existe alguna restricción para el desarrollo de los cultivos (midiendo la concentración de sales, el pH o cuantificando la materia orgánica). Se puede averiguar si el suelo está contaminado por metales pesados (mediante un análisis de fluorescencia de rayos X), e incluso estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica o eólica (conociendo su textura y estructura).



¿Qué ocurre con los estudios del suelo en las ANP?

Aunque el decreto de las ANP radica en su riqueza biológica (de flora y fauna), las actividades que se pretenden llevar a cabo dentro de estas dependen en gran medida del suelo. El suelo solo es visto como la superficie que alberga la riqueza biológica y se deja de lado su propia diversidad.

Al consultar los programas de manejo de las ANP, en la sección de suelos, el término “suelo” aparece con frecuencia vinculado a conceptos que no siempre se traducen en el análisis de las características y propiedades del suelo, lo que dificulta la aplicación de estrategias de conservación y el cumplimiento de los objetivos de las ANP (Figura 5).



Figura 5. Conceptos asociados al término “suelo” en los Programas de Manejo de las Áreas Naturales Protegidas.

La información de los tipos de suelo se basa en cartografía a escala 1:250,000 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). A esta escala, un centímetro en el mapa representa 2.5 kilómetros en el terreno, lo que es útil para diagnósticos regionales, pero presenta limitaciones cuando se requiere la toma de decisiones dentro de las ANP. Cabe precisar que el “tipo de suelo” se refiere a la textura, por ejemplo, arenoso o arcilloso, por lo que sería correcto emplear los conceptos de grupos o unidades de suelo.



Respecto a la descripción de los grupos de suelos y la superficie que ocupan en el terreno, esta es generalizada y no verificada en campo. Por ejemplo, se describen los factores que dieron origen, como el tipo de roca, el relieve y el tipo de vegetación, pero no se muestra información de la descripción morfológica, física y química de los perfiles del suelo. En su lugar, se provee información como la cantidad de materia orgánica o la textura de la superficie del suelo, aunque estos datos suelen provenir de fuentes secundarias no explicitadas o de estudios externos no integrados formalmente al instrumento de gestión.

En los pocos casos en los que existe un estudio de suelos detallado, la información no siempre se incorpora de manera integral en el programa de manejo de la ANP. Un ejemplo de ello es el Área de Protección de Recursos Naturales Lago de Texcoco, donde se realizó cartografía a escala 1:20,000. En este estudio, a partir de la descripción de 44 perfiles del suelo, se registró una diversidad de colores, texturas y contenidos de materia orgánica, así como salinidad y pH elevados. Asimismo, se menciona que en algunas solo pueden crecer pastos tolerantes a la salinidad, mientras que en otras se forman costras de sal conocidas como tequesquite. Sin embargo, en su programa de manejo apenas se mencionan las características generales de estos suelos. En este sentido, es relevante mencionar que a pesar de que se tiene un área relativamente pequeña, la diversidad de suelos es grande, y que el uso del suelo no puede ser el mismo en cada grupo o unidad, con lo que queda de manifiesto la necesidad de conocer los suelos de las ANP.

Por otra parte, la falta de la caracterización de los suelos en las ANP no es una cuestión de falta de interés, sino de las limitaciones presupuestales o normativas a las que estas se enfrentan.

Conclusión

Las Áreas Naturales Protegidas no solo preservan ecosistemas, paisajes y especies, sino que también sustentan actividades productivas, modos de vida y servicios ecosistémicos que dependen directamente del suelo. La falta de una evaluación directa de este recurso restringe la comprensión de procesos clave como la dinámica del carbono y la regulación hídrica.

A pesar de su importancia, los conocimientos sobre el suelo en estas áreas siguen siendo limitados. Sin información básica sobre sus características, los programas de manejo operan con una base incompleta para tomar decisiones de conservación y restauración.





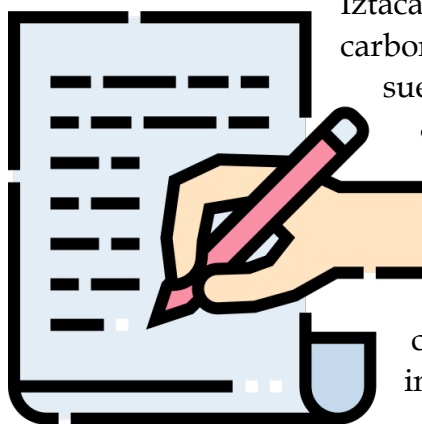
Literatura recomendada

- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2026). Programas de Manejo de las Áreas Naturales Protegidas de México. (Recuperado el 18 de enero de 2026 en: <https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/programas-de-manejo>).
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2018). *100 de conservación en México: Áreas Naturales Protegidas de México*. SEMARNAT-CONANP. México. 634p.
- Reyna-Rojas, M.A., Saldaña-Fernández, M.C., García-Flores, A., Monroy-Ortiz, C., Valenzuela-Aguilera, A., & Valenzuela-Galván, D. (2021). El panorama actual de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de México. *Ecosistemas*, 30(1):20268.



Semblanza de autores

- **Sandra Monserrat Barragán Maravilla**. Bióloga, egresada de la FES-Zaragoza, UNAM. Maestra y Doctora en Ciencias en Edafología (COLPOS). Posdoctorante COMECYT. Ha descrito y clasificado suelos en proyectos nacionales, estatales y municipales. Realiza estudios de Morfología y Clasificación de suelos.
- **Fernando Ayala Niño**. Biólogo por la FES-Iztacala-UNAM. Maestro en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas por la Universidad Autónoma de Baja California. Doctor en Ciencias en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste CIBNOR S.C. Investigador y profesor de tiempo completo en la FES-Iztacala, UNAM. Sus líneas de investigación se enfocan en el ciclo del carbono y sus interacciones en torno a los servicios ambientales que el suelo provee.



- **Gabriel Alejandro Hernández Vallecillo**. Biólogo, egresado de la FES-Zaragoza, UNAM. Maestro y Doctor en Ciencias en Edafología por el Colegio de Postgraduados. Ha realizado mapeo digital de suelos en proyectos como el Tren Maya y el Levantamiento de Suelos del ex lago de Texcoco con fines científicos y ambientales (MIA, ETJ, etc.). Estudia el efecto de incendios forestales en las propiedades de los suelos.



Los suelos ribereños del Iztaccíhuatl como sumideros de carbono

Juan Carlos Sandoval Aparicio^{1*}
Gerardo Cruz Flores²
Alma Bella López López²

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Programa de Edafología, Texcoco, Estado de México, México

² Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Ciudad de México, México.

*Autor para correspondencia: sandoval.juan@colpos.mx

Los ecosistemas ribereños de montaña desempeñan un papel fundamental en la regulación del clima mediante el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo. En el volcán Iztaccíhuatl, la interacción entre el agua, los materiales volcánicos y la vegetación ribereña favorece la acumulación y estabilización del carbono en estos entornos. Este manuscrito explica por qué los suelos ribereños funcionan como sumideros naturales de carbono, cómo esta función se relaciona con la estructura del suelo y el régimen hidrológico, y cuáles son las consecuencias de su degradación. Comprender estos procesos es clave para valorar la importancia ecológica y la conservación de los ecosistemas de montaña.

**Los suelos ribereños de montaña
funcionan como sumideros de
carbono.**





Introducción

El Iztaccíhuatl es uno de los sistemas montañosos más emblemáticos del centro de México. Sus paisajes volcánicos, bosques y praderas de alta montaña ofrecen funciones ecológicas que podemos admirar, como la provisión de agua o la belleza del paisaje. Pero, ¿sabías que una de las funciones más cruciales para mitigar el cambio climático ocurre silenciosamente bajo nuestros pies? Se trata del almacenamiento de carbono orgánico en el suelo.



En particular, los suelos que se desarrollan a lo largo de arroyos y manantiales, conocidos como suelos ribereños, actúan como reservorios naturales de carbono. Tal como se observa en la Figura 1, estos ambientes combinan agua, vegetación y suelos en un sistema altamente dinámico. Estos suelos no solo sostienen la vegetación y regulan el flujo del agua, sino que también contribuyen a mitigar el cambio climático al retener carbono durante largos periodos. Pero, ¿cómo logran estos suelos atrapar y guardar el carbono durante siglos? ¿Qué secretos esconden sus capas más profundas y qué sucede cuando estos frágiles ecosistemas se degradan? A lo largo de este texto, exploraremos los mecanismos que convierten a las riberas del Iztaccíhuatl en aliados silenciosos contra el cambio climático y por qué su conservación es más importante de lo que imaginamos.

Desarrollo

Las riberas de montaña como sistemas edáficos dinámicos

Las riberas de montaña corresponden a las franjas de suelo adyacentes a corrientes de agua permanentes o intermitentes. En estos espacios, el suelo está bajo la influencia constante del régimen hidrológico, lo que genera condiciones edáficas distintas de las de las laderas o tierras altas cercanas.



Figura 1. Arroyo de montaña en las riberas del Iztaccíhuatl. La interacción entre el flujo de agua, la vegetación ribereña y los materiales volcánicos favorece la acumulación de materia orgánica y el desarrollo de suelos ricos en carbono.

En el Iztaccíhuatl, las riberas se desarrollan sobre materiales de origen volcánico y en un contexto topográfico complejo. La presencia frecuente de humedad favorece la acumulación de materia orgánica y promueve una intensa actividad biológica. Como resultado, los suelos ribereños presentan colores oscuros, alta porosidad y una estructura bien desarrollada, características que los distinguen claramente del resto del paisaje montañoso.

Estos ambientes funcionan como zonas de transición donde confluyen procesos hidrológicos, biológicos y edáficos. Esta interacción constante explica su alta productividad y su notable capacidad para almacenar carbono orgánico en el suelo.

El carbono orgánico del suelo y su papel en la regulación del clima

El carbono orgánico del suelo es una fracción fundamental de la materia orgánica y constituye uno de los principales reservorios de carbono en los ecosistemas terrestres. Su importancia radica en que el carbono almacenado en el suelo permanece fuera de la atmósfera, lo que reduce la concentración de gases de efecto invernadero.



En el Iztaccíhuatl, la interacción entre agua, suelo volcánico y vegetación, favorece la acumulación y el secuestro de carbono en el suelo.



El suelo no es un simple almacén estático donde el carbono queda atrapado sin más. Por el contrario, es un espacio dinámico y con vida: el carbono entra al suelo a través de restos vegetales, raíces y exudados; se transforma gracias a la actividad de incontables organismos (bacterias, hongos, lombrices); y se estabiliza al asociarse con minerales y dentro de los agregados del suelo, lo que permite que quede protegido por largos periodos. Cuando estas condiciones se mantienen, el carbono puede permanecer almacenado durante décadas o incluso siglos.

El carbono orgánico del suelo contribuye a la regulación del clima y a la estabilidad de los ecosistemas de montaña.



En los ambientes ribereños de montaña, la incorporación de materia orgánica es continua, mientras que la descomposición se ve

regulada por la humedad del suelo y las temperaturas relativamente bajas. Esto genera un balance favorable para la acumulación y conservación del carbono.

Los suelos ribereños del Iztaccíhuatl y su capacidad para retener carbono

Los suelos ribereños del Iztaccíhuatl presentan una elevada capacidad de almacenamiento de carbono debido a la combinación de varios factores. El material parental de origen volcánico favorece la retención de agua y la protección física de la materia orgánica dentro de la estructura del suelo. Esta característica permite que el carbono quede menos expuesto a la descomposición rápida.

La vegetación ribereña aporta constantemente hojarasca, raíces y restos orgánicos, lo que incrementa las entradas de carbono al suelo. En los suelos mejor conservados, este aporte se traduce en perfiles con mayor contenido de carbono, tanto en la superficie como en capas más profundas, especialmente en zonas con saturación temporal. Como se aprecia en la Figura 2, los horizontes superficiales oscuros indican una alta acumulación de carbono orgánico. En el segundo horizonte se observa además una capa de materiales orgánicos enterrados, evidencia de antiguos aportes vegetales que quedaron protegidos por procesos de sedimentación y dinámica fluvial.



Proteger los suelos ribereños es una estrategia clave para la conservación del suelo, la biodiversidad, el agua y la regulación del clima.



La estructura del suelo desempeña un papel clave. Los suelos con mayor contenido de carbono orgánico tienden a formar agregados más estables, lo que refuerza la protección del carbono y mejora la resistencia del suelo frente a la erosión.

Relación entre carbono, estructura del suelo y agua

El almacenamiento de carbono en el suelo está estrechamente vinculado con la estructura edáfica y la dinámica del agua. Un suelo rico en carbono orgánico presenta mayor porosidad y una mejor capacidad de retención de agua, lo que favorece la infiltración y reduce la escorrentía.

En las riberas bien conservadas, esta relación se traduce en suelos más estables y funcionales. Durante eventos de lluvia, el suelo actúa como una esponja que absorbe el agua y la libera gradualmente. Esta función reguladora es especialmente importante en zonas de montaña, donde las pendientes pronunciadas incrementan el riesgo de erosión y pérdida de suelo. Así, el carbono orgánico contribuye simultáneamente a la regulación climática, a la estabilidad del suelo y al funcionamiento hidrológico de la cuenca.



Figura 2. Perfil de un suelo ribereño del Iztaccíhuatl. El horizonte superficial oscuro indica acumulación de carbono orgánico. En el segundo horizonte se distingue una capa de materiales orgánicos enterrados, producto de antiguos aportes vegetales y procesos de sedimentación. Las tonalidades rojizas más profundas evidencian procesos de oxidación asociados a la dinámica del agua y a la fluctuación del nivel freático.



Figura 3. Erosión en una ribera de montaña. La remoción del suelo superficial expone raíces y materiales gruesos, lo que implica pérdida de estructura y de carbono orgánico almacenado.

Consecuencias de la degradación de las riberas

Las riberas de montaña son ecosistemas sensibles a los cambios de uso del suelo. Actividades como la agricultura intensiva, el pastoreo excesivo o la eliminación de la vegetación ribereña alteran el equilibrio entre la incorporación y la pérdida de materia orgánica.

Cuando estos sistemas se degradan, el suelo pierde estructura y estabilidad. La erosión puede exponer raíces y remover horizontes superficiales ricos en carbono, como se observa en la Figura 3. La reducción del contenido de carbono orgánico acelera los procesos de erosión y facilita la liberación del carbono almacenado hacia la atmósfera. Además, se deteriora la capacidad del suelo para regular el agua, lo que afecta el funcionamiento de toda la cuenca. La pérdida de carbono en los suelos ribereños es difícil de revertir. Lo que tardó siglos en acumularse puede perderse en pocas décadas si no se protege adecuadamente.

Conclusiones

Los suelos ribereños del Iztaccíhuatl son mucho más que el terreno que bordea sus arroyos. Funcionan como verdaderos aliados subterráneos en la lucha contra el cambio climático, capturando y almacenando carbono orgánico durante siglos. Pero su valor no termina ahí: al regular el flujo del agua y mantener la estructura del terreno, estos suelos sostienen la vida en la montaña y protegen las cuencas que abastecen a las poblaciones en las tierras bajas.



Sin embargo, lo que la naturaleza tarda siglos en construir puede perderse en pocas décadas. La degradación de las riberas por actividades humanas no solo libera el carbono almacenado a la atmósfera, sino que también desencadena erosión, pérdida de fertilidad y desequilibrios hídricos de los que luego es muy difícil recuperarse.

Proteger estos suelos no es un lujo ecológico, sino una necesidad estratégica. Conservar las riberas del Iztaccíhuatl significa salvaguardar un sistema integrado donde el suelo, el agua y la vegetación trabajan en conjunto para mitigar el cambio climático, asegurar agua limpia y preservar la biodiversidad única de esta montaña emblemática.

La degradación de las riberas rompe el equilibrio del suelo y favorece la pérdida de carbono a la atmósfera.



Entender estos procesos desde las ciencias del suelo y la agronomía nos da las herramientas para valorar lo que está en juego. Porque a veces, los guardianes más importantes del equilibrio del planeta no están en la superficie: están bajo nuestros pies, en la tierra húmeda que bordea los arroyos de montaña.

Literatura recomendada

- Cruz-Flores, G., Guerra-Hernández, E. A., Valderrábano-Gómez, J. M., López-López, A. B., Santiago-Aguilar, I., Castillejos-Cruz, C., Campos-Lince, L. S., Etchevers-Barra, J. D., Hidalgo-Moreno, C., Sandoval-Aparicio, J. C., & Mendoza-Cariño, M. (2019). Base de datos de contenido de carbono en ecosistemas ribereños: cuenca alta y media de la Reserva de la Biósfera Los Volcanes. *Elementos para Políticas Públicas*, 3(1), 13-32.
- FAO. (2017). *Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Granados-Sánchez, D., Hernández-García, M. Á., & López-Ríos, G. F. (2006). Ecología de las zonas ribereñas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 12(1), 55-69.

Semblanzas de autores

M. en C. Juan Carlos Sandoval Aparicio. Candidato a Doctor en Ciencias en Edafología por el Colegio de Postgraduados. Maestro en Ciencias en Edafología por la misma institución. Biólogo por la FES Zaragoza, UNAM.

Dr. Gerardo Cruz Flores. Doctor en Ciencias (Biología), Prof. De Carreta Titular "B" en la carrera de Biología de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Responsable de la Línea de investigación "Relaciones suelo-agua-plantas en el manejo de Cuencas".

Dra. Alma Bella López López. Prof. De la Carrera de Biología en la FES Zaragoza, Maestra y Doctora en Ciencias de la Tierra por El Instituto de Geología de la UNAM.





Diversificación de cultivos: estrategia ante la sequía en zonas áridas

Alejandro Palacio-Márquez^{1*}
Carlos Abel Ramírez- Estrada¹
Omar Cástor Ponce García²
Janeth Guadalupe González Domínguez¹
Jerónima Antonieta Pérez¹

¹Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad Autónoma de Chihuahua, Km 2.5 Carretera Delicias a Rosales, 33000 Delicias, Chihuahua, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, campo experimental Delicias. Labor Ejido Rosales Kilómetro 2, Delicias, 33000 Delicias, Chih.

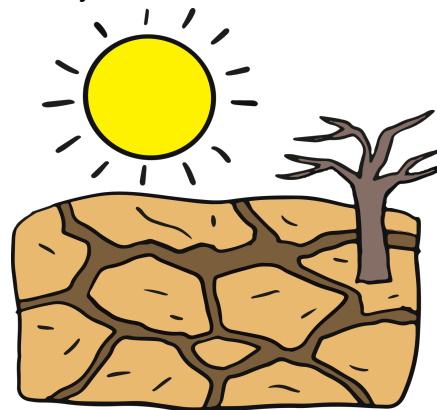
*Autor para correspondencia: apalaciom@uach.mx

México enfrenta una situación de sequía crítica con cerca del 66% del territorio nacional en dicha situación. En particular, la región Centro Sur del estado de Chihuahua, depende de cultivos de alto consumo de agua, como el nogal, la alfalfa y el chile verde, que representan más del 80% del valor económico de la producción agrícola local. Ante este panorama, la reconversión hacia cultivos de menor demanda hídrica se vuelve una necesidad para garantizar la sostenibilidad de la agricultura en la región.



Introducción

México enfrenta una situación de sequía crítica, reportando en el 2023, cerca del 66% del territorio nacional en situación de sequía moderada a excepcional, situación que ha ido empeorando con el paso del tiempo debido a factores relacionados con el cambio climático, combinados con una mayor demanda hídrica de la población, debido al aumento poblacional y el incremento en el uso de suelo con fines agrícolas y pecuarios, está generando una crisis de demanda en recursos hídricos, los cuales, en conjunto con cuestiones relacionadas con la seguridad alimentaria, el impacto económico y el uso de la tierra, han ampliado la problemática de manera severa.



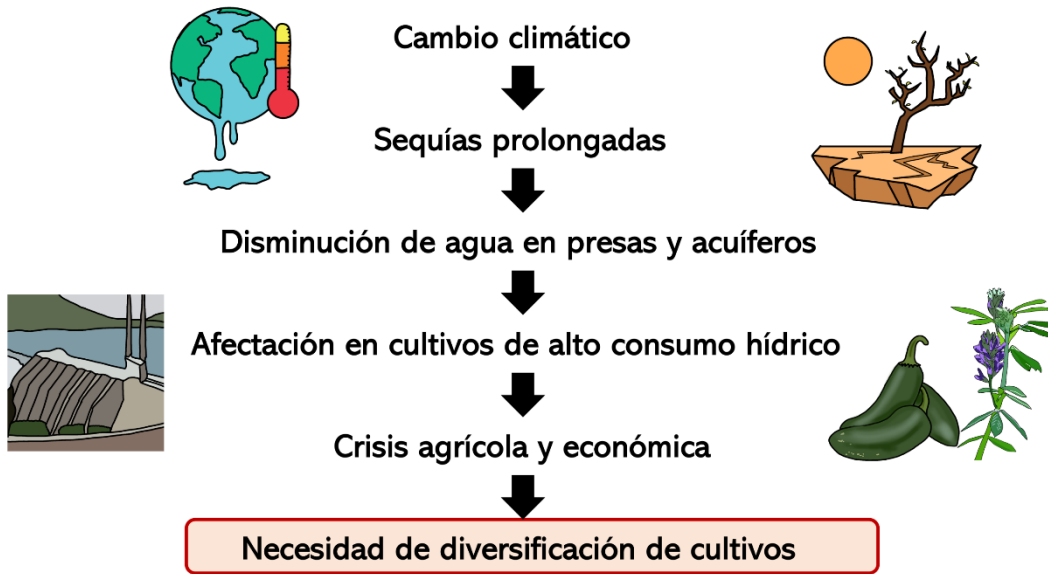
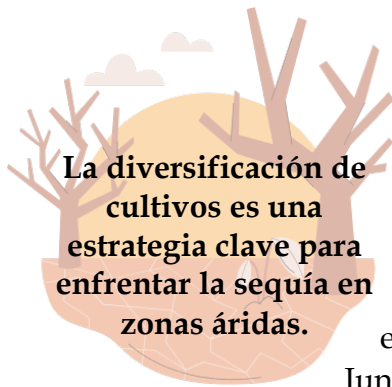


Figura 1. Diagrama de flujo del problema hídrico en la agricultura.

La crisis hídrica y la agricultura: el caso de Chihuahua



En la zona norte del país, especialmente el estado de Chihuahua, la situación hídrica empeora (Figura 1). Datos oficiales de SENASICA indican que el 90% del estado se encuentra en situación de sequía, afectando más de 2.7 millones de hectáreas destinadas a la agricultura y generando pérdidas de cerca de 30% en cultivos básicos como frijol y maíz. Así mismo, afecta a cultivos claves para la economía estatal como la nuez, chile, cebolla, alfalfa y algodón. Según la

Junta Central de Agua y Saneamiento, el estado de Chihuahua debería tener como prioridad la reconversión a cultivos de baja demanda hídrica lo cual queda planteado en el plan estatal hídrico 2040 en el objetivo 2, especialmente en el distrito de riego 005 en la región centro sur del estado.

Dicha región tiene la mayor huella hídrica, es decir, el volumen de agua necesario para producir un kilo de alimento, para productos derivados de la agricultura, alcanzando 708 hm³/año. Según datos oficiales, los cultivos de nogal, alfalfa y chile verde son de alto consumo hídrico, reportando, para ambos cultivos, una lámina bruta, es decir, la cantidad total de agua que se aplica a un cultivo durante un riego, de más de 180 cm, siendo el caso del nogal el más crítico, ya que genera una huella hídrica más elevada alcanzando 8.64 m³ por kg de nuez producida.



La región Centro Sur de Chihuahua como modelo para la agricultura en zonas áridas

La región Centro-Sur de Chihuahua es un área semidesértica donde la agricultura es fundamental para la economía local, estatal y nacional, representando una zona líder en producción de nuez pecanera, hortalizas como cebolla y chile verde y forraje como la alfalfa (Figura 2). Sin embargo, esta región se caracteriza por una irregularidad en la disponibilidad de agua, presentándose periodos de sequía prolongados, acompañados por altas temperaturas y presencia de salinidad en el suelo; problemas que año tras año se han incrementado debido a los efectos del cambio climático. Esta región agrícola es alimentada principalmente por dos fuentes de captación de agua, las presas “Boquilla” y Francisco I. Madero “Las Vírgenes”, las cuales, al 9 de marzo de 2025, se encuentran en un nivel de sequía extraordinaria con una captación del 15.2% y 11.7% respectivamente.

Esto las posiciona por debajo del límite mínimo para no dañar la flora y fauna silvestre y restringe su extracción en el próximo ciclo agrícola. Estos datos demuestran el impacto del cambio climático en la agricultura en el Distrito de Riego 005 y la situación puede verse agravada por el incremento de temperaturas y la baja probabilidad de precipitaciones pronosticada para los siguientes años.

El nogal, la alfalfa y el chile verde concentran más del 80% del valor agrícola local, pero son de alto consumo hídrico.

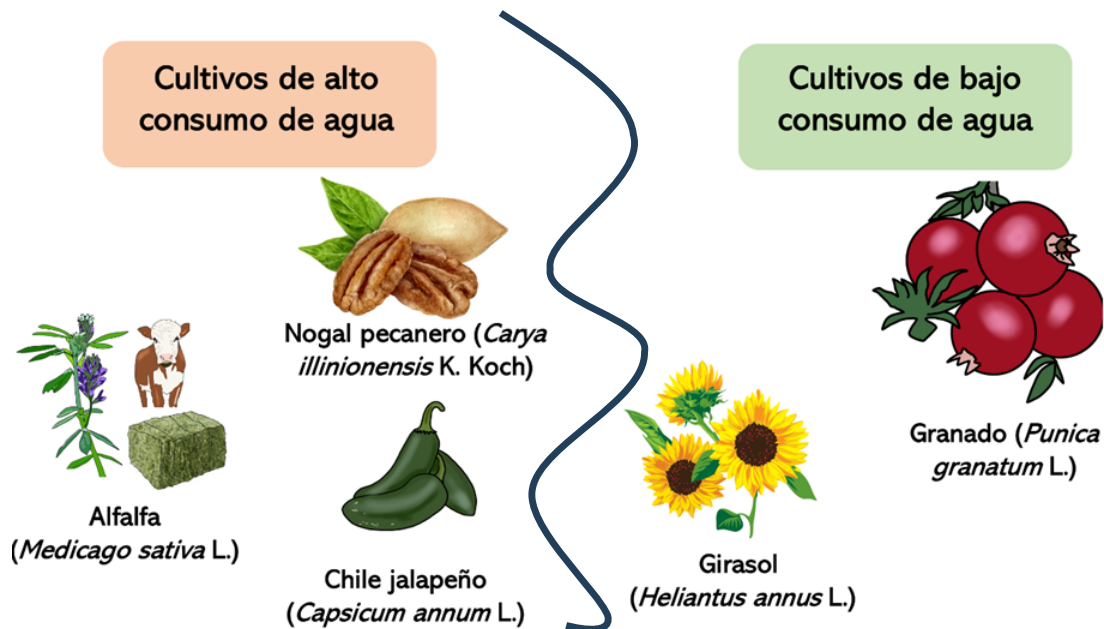
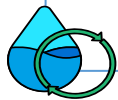


Figura 2. Cultivos de alto y bajo consumo de agua en el estado de Chihuahua.



Cultivos alternativos y su impacto en la presión hídrica de la agricultura

La crisis hídrica en Chihuahua afecta más de 2.7 millones de hectáreas agrícolas.

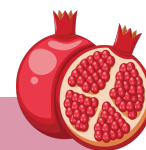


Ante esta situación, se vuelve urgente la implementación de medidas que en conjunto ayuden a reducir la presión hídrica sobre la zona y aumentar la sostenibilidad de la agricultura a través de una reconversión de cultivos alternativos que ofrezcan ventajas como menores requerimientos hídricos, tolerancia a altas temperaturas y de una rentabilidad igual o superior a los cultivos tradicionales. Con base a lo anterior, el uso de cultivos con tolerancia al déficit de agua se presenta como una alternativa viable para la región Centro Sur del estado de Chihuahua.

El granado como cultivo de alto valor económico

El granado (*Punica granatum* L.) se presenta como un cultivo altamente tolerante a la sequía teniendo un gasto aproximado de entre 4.5 y 6 Mm³ por hectárea anuales, lo que representa más del 50% de ahorro en comparación con el cultivo del nogal regado por gravedad. Además, diversos estudios indican que puede tolerar periodos prolongados de estrés hídrico, siempre y cuando no sea en etapas fisiológicas críticas como la floración o fructificación. Asimismo, es considerado como un cultivo muy resistente a condiciones semiáridas, tolerando temperaturas por encima de los 44 °C y capaz de adaptarse a diferentes tipos de suelo, por lo que se le considera uno de los frutales más resistentes y versátiles para adaptar a nuevas zonas de cultivo.

A su vez, se caracteriza por ser un fruto de gran calidad nutricional, con alta capacidad antioxidante y usos diversos en el mercado, ya que puede ser utilizado para consumo en fresco, en forma de jugo o dentro de la industria de los colorantes (Figura 3). Estas características lo convierten en un cultivo de alto valor comercial con un precio promedio de 16 mil pesos por tonelada y un rendimiento que puede alcanzar las 20 toneladas por hectárea, lo que genera ingresos cercanos a los 320 000 pesos por hectárea, superando los 160 mil que en promedio se alcanzan con el cultivo del nogal.



El granado puede ahorrar más del 50% de agua en comparación con el nogal.





Cadena de valor de productos agrícolas diversificados



Figura 3. Cadena de valor de productos agrícolas diversificados.

El girasol: un cultivo multifacético de bajo consumo hídrico

El cultivo del girasol (*Helianthus annuus* L.), se presenta como multipropósito ya que puede ser utilizado como planta de ornato, como oleaginoso o como alternativa de forraje para complementar dietas de rumiantes. Al igual que el granado, es un cultivo versátil que se adapta a condiciones climáticas extremas, sobre todo en regiones donde el suministro de agua es un problema, considerando un consumo de agua de 4.5 Mm³ para producir flor hasta 6 Mm³ para producir semilla, por hectárea anuales. A nivel mundial, el girasol se considera como un cultivo atractivo para el agricultor debido a sus bajas demandas de recursos y su fácil comercialización, sobre todo en aceite, alcanzando las 20.4 millones de toneladas en el ciclo agrícola de 2022 a 2023.

Según datos de la FAO, el cultivo del girasol tuvo un valor de producción a nivel mundial por encima de los 25 mil millones de dólares, mientras que el SIAP, reporta una producción nacional de 5 mil toneladas y sobre todo lo incluye entre los cuatro

cultivos con mayor potencial para ser utilizado en la reconversión de cultivos en zonas de sequía prolongada o lluvias intermitentes por su potencial adaptativo, su tolerancia a metales pesados, buen desarrollo en suelos sobre explotados y su gran eficiencia en el uso de agua.

El girasol es un cultivo multipropósito, resistente y de bajo consumo de agua.

El girasol destaca por su eficiencia en el uso del agua y su fácil comercialización.



Retos para la juventud



Es importante comenzar a introducir en las pláticas a agrícolas el tema de diversificación de cultivos, debido a que cada vez es más complicado producir los cultivos tradicionales de las zonas áridas, generando dificultades para alcanzar la sostenibilidad, ya que, a causa de los altos consumos hídricos de dichos cultivos, los costos de producción se vuelven muy elevados, lo que provoca que los agricultores de la zona bajen su rentabilidad. La situación presenta un reto a las nuevas generaciones de científicos agrícolas, presentándose el problema de cómo convencer a los agricultores de cambiar sus cultivos de toda una vida, por otros que son desconocidos para ellos, además, es necesario desarrollar los paquetes tecnológicos necesarios para el establecimiento de estos cultivos en la zona.

La reconversión de cultivos exige innovación tecnológica y la participación de nuevas generaciones.



Conclusión

La reconversión hacia cultivos alternativos como el granado y el girasol podría ofrecer ventajas significativas en términos de ahorro de agua, resiliencia climática y rentabilidad económica. Sin embargo, la diversificación de cultivos requiere la colaboración coordinada de gobierno, academia y productores agrícolas, para lograr alcanzar la seguridad alimentaria, la competitividad y sostenibilidad en escenarios de sequía en las zonas áridas y en el Centro Sur del Estado de Chihuahua.



Literatura recomendada

- Da Silva, S. D., Souza, G. P. D., Chaves, A. R. D. M., Silva, M. A. D., Souza, R. R. D., & Beckmann-Cavalcante, M. Z. (2022). Morphophysiological aspects of ornamental sunflowers cultivated in different growing seasons under semi-arid conditions. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 26, 299-305.
- Narjesi, V., Bonyanpour, A., & Ghasemi-Soloklui, A. A. (2025). Determining the optimal harvest time for pomegranate variety wonderful in semi-arid climate. *Scientific Reports*, 15(1), 7668.
- Renteria-Villalobos, M., Hanson, R. T., & Eastoe, C. (2022). Evaluation of climate variability on sustainability for transboundary water supply in Chihuahua, Mexico. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 44, 101207.





Semblanzas de autores

Dr. Alejandro Palacio Márquez. Doctor en ciencias, con terminación en horticultura por parte del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (CIAD), profesor investigador en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Miembro del SNII nivel I.

M.C. Carlos Abel Ramírez Estrada. Maestría en ciencias, con terminación en Horticultura, estudiante de doctorado en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) y profesor investigador en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH).

M. C. Omar Cástor Ponce García. Ingeniero Agrónomo por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, M. C. en Productividad Frutícola por la Universidad Autónoma de Chihuahua. Jefe del Campo Experimental Delicias en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Forestales (INIFAP).

Dra. Janeth Guadalupe González Domínguez. Lic. en Administración con especialidad en Mercadotecnia por el Instituto Tecnológico de Chihuahua. M. A. en Agronegocios y Doctora en Administración por la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Docente investigadora de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la UACH.

Dra. Jerónima Antonieta Pérez. Doctora en Administración y especialidad en agronegocios, por parte de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Profesora-investigadora en el área socioeconómica agropecuaria en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH).



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>



Paisaje, suelos y agricultura en Huajuapán de León, Oaxaca

Juan Fidel Reyes Velasco^{1*}

¹ Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Suelos. Texcoco, Estado de México, México

*Autor de Correspondencia: jfidelreyesv@gmail.com

En Huajuapán de León, el suelo no se acaba por descuido reciente, sino porque nunca tuvo la oportunidad de profundizarse. Los suelos someros no son una anomalía del paisaje mixteco, sino una condición natural que define su fragilidad.

Introducción

En Huajuapán de León, Oaxaca, cavar en el suelo suele ser una experiencia breve. Basta hundir la pala unos cuantos centímetros para que el esfuerzo se detenga de golpe: aparece la roca o un material duro que impide seguir avanzando. Para quienes trabajan la tierra, esta situación no necesita términos técnicos ni explicaciones complicadas; simplemente se dice que el suelo “se acaba pronto”. Esta expresión cotidiana describe con precisión una realidad visible en el paisaje: el suelo disponible para sostener plantas, almacenar agua y permitir el crecimiento de raíces es escaso.

Esta condición no es un accidente ni una falla del territorio. Es el resultado de la forma en que el paisaje y los suelos de la región se han construido a lo largo del tiempo. Las laderas, los cerros y los valles estrechos, junto con la cercanía de la roca y el tipo de materiales que le dan origen al suelo, han limitado su profundidad desde el inicio. En este entorno, el suelo no ha tenido oportunidad de crecer hacia abajo; su espesor es reducido porque así lo permiten el relieve y la base geológica sobre la que se forma.

Leer el paisaje ayuda a entender esta realidad. La presencia de suelos delgados en las partes altas, la abundancia de fragmentos rocosos y los cambios visibles en la vegetación no son rasgos aislados, sino señales que se repiten en gran parte del territorio. Observar el color del suelo, su espesor, la rapidez con la que aparece la roca y la forma del terreno permite reconocer patrones claros. La clasificación de los suelos ordena estas observaciones y muestra que los suelos someros no son excepciones locales, sino una característica dominante del paisaje de Huajuapán de León.

Cuando el perfil del suelo es delgado, perder unos cuantos centímetros significa perder una parte esencial del sistema.



Figura 1. Afloramiento rocoso y talud natural en la región de Huajuapán de León, Oaxaca, representativo del material parental y la geomorfología local.

Esta lectura del suelo va más allá de asignar un nombre o una categoría. Permite comprender por qué algunas prácticas agrícolas funcionan en ciertos sitios y fracasan en otros, y por qué la pérdida de unos pocos centímetros de suelo puede tener consecuencias graves en un territorio donde el perfil total es reducido. Cuando el suelo es poco profundo, cada intervención sobre la superficie – retirar la cobertura vegetal, concentrar el escurrimiento del agua o modificar la pendiente – actúa sobre un sistema que ya opera cerca de su límite natural. Este texto propone una mirada al suelo desde su forma y su relación con el paisaje, como una herramienta para reconocer sus límites y reflexionar sobre su manejo. Entender cómo se formaron los suelos someros de Huajuapán de León es un primer paso para leer el territorio con mayor atención y evitar que la degradación del suelo se acelere por decisiones que ignoran su historia y su propia capacidad de resistencia.

¿Cómo se formaron los suelos someros de Huajuapán de León, Oaxaca?

La manera en que se formaron los suelos de Huajuapán de León está directamente ligada a la historia del terreno que los sostiene. El municipio se encuentra en la Mixteca Alta de Oaxaca, dentro de la Sierra Madre del Sur, una provincia fisiográfica cuya evolución geológica comenzó desde el Paleozoico (aproximadamente entre 541 y 252 millones de años antes del presente), continuó durante el Mesozoico (252 a 66 millones de años) y siguió modificándose en el Cenozoico (66 millones de años hasta la actualidad). El resultado de esa prolongada historia es un paisaje de cerros, laderas y valles donde el suelo nunca ha tenido condiciones sencillas para acumularse.



En primer lugar, afloran rocas muy antiguas, como gneises y esquistos (Figuras 1 y 2), que forman parte del basamento metamórfico de la región y cuya edad puede remontarse al Paleozoico, es decir, a más de 250 millones de años de antigüedad. Estas rocas son duras y resistentes, por lo que se desintegran con mucha lentitud. Cuando comienzan a alterarse, generan suelos delgados, llenos de fragmentos de piedra y con muy poco espesor. En términos técnicos, un suelo somero suele presentar menos de 30 cm de profundidad efectiva antes de encontrar roca o una capa que limita el crecimiento de las raíces, mientras que los suelos profundos superan generalmente 100 cm. En distintas partes del municipio –donde las elevaciones oscilan entre 1600 y 2000 metros sobre el nivel del mar– la roca puede aparecer a poca profundidad al excavar, lo que explica la presencia frecuente de perfiles con espesores menores a esos 30 cm.

Posteriormente, durante el Mesozoico (252–66 millones de años), sobre ese basamento antiguo se depositaron materiales sedimentarios como areniscas, conglomerados y calizas, formados en antiguos mares y ambientes continentales. Estas rocas cubren hoy gran parte de los cerros bajos y los valles. Las calizas, por ejemplo, dan origen a suelos con presencia de carbonatos, mientras que las areniscas y conglomerados producen suelos más sueltos y de textura más gruesa. Sin embargo, cuando estas formaciones se encuentran en pendientes, el suelo que se forma sobre ellas también tiende a ser poco profundo, ya que el material se desplaza con facilidad cuesta abajo y no logra acumularse durante largos periodos.



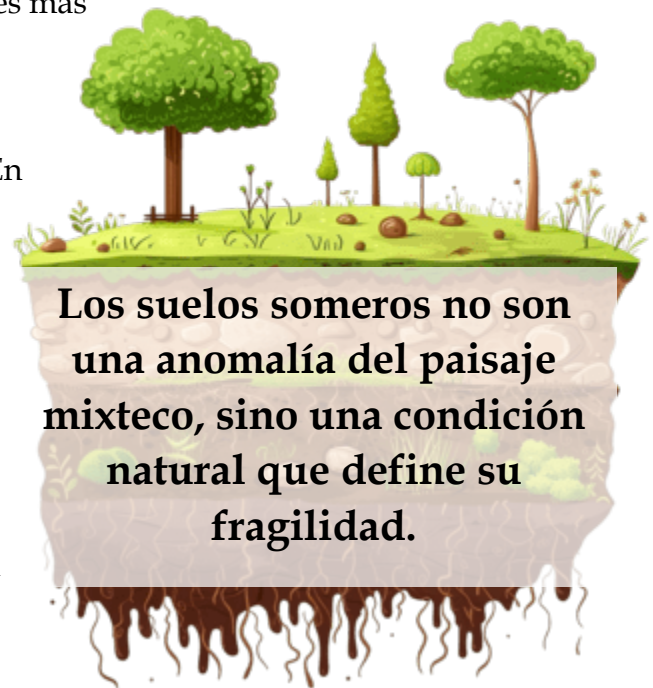
Figura 2. Fragmento de roca metamórfica presentes en la superficie del suelo en zonas altas del municipio de Huajuapán de León.



Más tarde, ya en el Cenozoico (66 millones de años hasta el presente), la actividad volcánica dejó su huella en la región. Durante distintos momentos de este periodo – particularmente en el Neógeno y Cuaternario, dentro del Cenozoico– cenizas, tobas y coladas de lava cubrieron amplias zonas del territorio. Al transformarse con el tiempo, estos materiales volcánicos suelen generar suelos con mayor desarrollo, más arcilla y buena disponibilidad de nutrientes, lo que permite un perfil algo más espeso en comparación con los desarrollados directamente sobre roca metamórfica. En lugares donde el relieve es menos inclinado y la superficie permanece estable durante más tiempo, estos suelos pueden alcanzar mayor espesor y retener mejor el agua. Aun así, su profundidad final sigue dependiendo de la estabilidad del terreno y de la pendiente, factores que determinan si el suelo logra acumularse o si es removido continuamente por la erosión.

En etapas más recientes del Cenozoico, especialmente durante el Cuaternario (los últimos 2.6 millones de años), los procesos de erosión y depósito terminaron de modelar el paisaje actual. En contraste con lo que ocurre en las laderas y superficies inestables, en las zonas bajas, cerca de ríos y arroyos, el suelo se forma de otra manera. Aquí no se construye directamente a partir de la roca del lugar, sino a partir de materiales que descienden desde las partes más altas del relieve. Con cada temporada de lluvias, arenas, limos y arcillas son transportados y depositados gradualmente, dando origen a suelos aluviales más profundos y organizados en capas. En estos espacios, a diferencia de las pendientes, el suelo se acumula en lugar de perderse, por lo que puede superar con facilidad el metro de espesor cuando las condiciones son estables.

El clima acompaña este proceso sin ser el factor principal en la diferenciación del paisaje. Las lluvias – características del régimen estacional de la región– favorecen la meteorización de las rocas y el transporte del material suelto. Sin embargo, su efecto más visible es la redistribución del suelo dentro del territorio: lo que se desprende y se adelgaza en las laderas tiende a concentrarse y profundizarse en los valles.



Los suelos someros no son una anomalía del paisaje mixteco, sino una condición natural que define su fragilidad.



En conjunto, la larga historia geológica – desde el Paleozoico hasta el Cuaternario –, la diversidad de rocas y la forma ondulada del terreno explican por qué en Huajuapán de León conviven suelos muy delgados en posiciones inestables con suelos más profundos en las zonas de acumulación. El suelo no es una capa uniforme que cubre todo el territorio, sino una respuesta local a la geología, al relieve y al tiempo. Entender este origen permite reconocer que la escasa profundidad del suelo en muchas áreas no es una falla ni un problema reciente, sino una condición natural del paisaje que define tanto sus posibilidades de uso como su fragilidad.

Influencia en el paisaje actual

Al recorrer el territorio de Huajuapán de León, el paisaje muestra contrastes claros. En los cerros y laderas predominan superficies pedregosas, con suelos delgados y una vegetación baja y dispersa (Figura 3). Cactáceas, matorrales espinosos y selva baja caducifolia cubren gran parte de estas áreas, dejando amplios espacios donde el suelo parece escaso o incluso ausente. En algunos cerros altos, la roca aflora directamente en la superficie y la cobertura vegetal es mínima, dando lugar a un paisaje abierto y seco.

En contraste, las zonas cercanas a ríos y arroyos como el Mixteco y el Salado se reconocen fácilmente por su color y densidad vegetal. A lo largo de estos cauces aparecen franjas verdes continuas, con árboles como sauces y ahuehuetes, acompañados de carrizos y otras plantas asociadas a suelos húmedos. Estas áreas destacan dentro del paisaje árido circundante y concentran buena parte de la actividad agrícola y humana.

Este patrón no es casual. La explicación se encuentra en la distribución del suelo y en su relación con la forma del terreno. En las laderas y cerros, los suelos son someros y rocosos, con poca profundidad para almacenar agua y nutrientes. Estas condiciones favorecen vegetación adaptada a la escasez y limitan el desarrollo de especies de mayor tamaño. Además, la pendiente facilita el escurrimiento del agua de lluvia, reduciendo la infiltración y aumentando la pérdida del suelo superficial.



Figura 3. Afloramiento de la roca madre que actúa como material parental de los suelos someros en Huajuapán de León, Oaxaca.

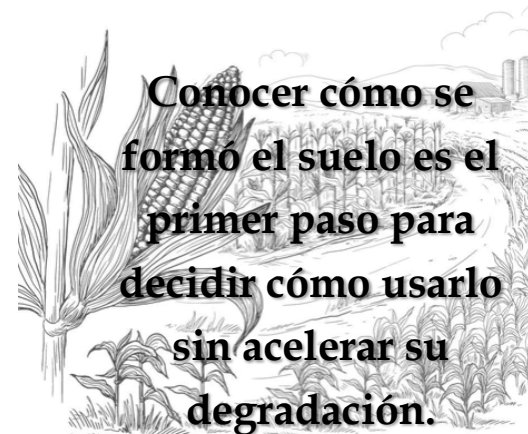


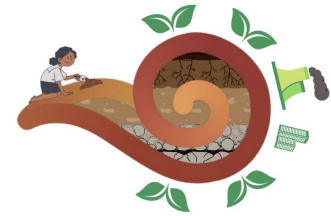
Por el contrario, en los valles y planicies fluviales, el suelo se forma por la acumulación de sedimentos transportados desde las partes altas. Estos suelos son más profundos y mantienen mayor humedad, lo que permite el desarrollo de vegetación más densa y diversa. Aquí, el suelo actúa como un reservorio que amortigua la variabilidad del clima y sostiene un paisaje más verde y productivo. En las zonas altas de la Mixteca Alta, la combinación de suelos naturalmente delgados y la pérdida histórica de la cobertura vegetal ha reducido aún más la capacidad del suelo para infiltrar el agua de lluvia. Cuando el suelo queda expuesto, el escurrimiento aumenta y la erosión se intensifica, dejando superficies cada vez más pobres y con menor capacidad de recuperación. Este proceso ha dado lugar a barrancas, cárcavas y laderas con suelo casi desnudo, rasgos que hoy forman parte del paisaje característico de la región.

Así, el paisaje actual de Huajuapán de León puede leerse como una expresión directa del suelo: donde el suelo es delgado, el paisaje es abierto y seco; donde el suelo es profundo, el paisaje se vuelve más verde y estable. Observar estos contrastes permite entender que la apariencia del territorio no es aleatoria, sino el resultado de los límites y posibilidades que impone el suelo sobre el que se construye.

Clasificación de suelos y agricultura

La agricultura en Huajuapán de León refleja de manera directa las características del suelo y del paisaje donde se practica. En gran parte del municipio, la actividad agrícola se basa en la milpa tradicional, donde el maíz (*Zea mays*) se siembra asociado con frijol (*Phaseolus vulgaris*) y calabaza (*Cucurbita spp.*). Este sistema, además de formar parte de la dieta básica local, representa una estrategia de adaptación a suelos poco profundos y a una disponibilidad limitada de agua. Otros cultivos, como el trigo (*Triticum aestivum*), el café (*Coffea arabica*) y algunos frutales – mango (*Mangifera indica*), aguacate (*Persea americana*) y durazno (*Prunus persica*) – se establecen en áreas específicas, generalmente donde el suelo ofrece mejores condiciones o donde el relieve es menos abrupto. La distribución de estos cultivos está estrechamente relacionada con los grupos de suelos que predominan en la región. En la Mixteca Alta, y particularmente en Huajuapán de León, la mayor parte del territorio está cubierta por Leptosoles y Regosoles (Figura 4), grupos de suelos caracterizados por perfiles someros, alta presencia de fragmentos rocosos y una capacidad limitada para retener agua. En estos suelos, el crecimiento de las raíces es restringido y el desarrollo de los cultivos depende casi por completo del corto periodo en que el suelo logra mantener humedad.





MAPA FISIGRÁFICO Y DE SUELOS
 DEL MUNICIPIO DE HUAJUAPAN DE
 LEÓN OAXACA

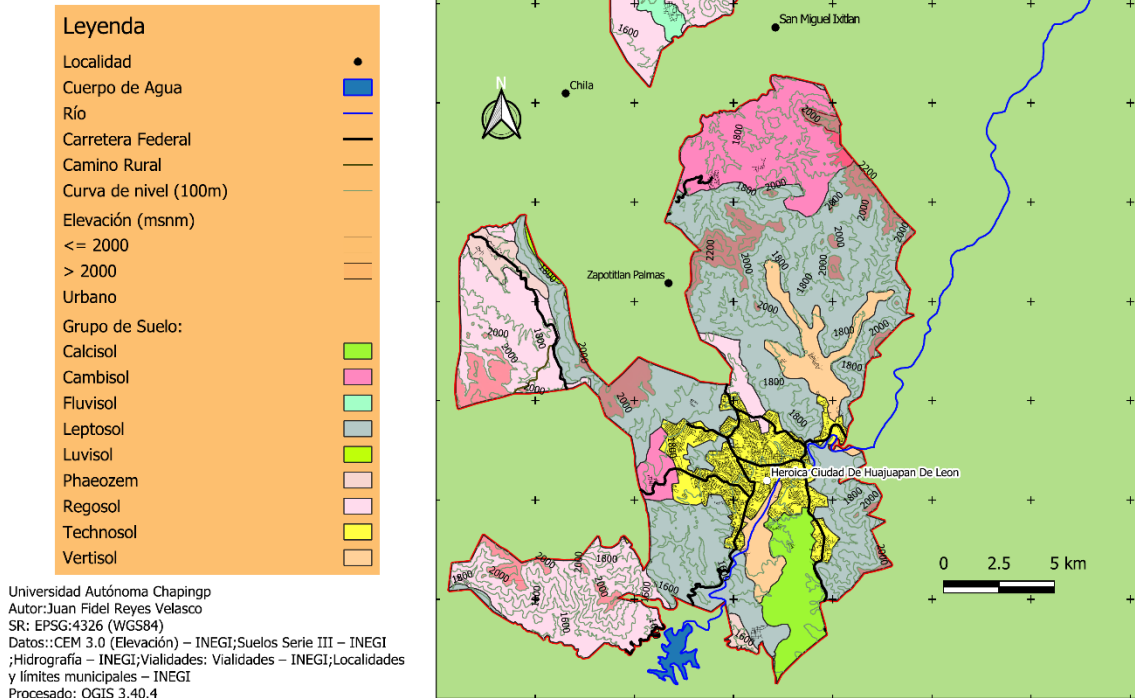


Figura 4. Mapa de suelos de Huajuapán de León, Oaxaca, donde se aprecia la predominancia de suelos someros en laderas y partes altas del relieve.

En algunas zonas intermedias aparecen Cambisoles, grupos de suelos con un desarrollo ligeramente mayor. Aunque su profundidad sigue siendo limitada, presentan una capa superficial algo más gruesa y una estructura más estable. En estos espacios es posible establecer pequeñas huertas o cultivos de temporal, pero la producción continúa condicionada por la pendiente y por la rápida pérdida de humedad del suelo.

Los grupos de suelos con mayor potencial agrícola se localizan en áreas muy específicas del paisaje. En los valles protegidos y planicies fluviales se encuentran suelos más profundos, asociados a Luvisoles y Vertisoles, donde el suelo ofrece mayor volumen para el desarrollo radicular y una mejor capacidad de retención de agua. Estas zonas concentran buena parte de la agricultura más intensiva del municipio, aunque su extensión es limitada y no representa la condición dominante del territorio.



Frente a estas restricciones, se han identificado cultivos mejor adaptados a los grupos de suelos someros que predominan en la región. Entre ellos destaca la pitaya de cactus columnar, principalmente de los géneros *Stenocereus spp.* y *Pachycereus spp.*, especies nativas de ambientes áridos y semiáridos, con buena adaptación a suelos delgados y pedregosos. A diferencia de la pitahaya de hábito rastrero, estas cactáceas se desarrollan de forma vertical y aprovechan eficientemente la escasa humedad del suelo.

De manera similar, el nopal tunero (*Opuntia ficus-indica*) muestra afinidad con estos grupos de suelos, aunque actualmente su producción se limita a pequeñas parcelas. Otras especies locales de interés son el huamúchil (*Pithecellobium dulce*) y el huaje (*Leucaena leucocephala*), árboles y arbustos adaptados a suelos poco profundos, cuyos frutos y semillas son comestibles y cuya capacidad para fijar nitrógeno puede contribuir a mejorar las condiciones del suelo y proporcionar sombra y cobertura.

Desde esta perspectiva, la clasificación en grupos de suelos no es solo un ejercicio técnico, sino una herramienta práctica para orientar la agricultura. Reconocer qué grupo de suelo domina en cada parte del territorio permite entender por qué ciertos cultivos han persistido a lo largo del tiempo y por qué otros resultan difíciles de mantener. En Huajuapán de León, la agricultura se desarrolla dentro de límites físicos claros, impuestos por suelos someros y un relieve complejo, lo que hace indispensable ajustar las prácticas productivas a las condiciones reales del suelo.



Conclusión

El suelo de Huajuapán de León no es profundo ni abundante, y esa condición ha marcado históricamente al paisaje y a quienes lo habitan. La presencia de cerros, laderas y valles estrechos ha favorecido la formación de suelos delgados y pedregosos en gran parte del territorio, mientras que solo en las zonas bajas se han podido desarrollar suelos más profundos. Esta realidad explica por qué la agricultura siempre ha sido limitada y por qué el terreno es especialmente sensible al desgaste.



A pesar de estas restricciones naturales, las comunidades han logrado adaptarse mediante sistemas agrícolas tradicionales como la milpa y el aprovechamiento de especies resistentes a la sequía. Sin embargo, cuando el suelo se usa sin considerar sus límites – por ejemplo, al desmontar laderas o cultivar en pendientes pronunciadas – la pérdida de tierra fértil se acelera y el daño es difícil de revertir. En muchos casos, basta una temporada de lluvias intensas para que el suelo superficial desaparezca y deje expuesta la roca.

Las prácticas de conservación del suelo y captación de agua muestran que todavía es posible cuidar y recuperar parte de este recurso. Terrazas, bordos, pequeñas represas y la recuperación de la vegetación ayudan a retener el agua de lluvia, reducir la erosión y mantener la humedad por más tiempo. Estas acciones no transforman el paisaje de la Mixteca, pero sí permiten que el suelo cumpla mejor su función y sostenga la vida rural.

Comprender cómo se formaron los suelos y por qué son frágiles es clave para su manejo futuro. En Huajuapán de León, el suelo no debe verse como un recurso ilimitado, sino como una base delicada del paisaje que requiere respeto y cuidado. Su conservación no solo protege la producción agrícola, sino también la estabilidad del territorio y la relación entre las comunidades y su entorno.

Literatura recomendada

- Figueroa Jáuregui, M. de L. et al. (2018). Influence of factors of soil formation in the properties of soils in Mixteca, Oaxaca, México. *Revista Terra Latinoamericana*, 36(3), 287–299.
- Toledo, M. L. et al. (2018). Identificación de covariables ambientales que influyen en la formación de cárcavas en la Mixteca Oaxaqueña. *Revista Terra Latinoamericana*, 36(4), 323–335.
- Martínez Menez, M.R. et al. (2017). Digital soil classification through environmental covariables of the Mixteco river watershed. *Revista Terra Latinoamericana*, 35(4), 281–291.



Semblanzas de autores

Juan Fidel Reyes Velasco es estudiante de Ingeniero Agrónomo Especialista en Suelos en la Universidad Autónoma Chapingo, interesado en la formación y manejo de suelos y en la divulgación del conocimiento edáfico para distintos públicos.



Okra: Un alimento con alto valor nutritivo y bueno para la salud

Gaspar Santana-Charles^{1*}
Álvaro Morelos-Moreno²
Ileana Vera-Reyes³
Eduardo A. Treviño-López³

¹ Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Saltillo, Coahuila, México, C.P. 25315.

² SECIHTI-. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

³ Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila, México.

*Autor de correspondencia: gaspar2019sant@outlook.com

Los frutos de la okra (*Abelmoschus esculentus* L.) son de interés por su elevada calidad nutricional debido a su contenido de fibra dietética, vitaminas y minerales. Además, posee compuestos bioactivos (flavonoides y polifenoles), los cuales presentan actividad antioxidante, antiinflamatoria y metabólica. Estos compuestos se asocian con efectos benéficos en la regulación de la glucosa, el perfil lipídico y la salud cardiovascular. Por lo anterior, la okra se considera un alimento con propiedades funcionales, importante para la prevención de enfermedades crónicas y la promoción de la salud.

Introducción

En las últimas décadas, el interés por los alimentos funcionales se ha incrementado de manera significativa por su papel en la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles y en el cuidado de la salud del organismo humano. En este contexto, las hortalizas con alto valor funcional juegan un papel fundamental por su riqueza en fitoquímicos con actividad antioxidante, antiinflamatoria y metabólica.

La planta de okra pertenece a la familia Malvaceae, una hortaliza con amplio consumo en regiones tropicales y subtropicales a nivel mundial (Figura 1a). En México, la okra es una hortaliza cuya superficie cultivada es limitada, con alrededor de 200 hectáreas, ubicadas principalmente en el estado de Tamaulipas, con rendimiento promedio de 9.5 ton ha⁻¹, producción que se destina a la exportación en Estados Unidos de América. Por otro lado, no existe superficie orgánica establecida de okra. Además, la variedad Clemson ha sido el único ecotipo cultivado año con año en las siembras convencionales en campo abierto.





Figura 1. Vista general de la planta (a), semilla (b) y fruto de okra (c) (*Abelmoschus esculentus* L.) cv. Clemson.

Tradicionalmente, la okra ha sido valorada por su aporte nutricional, destacando su contenido de fibra dietética, vitaminas y minerales. Investigaciones recientes han demostrado que la okra es una fuente de polisacáridos mucilaginosos, flavonoides y polifenoles, compuestos asociados con efectos antioxidantes, hipoglucemiantes y cardioprotectores.

En un estudio realizado se analizó la calidad nutricional y funcional de la okra, especificando su composición nutricional, los principales compuestos bioactivos, con el fin de resaltar su potencial como alimento nutritivo y sus beneficios a la salud humana.



Las hortalizas con alto valor funcional juegan un papel fundamental por su riqueza en fitoquímicos con actividad antioxidante, antiinflamatoria y metabólica.

La calidad funcional de los alimentos vegetales está determinada por la presencia, concentración y biodisponibilidad de fenoles, vitaminas, carotenoides, minerales y aminoácidos que, además de nutrir, generan beneficios fisiológicos para la salud humana. La okra, al igual que otros vegetales, contiene algunos de estos compuestos bioactivos, apreciados por su papel en el cuidado de la salud de los consumidores.

Se ha reportado que las semillas de la planta de okra son una fuente de aceite, que constituye entre el 20 y el 40 % de la composición total, lo que varía según el procedimiento de extracción (Figura 1b). El ácido linoleico, un conocido representante de los ácidos grasos poliinsaturados, es el componente dominante del contenido de aceite (47.4 %) de las semillas de okra. Otros componentes dietéticos importantes y esenciales para el crecimiento humano son los aminoácidos y las proteínas. Se ha descrito que las semillas de okra tienen una composición proteica diferente a la de los cereales y las legumbres, ya que sus ingredientes proteicos se modifican para presentar un equilibrio de aminoácidos característicos, concretamente lisina y triptófano. Los frutos de okra representan un componente importante de la dieta humana, debido a su amplio contenido en aminoácidos esenciales como ácido aspártico, ácido glutámico y leucina.

El fruto de la okra contiene por cada porción de 100 gramos: calorías totales 33.0 Kcal, carbohidratos totales 7.45 g, agua 89.58 g, proteínas totales 1.93 g, fibra dietética 3.2 g, almidón 0.34 g, azúcares 1.48 g, fructuosa 0.57 g, grasas totales 0.19 g, ácidos grasos omega-3 totales 0.001 g, ácidos grasos omega-6 totales 0.026 g y fitoesteroles 0.024 g (Figura 1c).

Los compuestos fenólicos son sustancias naturales de las plantas que les aportan propiedades antioxidantes. Muchas de estas sustancias son benéficas para la salud humana. A continuación, se presenta la concentración de fenoles totales, sus alimentos fuente y los beneficios a la salud humana (Tabla 1).



La okra es una fuente de polisacáridos mucilaginosos, flavonoides y polifenoles, compuestos asociados con efectos antioxidantes, hipoglucemiantes y cardioprotectores.



Tabla 1. Concentración de fenoles totales en algunos alimentos y sus beneficios a la salud.

Alimentos con muy alto contenido de fenoles (>10.0 mg EAG g⁻¹)	Clavo especia (150 mg EAG g ⁻¹), semillas de cacao (30 mg EAG g ⁻¹), hojas de té verde (17 mg EAG g ⁻¹), frutos de arándanos (10 mg EAG g ⁻¹), aceitunas negras (12 mg EAG g ⁻¹), uvas negras (9 mg EAG g ⁻¹) y fruto de granada (10 mg EAG g ⁻¹).
Frutos con alto contenido de fenoles (4 - 10 mg EAG g⁻¹)	Fresa (6 mg EAG g ⁻¹), mora (4 mg EAG g ⁻¹), alcachofa (4 mg EAG g ⁻¹), berenjena (4 mg EAG g ⁻¹) y okra (1.5 mg EAG g ⁻¹).
Beneficios	Efecto antioxidante, acción antiinflamatoria, protección cardiovascular, efecto anticancerígeno, mejora la digestión y protección cerebral.

Nota: Los datos son expresados en base a peso fresco. EAG: equivalentes de ácido gálico.

Las vitaminas son nutrientes naturales presentes en alimentos vegetales que ayudan a mantener el buen funcionamiento y la salud de los seres humanos. A continuación, se presenta la concentración de algunas vitaminas, sus alimentos fuente y los beneficios a la salud humana (Tabla 2).

Tabla 2. Concentración de vitaminas en algunos alimentos y sus beneficios a la salud

B	Alimento	Semillas de girasol (70 µg 100g ⁻¹), nuez (60 µg 100 g ⁻¹), semilla de soya (170 µg 100 g ⁻¹), hojas de espinaca (194 µg 100 g ⁻¹), fruto de okra (88 µg 100 g ⁻¹) y fruto de aguacate (85 µg 100 g ⁻¹).
	Beneficio	Producción de energía celular, funcionamiento del sistema nervioso, formación de glóbulos rojos y prevención de anemia (ácido fólico).
C	Alimento	Naranja (50 µg 100 g ⁻¹), mandarina (30 µg 100 g ⁻¹), limón (40 µg 100 g ⁻¹), kiwi (95 µg 100 g ⁻¹), pimienta (100 µg 100 g ⁻¹), guayaba (200 µg 100 g ⁻¹), fresa (60 µg 100 g ⁻¹) y fruto de okra (23 µg 100 g ⁻¹).
	Beneficio	Potente antioxidante, refuerza el sistema inmunológico, favorece la absorción del hierro vegetal, fortalece defensas, piel y vasos sanguíneos; acelera la cicatrización.
E	Alimento	Semilla de almendra (25 µg 100 g ⁻¹), semilla de avellana (16 µg 100 g ⁻¹), semilla de pistache (8 µg 100 g ⁻¹), semilla de girasol (35 µg 100 g ⁻¹), semilla de cacahuete (9 µg 100g ⁻¹) y fruto de okra (0.3 µg 100 g ⁻¹).
	Beneficio	Protección celular antioxidante, prevención de enfermedades cardiovasculares y apoyo a la salud reproductiva.
K	Alimento	Hoja de col rizada (400 µg 100g ⁻¹), hoja de espinaca (490 µg 100g ⁻¹), hoja de acelga (40 µg 100g ⁻¹), hoja de lechuga romana (40 µg 100g ⁻¹) y fruto de okra (38 µg 100g ⁻¹).
	Beneficio	Coagulación sanguínea normal y salud ósea (fijación del calcio).

Nota: Los datos son expresados en base a peso fresco.



Los carotenoides son pigmentos naturales que producen las plantas y que les confieren colores amarillos, naranjas y rojos a muchas frutas, verduras y flores. A continuación, se presenta la concentración de algunos carotenoides, sus alimentos fuente y los beneficios a la salud humana (Tabla 3).

Tabla 3. Concentración de carotenoides en algunos alimentos y sus beneficios a la salud.

β-caroteno	Alimento	Zanahoria (8.5 mg 100 g ⁻¹), camote (7.5 mg 100 g ⁻¹) y fruto de okra (0.035 mg 100 g ⁻¹).
	Beneficios	Precursor de vitamina A.
Luteína	Alimento	Hoja de Acelga (3.5 mg 100 g ⁻¹), hoja de espinaca (12 mg 100 g ⁻¹), hoja de col rizada (37.5 mg 100 g ⁻¹) y fruto de okra (0.15 mg 100 g ⁻¹).
	Beneficios	Salud ocular.
Zeaxantina	Alimento	Grano de maíz (0.12 mg 100 g ⁻¹), pimientos de colores (1.5 mg 100 g ⁻¹), fruto de calabaza (0.5 mg 100 g ⁻¹) y fruto de okra (0.15 mg 100 g ⁻¹).
	Beneficios	Protección retinal.

Nota: Los datos son expresados en base a peso fresco.

La fibra dietética soluble ayuda a mejorar la digestión y la salud de los seres humanos. Entro los ejemplos de alimentos que contienen fibra dietética soluble se encuentran la semilla de linaza (6.5% de peso fresco), semilla de chía (5.0%), fruto de nopal (4.0%), hojas de sábila (5.0%), y el fruto de la okra (6.5% de peso fresco). Los principales beneficios para la salud del consumo de la fibra dietética es que protege la mucosa intestinal, mejoran el tránsito y efecto prebiótico.

Los minerales esenciales son elementos inorgánicos que el cuerpo necesita en pequeñas cantidades para funcionar correctamente y que obtenemos al consumir alimentos vegetales. Participan como cofactores enzimáticos y reguladores fisiológicos. A continuación, se presenta la concentración de algunos de los minerales esenciales, sus alimentos fuente y los beneficios a la salud humana (Tabla 4).



Los frutos de okra representan un componente importante de la dieta humana, debido a su amplio contenido en aminoácidos esenciales como ácido aspártico, ácido glutámico y leucina.





Tabla 4. Concentración de minerales en algunos alimentos y sus beneficios a la salud.

P	Alimento	Semilla de frijol (400 mg 100 g ⁻¹), semilla de lenteja (350 mg 100 g ⁻¹) y fruto de okra (61 mg 100 g ⁻¹).
	Beneficio	Esencial para la salud ósea, facilita el metabolismo energético (producción de ATP), la reparación celular, la función nerviosa y la contracción muscular, mejorando la resistencia física.
Ca	Alimento	Semilla de ajonjolí (1000 mg 100 g ⁻¹), semilla de almendra (270 mg 100g ⁻¹), hoja de col rizada (175 mg 100g ⁻¹) y fruto de okra (90 mg 100g ⁻¹).
	Beneficio	Fortalecimiento óseo.
Mg	Alimento	Semilla de calabaza (450 mg 100 g ⁻¹), semilla de ajonjolí (375 mg 100 g ⁻¹), semilla de almendra (260 mg 100 g ⁻¹), semilla de soya (275 mg 100g ⁻¹), fruto de okra (90 mg 100 g ⁻¹) y semilla de okra (225 mg 100 g ⁻¹).
	Beneficio	Cardioprotector.
Zn	Alimento	Semilla de ajonjolí (5.5 mg 100g ⁻¹), semilla de calabaza (5.5 mg 100 g ⁻¹), semilla de almendra (3 mg 100 g ⁻¹), semilla de garbanzo (3.2 mg 100 g ⁻¹) y semilla de okra (2.2 mg 100 g ⁻¹).
	Beneficio	Fortalecimiento del sistema inmunológico.
K	Alimento	Semilla de frijol (1450 mg 100 g ⁻¹), semilla de lenteja (1300 mg 100 g ⁻¹), fruto de aguacate (1350 mg 100 g ⁻¹), fruto de plátano (2250 mg 100 g ⁻¹), tubérculo de papa (3000 mg 100 g ⁻¹) y fruto de okra (1000 mg 100 g ⁻¹).
	Beneficio	Antihipersensitivo.

Nota: Los datos son expresados en base a peso seco.

Los aminoácidos de origen vegetal son las partes pequeñas de las proteínas que se encuentran en la parte comestible de las plantas. Cuando comemos estos alimentos, el cuerpo los digiere y obtiene aminoácidos que sirven para formar músculos, reparar tejidos, producir enzimas y hormonas y para mantener el crecimiento y la salud.



El fruto de la okra contiene por cada porción de 100 gramos: triptófano 0.017 g, treonina 0.065 g, isoleucina 0.069 g, leucina 0.105 g, lisina 0.081 g, metionina 0.021 g, cisteína 0.019 g, fenilalanina 0.065 g, tirosina 0.087 g, valina 0.091 g, arginina 0.084 g, histidina 0.031 g, alanina 0.073 g, ácido aspártico 0.145 g, ácido glutámico 0.271 g, glicina 0.044 g, prolina 0.045 g y serina 0.044 g.



Hacer un comparativo de componentes nutraceuticos entre alimentos es importante en la nutrición por varias razones científicas y prácticas:

- ❖ Determinar qué alimento contiene mayor o menor cantidad de ciertos compuestos bioactivos
- ❖ Permite relacionar los alimentos con efectos fisiológicos concretos, para estimar qué alimentos podrían tener mayor impacto en la prevención de enfermedades
- ❖ Se pueden seleccionar alimentos con mayor valor nutritivo y nutraceutico
- ❖ Se pueden optimizar dietas y recomendaciones nutricionales.

El fruto de la okra aporta 2.75 veces más de fibra soluble y 2.1 veces más de flavonoides que el fruto del tomate.

A continuación, se muestra un análisis general de las cualidades nutraceuticas de la okra comparado con algunos de los alimentos con mayor potencial nutraceutico (Tabla 5).

Tabla 5. Comparativo nutricional y nutraceutico entre la okra y distintos alimentos

Fruto de arándano	La okra tiene un 99.0 % menos de antocianinas pero un 100.0 % más de fibra soluble en forma de mucílago.
Flor de brócoli	La okra no tiene glucosinolatos pero tiene fibra soluble.
Fruto de tomate	La okra aporta 2.75 veces más de fibra soluble y 2.1 veces más de flavonoides, pero un 92.5 % menos de carotenoides.
Fruto de aguacate	La okra tiene un 98.7 % menos de grasa saludable pero tiene fibra soluble en forma de mucílago.
Nuez	La okra tiene un 99.2 % menos de omega-3.
Semilla de soya	La okra tiene un 99.0 % menos de fitoestrógenos pero tiene un 67.0 % más de efecto prebiótico.
Hoja de espinaca	La okra tiene un 72.7 % menos de vitamina B, pero tiene fibra soluble en forma de mucílago.
Ajo	La okra tiene un 50 % más de índice glucémico.
Hoja de té verde	La okra tiene un 94.0 % menos de polifenoles totales, pero tiene fibra soluble en forma de mucílago.
Semilla de cacao	La okra tiene un 80 % menos de fenoles, pero tiene fibra soluble en forma de mucílago.

Conclusiones

El consumo de frutos de okra puede favorecer la regulación de la glucosa sanguínea y la sensibilidad a la insulina, por lo que constituye un alimento de interés en la prevención y el manejo de la diabetes. Asimismo, su contenido de fibra y compuestos antioxidantes se asocia con la disminución de los niveles de colesterol, la protección cardiovascular, la mejora del tránsito intestinal, el mantenimiento de la microbiota y la prevención de trastornos digestivos. De igual manera, sus antioxidantes pueden contribuir a la reducción del estrés oxidativo, proceso vinculado con el desarrollo de enfermedades crónicas no transmisibles, incluido el cáncer. En conjunto, la okra representa un recurso alimentario con valor funcional y potencial de aplicación en estrategias nutricionales dirigidas a mejorar la salud de la población.



Literatura recomendada

- Díaz-Franco, A.; Loera-Gallardo, J.; Rosales-Robles, E.; Alvarado-Carrillo, M. & Ayvar Serna, S. (2007). Producción y tecnología de la okra (*Abelmoschus esculentus*) en el noreste de México. *Agricultura Técnica en México*. 33(3): 297-307.
- Elkhalfi, A. E. O.; Alshammari, E.; Adnan, M.; Alcántara, J. C.; Awadelkareem, A. M.; Eltoum, N. E. & Ashraf, S. A. (2021). Okra (*Abelmoschus esculentus*) as a potential dietary medicine with nutraceutical importance for sustainable health applications. *Molecules*. 26(3): 696. <https://doi.org/10.3390/molecules26030696>.
- Tejada, E. & Núñez, P. (2019). La okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) un cultivo con potencial para la humanidad. *APF Revista Agropecuaria y Forestal*. 8(2): 17-26.
- Versus. (2026, 13 de marzo). Okra, análisis: 101 características relevantes. Versus. <https://versus.com/es/okra>.



Semblanza de autores

M. C. Gaspar Santana-Charles. Es estudiante de doctorado en ciencias en agricultura protegida en la UAAAN. Tiene maestría en ciencias en parasitología agrícola por la UAAAN. Trabajo por más de 16 años en ventas, investigación y desarrollo en empresas privadas nacionales e internacionales, actualmente está retomando la investigación a través de sus trabajos en el desarrollo del rendimiento y calidad nutracéutica de híbridos de okra en Invernadero en México.

Dr. Álvaro Morelos-Moreno. Egresado de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Investigador Nivel 1 del SNI del SECIHTI. Es Investigador por México por SECIHTI, en la UAAAN. Sus líneas de investigación tratan sobre: ingeniería agrícola, biofortificación de cultivos, y modelización y control de cultivos agrícolas y sistemas biológicos.

Dra. Ileana Vera-Reyes. Doctora por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Investigador Nivel 1 del SNI de SECIHTI. Adscrita al departamento de Biociencias y Agrotecnología del CIQA. Sus líneas de investigación versan Agronotecnología, Metabolismo Secundario vegetal, Bioquímica de plantas.

Dr. Eduardo A. Treviño-López. Doctor por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Adscrito al departamento de Biociencias y Agrotecnología del CIQA.





Explorando la virósfera del suelo: los guardianes invisibles de la vida

Jessica E. Martínez-Vázquez^{1*}
Fabián Fernández-Luqueño²
Ana Margarita Rodríguez-Hernández³

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

² Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Departamento de Biotecnología y Bioingeniería (Cinvestav Zacatenco), CDMX, México.

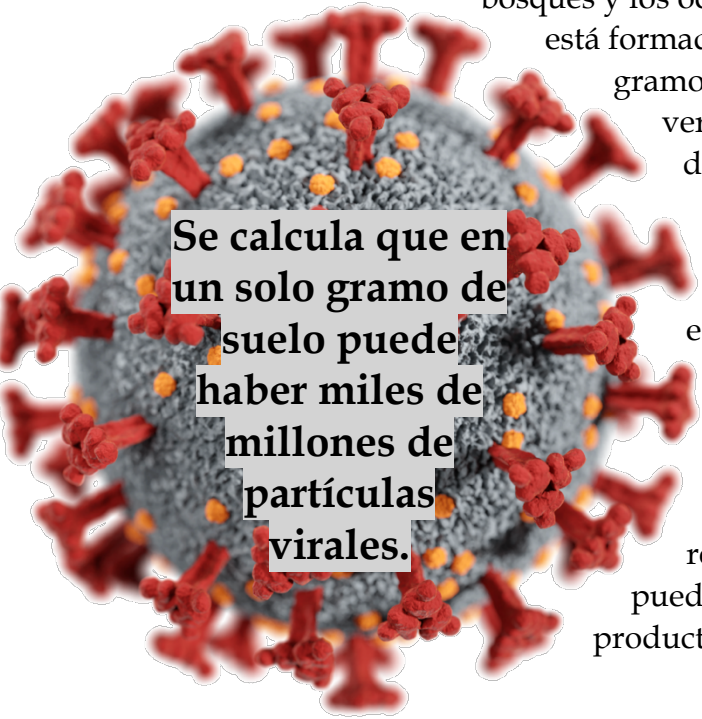
³ Centro de Investigación en Química Aplicada; Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.

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

La virósfera del suelo es el conjunto de virus que habitan en este ecosistema. Constituye un universo invisible que regula los microbios, recicla nutrientes y sostiene la fertilidad del suelo. Los virus no son únicamente amenazas, sino también son guardianes invisibles de la vida terrestre que promueven el equilibrio ecológico y abren el camino hacia una agricultura sostenible.

Introducción

Bajo nuestros pies se esconde un mundo invisible tan vasto y diverso como los bosques y los océanos que conocemos. La “virósfera del suelo” está formada por entre 10 y 1 000 millones de virus por gramo de suelo. Aunque el ojo humano no puede verlos a simple vista, estos influyen en la fertilidad del suelo, la salud de las plantas y el equilibrio de los ecosistemas. Más allá de su asociación con enfermedades, estos agentes microscópicos cumplen funciones esenciales que apenas se están descubriendo.



Se calcula que en un solo gramo de suelo puede haber miles de millones de partículas virales.

Ante los desafíos que plantean el cambio climático y la degradación del suelo, una agricultura más sostenible es indispensable. Comprender la vida microscópica del suelo y la relación entre virus, microorganismos y plantas puede contribuir a obtener cultivos más sanos y productivos.



Desarrollo

Los virus del suelo son partículas biológicas muy pequeñas (no celulares) que carecen de metabolismo propio, por lo que no están vivos por sí mismos.

Básicamente, están formados por material genético (ADN o ARN) dentro de una cápsula de proteínas y necesitan entrar en organismos (celulares) como bacterias, arqueas, hongos o plantas para multiplicarse. Su función principal consiste en infectar a estos organismos (hospedadores) y regular sus poblaciones, lo que repercute indirectamente en el funcionamiento del ecosistema.

Diversidad y variabilidad ambiental

Investigaciones recientes han revelado que la diversidad viral en el suelo supera con creces las estimaciones iniciales. Se calcula que en un solo gramo de suelo hay miles de millones de partículas virales que forman una red compleja que responde a cambios en la humedad y la temperatura del suelo o a las prácticas agrícolas.

Además, la virósfera del suelo no es uniforme, ya que varía en función del tipo de suelo, el uso agrícola y las condiciones ambientales. Los virus presentes en un bosque húmedo son distintos de los que se encuentran en un desierto o en un campo de cultivo (Figura 1). Esta variabilidad abre nuevas preguntas sobre cómo manejamos nuestros suelos y cuál es el papel que los virus podrían desempeñar en una agricultura más sostenible.

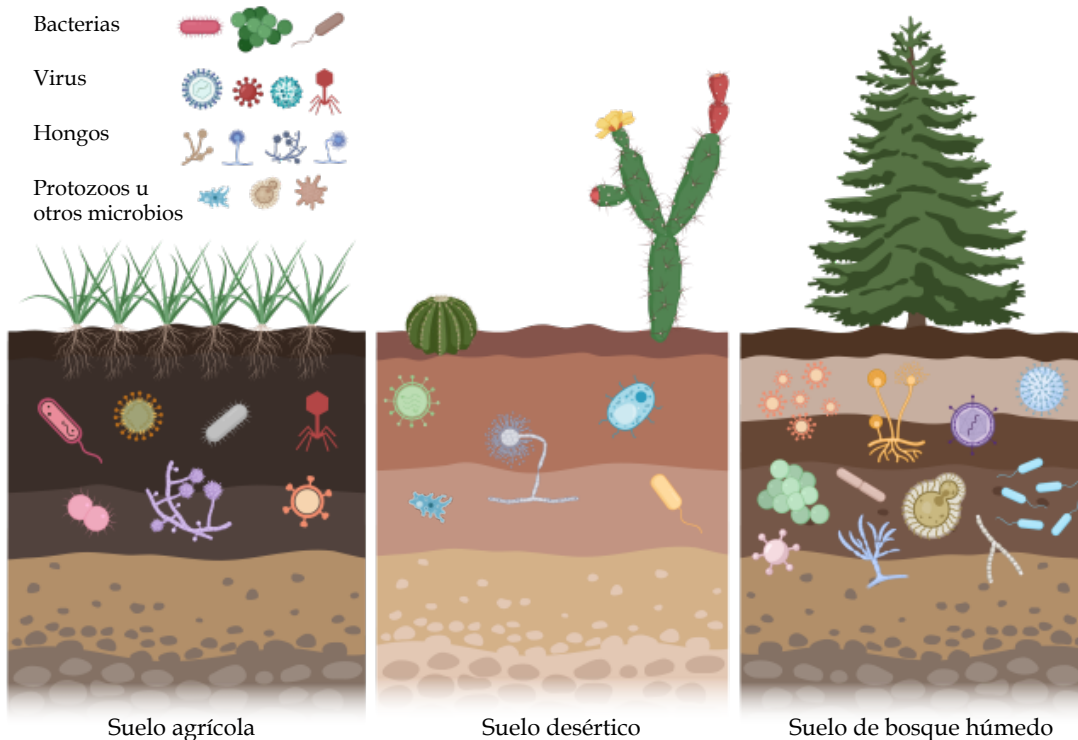


Figura 1. Diversidad relativa de virus y microorganismos en distintos tipos de suelo.



Los virus en las redes tróficas del suelo

En el suelo, la vida se organiza en complejas redes de interacción conocidas como redes tróficas. En ellas, bacterias, hongos, protozoos, nemátodos y pequeños invertebrados mantienen un delicado equilibrio ecológico.

Los virus son una parte fundamental de este entramado, ya que regulan las poblaciones microbianas al infectar bacterias (bacteriófagos) o, en algunos casos, hongos (micovirus). Este proceso, que se refiere a un modelo de crecimiento poblacional, se conoce como “kill the winner” (“matar al ganador”): los virus limitan a los microorganismos más abundantes y permiten que otros menos competitivos prosperen, manteniendo así la diversidad.

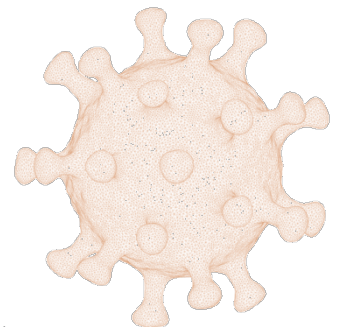
Además, al destruir a sus hospedadores, generan lo que se conoce como fertilización viral, que consiste en nutrir y aportar compuestos orgánicos a otros organismos del suelo. De esta manera, los virus no solo controlan las poblaciones, sino que también conectan la energía y la materia en las redes tróficas.

Los virus del suelo son partículas biológicas muy pequeñas: no son células, no tienen metabolismo propio y no están vivos por sí mismos.

Los virus en la biogeoquímica del suelo

La biogeoquímica estudia cómo elementos como el carbono, el nitrógeno, el fósforo y el azufre circulan por la naturaleza. En este entramado, los virus del suelo actúan como motores invisibles. Cuando los virus infectan y destruyen microorganismos, liberan carbono orgánico, amonio, fosfatos y otras moléculas que antes estaban encerradas en las células (Figura 2). Estos nutrientes se reincorporan al ciclo del suelo, lo que acelera procesos como la mineralización y aumenta la disponibilidad de recursos para las plantas.

En los ecosistemas naturales, la acción viral contribuye a regular el almacenamiento y la liberación de carbono en el suelo, lo que tiene implicaciones directas para el cambio climático. En los sistemas agrícolas, comprender las interacciones virus-planta-suelo podría ayudar a utilizar los fertilizantes de manera más eficiente y a adoptar prácticas más sostenibles.



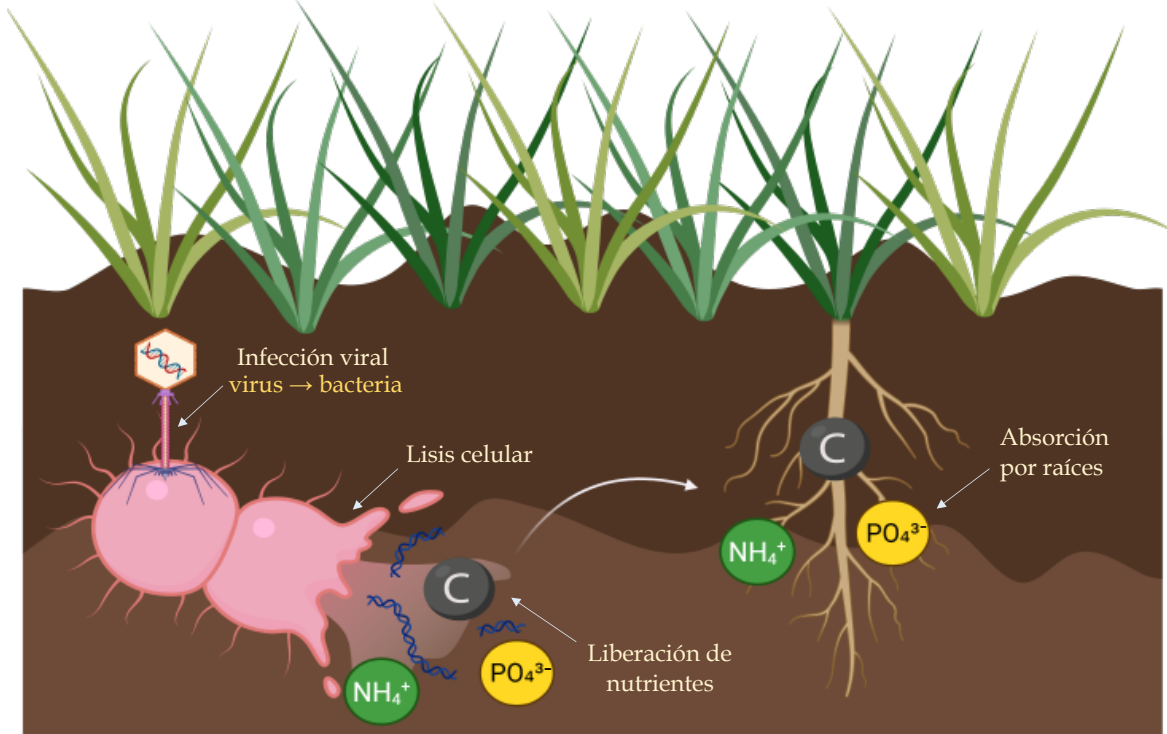


Figura 2. Liberación de nutrientes tras la acción viral. Cuando los virus infectan y destruyen microorganismos, se liberan compuestos como carbono orgánico (C), amonio (NH_4^+) y fosfatos (PO_4^{3-}), que estaban contenidos en las células.

En los ecosistemas se han identificado dos grandes tipos de virus: los de ADN y los de ARN. Durante años se pensó que los virus de ADN eran los protagonistas en el suelo, porque eran los más detectados con las herramientas disponibles. Sin embargo, estudios recientes han revelado una gran diversidad de virus de ARN, incluso aquellos que infectan bacterias. Esta evidencia amplía la perspectiva: ambos tipos son importantes. Aunque difieren en su material genético y en su forma de replicarse, tanto los virus de ADN como los de ARN influyen en las comunidades microbianas y, por tanto, participan en la transformación y redistribución de nutrientes en el suelo.



Los virus regulan las poblaciones microbianas al infectar bacterias (bacteriófagos) o, en algunos casos, hongos (micovirus).



Los virus en la rizosfera

La rizosfera se puede considerar como una delgada capa de suelo que rodea o cubre a las raíces y es una de las zonas más dinámicas de la actividad subterránea. En ella, las raíces liberan compuestos que atraen o repelen microorganismos, creando un “micro universo” que influye directamente en la salud y la productividad de las plantas.

Tradicionalmente, la atención científica se ha centrado en las bacterias y los hongos de la rizosfera, pero estudios recientes muestran que también hay virus y que estos podrían desempeñar un papel esencial. Aunque la abundancia de virus en la rizosfera no siempre es mayor que en el suelo circundante, su interacción con las comunidades microbianas es relevante en términos de salud y nutrición de las plantas, así como en la síntesis de metabolitos. Estos son sustancias químicas producidas por los organismos y que participan en su crecimiento, defensa y funcionamiento.

Muchos de estos virus adoptan una estrategia lisogénica; es decir, en lugar de destruir de inmediato a la célula que infectan, integran su material genético dentro de ella y permanecen “silenciosos” durante un periodo largo de tiempo, multiplicándose cada vez que la célula se divide. Sin embargo, en cualquier momento pueden activarse y pasar al ciclo lítico, en el que comienzan a producir numerosas copias de sí mismos hasta romper la célula y liberarse al ambiente (Figura 3). Este mecanismo podría ayudar a ciertos microbios a adaptarse mejor al ambiente adverso que hay alrededor de las raíces, incluida la presión de los sistemas inmunitarios de la planta.

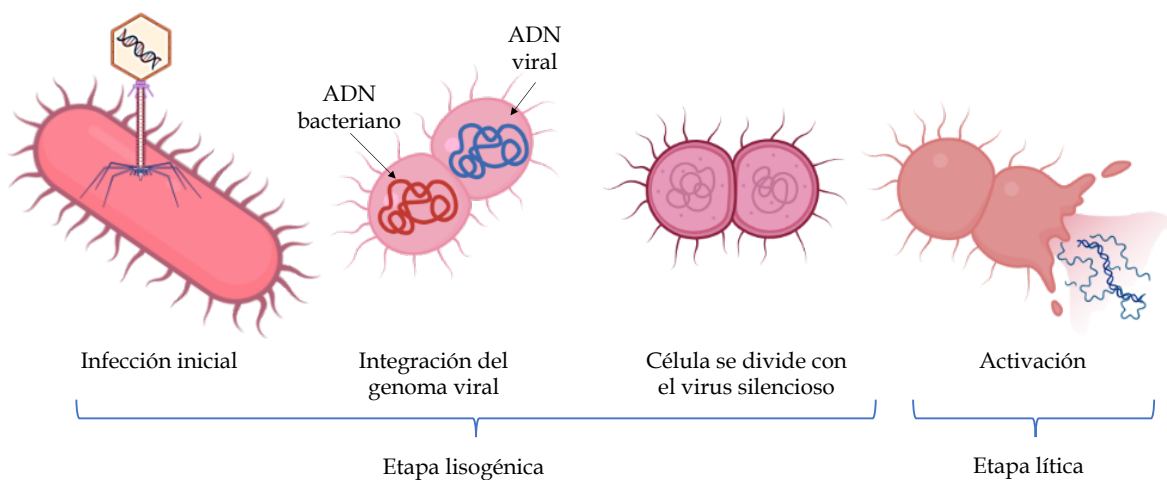


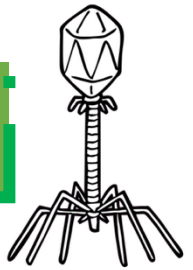
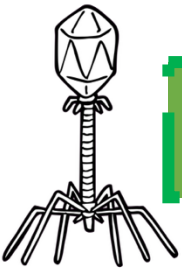
Figura 3. Ciclo de vida de un bacteriófago en el suelo: el virus introduce su ADN en la bacteria y puede permanecer silencioso dentro de ella (etapa lisogénica) hasta activarse y pasar a la etapa lítica, en la que produce muchas copias y rompe la célula bacteriana para liberarse al medioambiente.



De esta forma, los virus no solo afectan a los microbios, sino que también modelan indirectamente la microbiota de las raíces. Al favorecer la permanencia de algunas bacterias beneficiosas, estas pueden mejorar la capacidad de las plantas para absorber nutrientes o resistir enfermedades. Por otro lado, todavía queda por descubrir si los virus emplean estrategias distintas frente a los microbios benéficos y a los microbios perjudiciales para la planta.

Explorar esta asociación entre virus, microbios y plantas abre la puerta a nuevas preguntas: ¿podríamos aprovechar los virus del suelo para promover una agricultura más resiliente, es decir, más capaz de resistir y recuperarse frente a sequías, enfermedades y otros cambios ambientales? O, por el contrario, ¿los virus podrían estar limitando el potencial de los cultivos? Lo que sí está claro es que la rizosfera es un punto de interés en el que los virus interactúan, pero apenas empezamos a prestarles atención.

Los virus no son solo agentes reguladores, sino también proveedores de materia y energía en la ecología del suelo.



Diversidad y métodos de estudio de los virus del suelo

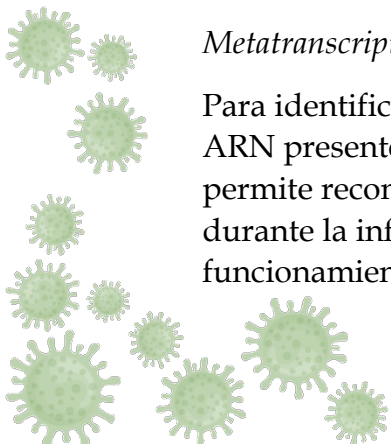
Explorar los virus del suelo no es sencillo. Muchos de ellos no pueden cultivarse en el laboratorio y su información genética suele aparecer fragmentada. Aun así, hoy en día contamos con varias técnicas de análisis que, combinadas, están permitiendo descubrir este mundo oculto. Entre estas técnicas se encuentran las siguientes:

Metagenómica de ADN: leer el material genético directamente del suelo

Esta técnica permite analizar todo el ADN presente en una muestra de suelo sin necesidad de cultivar los organismos. Gracias a ella, se han descubierto miles de virus desconocidos y genes que sugieren su participación en el reciclaje del carbono y los nutrientes. No obstante, detecta con mayor facilidad los virus de ADN que los de ARN.

Metatranscriptómica y análisis del viroma: saber quién está activo

Para identificar virus de ARN y aquellos que están en plena actividad, se estudia el ARN presente en el suelo o se separan las partículas virales antes del análisis. Esto permite reconocer qué virus están infectando en ese momento y qué genes utilizan durante la infección, información que resulta clave para entender su impacto en el funcionamiento del suelo.





¿A quién infectan? Pistas desde CRISPR

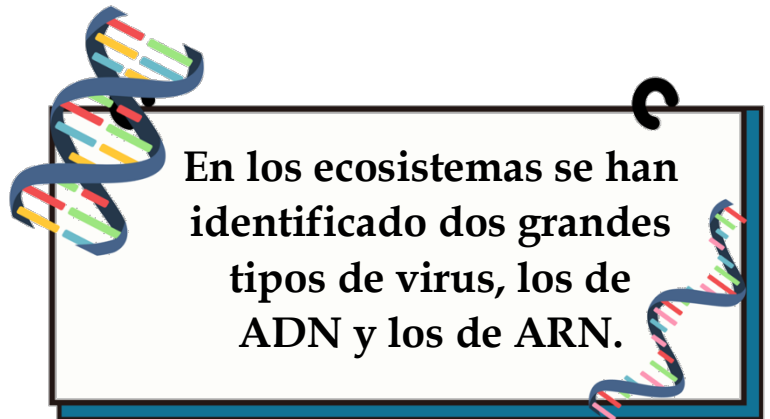
Las bacterias y las arqueas poseen un sistema de defensa llamado CRISPR, que funciona como una memoria genética. Cuando un virus las ataca, guardan pequeños fragmentos de su material genético. Si el mismo virus regresa, pueden reconocerlo y defenderse. El análisis de estos registros permite identificar qué virus han infectado a qué microorganismos.

Herramientas bioinformáticas: organizar la información

Existen programas informáticos especializados que ayudan a identificar, clasificar y evaluar la calidad de los genomas virales encontrados. Además, al comparar bases de datos de distintos países, es posible hacerse una idea de la enorme diversidad viral del suelo y comprender cuánto nos queda por aprender y descubrir.

Microscopía y nuevas tecnologías

La microscopía electrónica permite observar directamente partículas virales, aunque el suelo es un entorno complejo. En un futuro cercano, las técnicas de secuenciación más avanzadas ayudarán a reconstruir genomas más completos y a comprender con mayor precisión las relaciones entre virus y microorganismos.



Conclusión

La virósfera del suelo constituye un universo microscópico poco explorado, pero vital para el mantenimiento de la vida en la Tierra. Comprender el papel de los virus del suelo tiene implicaciones tanto ecológicas como prácticas en la producción de alimentos, en la salud del suelo y en la estabilidad de los ecosistemas y sus poblaciones, incluida la humana.

Diversos estudios han demostrado que tanto la biodiversidad como el contenido de carbono orgánico del suelo han disminuido debido a las prácticas agrícolas intensivas, por lo que es urgente ampliar nuestros conocimientos y capacidad de manejo de estos componentes invisibles. Entender la virósfera nos invita a cambiar nuestra percepción de los virus, ya que estos no solo son una amenaza, sino que también son guardianes invisibles que sostienen la salud de los ecosistemas.



Literatura recomendada

- Cruz-O'Byrne, R., Piraneque, N. V., & Aguirre, S. E. (2023). Virus del suelo y su rol en la microbiología ambiental. En *Introducción a la biología y microbiología de suelos* (pp. 55-60). Editorial Unimagdalena.
- Paez-Espino, D., Eloé-Fadrosch, E. A., Pavlopoulos, G. A., Thomas, A. D., Huntemann, M., Mikhailova, N., Rubin, E., Ivanova, N. N., & Kyrpides, N. C. (2016). A global atlas of soil viruses reveals unexplored biodiversity and potential biogeochemical impacts. *Science*, 354(6317), aaf4509. <https://doi.org/10.1126/science.aaf4509>



Semblanzas de autores

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

Fabian Fernández-Luqueño. Investigador del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN - Departamento de Biotecnología y Bioingeniería: Ciudad de México, México. Adscrito a los Programas de Maestría en Ciencias y Doctorado en Biotecnología y Bioingeniería, Doctorado en Ciencias en Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad y Doctorado en Ciencias en Nanociencias y Nanotecnología.

Ana Margarita Rodríguez-Hernández. Investigadora Asociada C del Departamento de Biociencias y Agrotecnología en el Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila de Zaragoza.



Del 5 al 9 de octubre de 2026
¡Los esperamos en Puebla!
Complejo Cultural Universitario

"50 años de raíces... Entramando los Suelos del mañana"



Pisolithus tinctorius:

Bioinsumo micorrízico para huertas nogaleras sustentables

R. Carolina Talamantes G., Sandra Pérez Álvarez, Ezequiel Muñoz Márquez, L. Patricia Uranga V., Marina I. Terrazas G.

Un hongo ectomicorrízico es un organismo que se une a las raíces de los árboles, y crea una red que envuelve la raíz



1. *Pisolithus tinctorius* es un hongo ectomicorrízico que forma simbiosis con las raíces del nogal, esta simbiosis mutualista benéfica es indispensable para la supervivencia de los nogales, ya que sus raíces carecen de pelos absorbentes.



2. Es un aliado altamente eficiente contra hongos fitopatógenos del suelo como *Fusarium* sp. y *Botryosphaeria* sp., además, brinda protección contra factores abióticos adversos como la sequía, las altas temperaturas y suelos deficientes.

3. Forma una barrera mecánica de hifas y activa el sistema de defensa del nogal. Al colonizar las raíces, ocupa los espacios físicos e impide la entrada a la raíz de los hongos fitopatógenos.

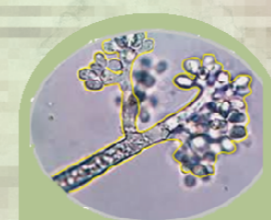
4. Su uso como bioinsumo es una tecnología sostenible y eficaz, para el control de enfermedades radiculares y la sanidad de las huertas nogaleras, ya que reduce el uso de fungicidas químicos y su efecto nocivo en el medio ambiente.

La planta cede al hongo carbohidratos esenciales para su supervivencia y desarrollo, mientras que el hongo incrementa la absorción de agua y nutrientes

Una simbiosis mutualista es una relación natural entre dos organismos distintos en la que ambos se benefician



Fusarium sp.



Botryosphaeria sp.



Ectomicorriza

Raíz de nogal



Pisolithus tinctorius: *Bioinsumo micorrízico* *para huertas nogaleras* *sustentables*

Rosa Carolina Talamantes González¹
Sandra Pérez Álvarez¹
Ezequiel Muñoz Márquez^{2*}
Luisa Patricia Uranga Valencia¹
Marina Imelda Terrazas Gómez¹

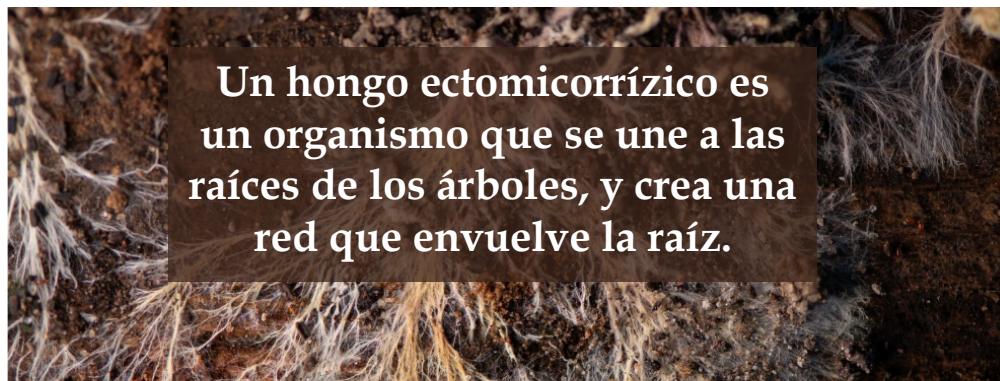
¹Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, 33000, México

²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Subsele Delicias, Chihuahua. Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)

*Autor para correspondencia: emunoz@ciad.mx

Literatura recomendada

- 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.
- Marx, D.H. 1972. Ectomycorrhizae as Biological Terresnts to Pathogenic Root Infections. *Manual review of Phytopathoogy* 10:429.





Semblanzas de autores

Lic. Rosa Carolina Talamantes González. Licenciada en Administración de Agronegocios y estudiante de la Maestría en Administración de Agronegocios de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

Dra. 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 biofertilization, cultivo in vitro y Fisiología vegetal.

Dr. 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 a la agricultura.

Dra. Luisa Patricia Uranga Valencia. Docente en la UACH e investigadora SNII nivel I, impulsa la sustentabilidad, agroecología, aprovechamiento de recursos naturales y agronegocios. Su labor vincula ciencia, comunidad y medio ambiente, promoviendo soluciones sostenibles para zonas áridas y bosques desde el cuerpo académico UACH-CA-174.

Dra. Marina Imenda Terrazas Gómez. Doctora en Responsabilidad Social Empresarial, por el centro de Desarrollo de Estudios Superiores (CDES), Profesora investigadora en la UACH. Actualmente forma parte del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) con nivel de Candidato. Realiza investigaciones relacionadas con Gestión y Sostenibilidad en agronegocios.





Donde la lluvia escasea: Suelos áridos y semiáridos de México

Clima
 El clima es muy seco y caluroso durante el día, aunque por las noches puede hacer frío. Lluve poco y solo en algunos meses, por lo que el ambiente es soleado, con aire seco, y el agua se evapora rápido, dejando un paisaje árido y despejado.



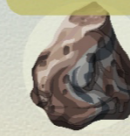
Relieve
 Está formado por montañas, laderas y planicies. Las montañas detienen la humedad, por lo que las partes bajas son más secas. Hay cuencas cerradas en donde el agua se evapora con facilidad.



Factores de formación del suelo



Material Parental



En las zonas áridas del norte y centro de México abundan rocas como calizas, yesos, basaltos y areniscas, formadas por antiguos procesos marinos y volcánicos.

Biota

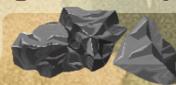


Viven plantas y animales adaptados al calor y a la escasez de agua.

Principales procesos pedogenéticos

Meteorización Física

El calor y el frío hacen que las rocas se fragmenten, formando suelos delgados y pedregosos.



Ca²⁺ Clasificación

El agua se evapora y deja carbonato de calcio, formando capas duras o blancas bajo la superficie.



Gipsificación

El yeso se acumula por la evaporación, creando capas claras y compactas en el subsuelo.



Salinización

El agua se evapora y deja costras de sal en la superficie, dificultando el crecimiento de plantas.



Poca materia orgánica

Sodificación

El sodio se acumula en el suelo, volviéndolo duro, compacto y poco permeable.



Silificación

La acumulación de sílice por evaporación forma capas endurecidas que impiden la infiltración.

Suelos Representativos (WRB, 2022)

Calcisol

Contienen carbonato de calcio acumulado, que forma capas blancas o endurecidas bajo el suelo.

Gypsisol

Tienen acumulaciones de yeso en el subsuelo, que crean capas compactas y reducen la permeabilidad y el crecimiento de raíces.

Solonchak

Suelos ricos en sales solubles, con costras de sal en la superficie, donde crece poca vegetación.

Solonetz

Contienen altos niveles de sodio, presentan una estructura dura y compacta que dificulta el paso del agua y las raíces.

Durisol

Poseen capas endurecidas por sílice que bloquean el paso del agua y las raíces.

Lorena Jaimes González
 &
 Fabiola Morales Jiménez

USS Working Group WRB. (2022). Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos (4ª ed.). Unión Internacional de las Ciencias del Suelo. https://wrb.isric.org/files/WRB_fourth_edition_Spanish.pdf



Donde la lluvia escasea: Suelos áridos y semiáridos de México

Fabiola Morales Jiménez*
Lorena Jaimes González

Universidad Autónoma Chapingo, Carr. Federal México-Texcoco Km 38.5, 56230

*Autor para correspondencia: al19116546@chapingo.mx

Literatura recomendada

- González. (2012). La zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. http://140.84.163.2:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/218/668_2012_Zonas_aridas_semiaridas_Mexico.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sanzano, A. (2019). Génesis - Procesos pedogenéticos fundamentales. Cátedra de Edafología, Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán. Actualización 2019.
- SDS UANL. (2024). Riqueza biológica de zonas áridas y semiáridas. <https://sds.uanl.mx/riqueza-biologica-de-zonas-aridas-y-semiaridas/>
- INEGI. (1985). Geología de la República Mexicana (Ed. 1984). México: INEGI. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/380/702825001388/702825001388_1.pdf

Semblanzas de autores

Fabiola Morales Jiménez. Es estudiante de Ingeniero Agrónomo Especialista en Suelos en la Universidad Autónoma Chapingo, cautivada por la génesis del suelo y por la manera en que sus perfiles muestran el camino de su formación.

Lorena Jaimes González. Es estudiante de Ingeniero Agrónomo Especialista en Suelos en la Universidad Autónoma Chapingo, apasionada por explorar el suelo, sus procesos y las historias que guarda.



Polímeros orgánicos: Tecnología innovadora ante el estrés hídrico agrícola

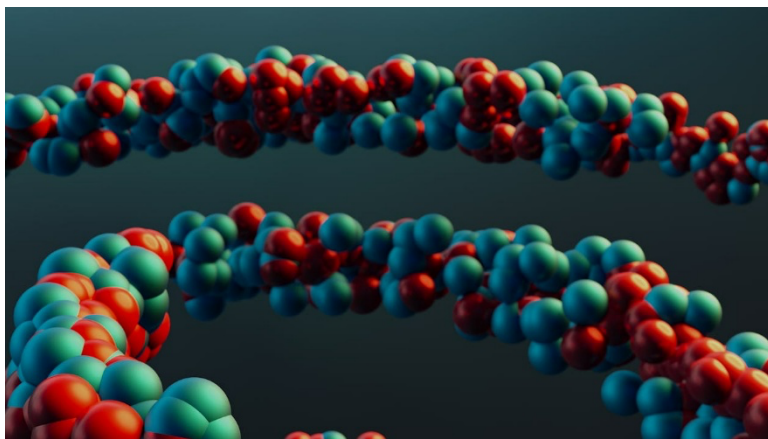
Daniel Moriel Rodríguez¹
Carlos Abel Ramírez Estrada¹
Jerónima Antonieta Pérez¹
Omar Cástor Ponce García²
Alejandro Palacio-Márquez^{1*}

¹Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad Autónoma de Chihuahua, Delicias, Chihuahua, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, campo experimental Delicias. Labor Ejido Rosales Kilómetro 2, Delicias, 33000 Delicias, Chih.

*Autor para correspondencia: apalaciom@uach.mx

La agricultura enfrenta uno de sus mayores retos: producir con menos agua y en suelos cada vez más degradados. En Chihuahua, los polímeros orgánicos se han evaluado como una alternativa práctica para conservar la humedad del suelo y mejorar la producción de sandía. Los resultados muestran que esta tecnología permite un uso eficiente del agua y ofrece una opción viable frente al estrés hídrico agrícola.



Introducción

En el norte de México, producir alimentos se ha vuelto un reto que depende de cada gota de agua disponible, ya que los suelos pierden humedad rápidamente y los cultivos están resintiéndolo las altas temperaturas. En este escenario, la tecnología empieza a ofrecer nuevas alternativas para mantener la productividad sin agotar este recurso, entre ellas destacan los polímeros orgánicos superabsorbentes, materiales capaces de retener el agua y devolverla al suelo cuando las plantas más la necesitan. Este artículo comparte una experiencia realizada en el estado de Chihuahua, donde se probó esta tecnología en el cultivo de sandía, mostrando resultados alentadores frente al estrés hídrico.



¿Qué son los polímeros orgánicos?

Son materiales provenientes de celulosa o almidón, biodegradables que, al entrar en contacto con el agua, la almacenan en su estructura, alcanzando una absorción de hasta 100 veces su peso, para después liberarla poco a poco, como si fueran pequeñas esponjas enterradas en la zona radicular. Gracias a este proceso, las plantas pueden aprovechar la humedad disponible y soportar mejor los periodos de sequía o el calor intenso. Además, al ser de origen orgánico, estos polímeros se degradan con el tiempo sin dejar residuos dañinos, lo que los convierte en una herramienta útil y segura para el campo. En pocas palabras, ayudan a que el suelo retenga más agua, respire mejor y mantenga a las plantas en condiciones estables entre cada riego.

**Los polímeros
orgánicos ayudan a
conservar la humedad
del suelo durante más
tiempo.**



Además de su capacidad para retener agua, estos materiales ayudan a mejorar la estructura física del suelo durante el ciclo del cultivo. Al expandirse con la humedad y contraerse al secarse, generan microespacios que favorecen la aireación y el movimiento del agua. Esto permite que las raíces exploren mejor el suelo y mantengan una absorción constante, incluso cuando la disponibilidad de agua disminuye. Su aplicación no sustituye las prácticas de riego, pero sí complementa de manera efectiva el manejo del agua, especialmente en regiones donde las variaciones de humedad son frecuentes y el clima puede ser cambiante.



El estrés hídrico en la agricultura de Chihuahua

El estado de Chihuahua es una tierra de contrastes, con suelos fértiles y climas extremos. Cada ciclo agrícola los productores se enfrentan a la misma realidad: menos agua disponible y temperaturas altas. En regiones como Delicias, donde el riego es esencial, el suelo se seca rápidamente y los cultivos comienzan a resentir la falta de humedad. El estrés hídrico ocurre cuando la planta no logra obtener suficiente agua para cubrir sus necesidades, lo que provoca un menor crecimiento, hojas marchitas y frutos más pequeños. Frente a este panorama, tecnologías como los polímeros orgánicos ofrecen una solución práctica, ya que ayudan a conservar la humedad en el suelo y reducen la frecuencia de riego, sin modificar las prácticas tradicionales del productor. En pocas palabras, permiten que cada gota de agua cuente.

En la región, muchos productores han tenido que ajustar sus calendarios de riego o reducir la superficie sembrada debido a la disminución de la disponibilidad de agua.





A esto se suma que los ciclos cálidos llegan cada vez más temprano, lo que incrementa la evaporación del suelo y acelera el agotamiento de la humedad. Esta combinación de factores obliga a buscar estrategias que permitan mantener la productividad sin incrementar el consumo de agua. Bajo estas condiciones, adoptar tecnologías que amortigüen los efectos del estrés hídrico se vuelve una necesidad y no una opción, especialmente en cultivos sensibles como la sandía.

Resultados observados: del suelo al fruto

Para conocer el efecto de esta tecnología en campo, se estableció una parcela experimental de sandía en la región centro-sur de Chihuahua. Se compararon camas con aplicación del polímero orgánico y camas testigo sin aplicación, manteniendo las mismas condiciones de siembra y riego (Figura 1).



Figura 1. Parcela experimental de sandía tratada con polímero (A) y testigo (B), donde se observa una mayor cobertura vegetal en el tratamiento. (Fuente: Elaboración propia, 2025).



**La tecnología
puede ser una
aliada para
enfrentar la
escasez de agua
en la agricultura.**

Durante el ciclo de cultivo, los sensores instalados mostraron diferencias claras entre los tratamientos desde las primeras semanas. En las camas con polímero, la humedad del suelo se mantuvo por periodos prolongados de tiempo, después de cada riego, mientras que en el testigo la pérdida fue más rápida.



Esta estabilidad también se reflejó en un contenido de sales uniforme y en una ligera reducción de la temperatura del suelo, condiciones que favorecieron el desarrollo de las raíces y redujeron el estrés en los días de mayor calor (Tabla 1).

Tabla 1. Promedios de humedad, salinidad y temperatura del suelo en parcelas con y sin aplicación de polímero. (Fuente: Elaboración propia, 2025).

Variable	Testigo	Polímero	Diferencia
Humedad del suelo (%)	18.5	25.0	+6.5
Salinidad (mS/cm)	1.35	1.20	-0.15
Temperatura (°C)	29.8	28.9	-0.9



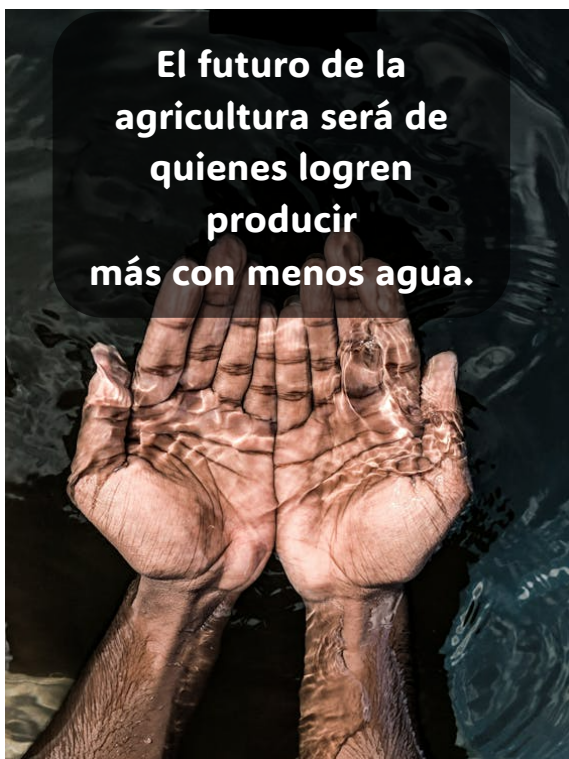
El análisis del desarrollo del cultivo mostró que las plantas con polímero mantuvieron un crecimiento vegetativo constante y sufrieron menos marchitez durante los días de mayor demanda de humedad en el suelo. Esta estabilidad permitió que el fruto se formara de manera más uniforme, con una mejor consistencia y una acumulación de azúcares balanceada. Para los productores de la región, estas mejoras suponen una ventaja comercial, ya que implican frutas de mejor presentación, más pesadas y con un mayor valor agregado en el mercado (Tabla 2).

Tabla 2. Características promedio del fruto en parcelas con y sin aplicación del polímero (Fuente: Elaboración propia, 2025).

Parámetro	Testigo	Polímero	Diferencia
Peso promedio (Kg)	11.8	14.0	+2.2
Longitud (cm)	41.5	46.1	+4.6
Circunferencia (cm)	69.4	71.9	+2.5
°Brix	10.8	11.7	+0.9



Estos resultados muestran que el uso de estos polímeros orgánicos no solo mejora la retención de agua en el suelo, sino que también favorece la calidad y el rendimiento de los frutos. Las sandías cultivadas con la aplicación del polímero presentaron un desarrollo uniforme, un mayor peso y un incremento en el contenido de sólidos solubles, que se traduce en un mayor contenido de azúcares, reflejando una mejor condición fisiológica de la planta durante el ciclo.



Además, la estabilidad del contenido de sales y la menor temperatura del suelo indican que el polímero ayudó a mantener un microambiente favorable para las raíces, lo que redujo el estrés hídrico y favoreció la absorción de nutrientes. Estos resultados confirman el potencial de esta tecnología como una herramienta útil para optimizar el uso del agua en regiones áridas como Chihuahua, donde cada gota de agua es esencial para mantener la productividad agrícola.

Conclusiones

El uso de polímeros orgánicos se presenta como una herramienta útil para hacer frente al estrés hídrico en zonas áridas como Chihuahua. Su aplicación ha permitido conservar la humedad del suelo durante más tiempo y generar mejores condiciones para el desarrollo del cultivo, lo que se ha traducido en frutos de mayor tamaño y mejor calidad, y en un uso más eficiente del agua. Además de los beneficios inmediatos, esta tecnología destaca por ser accesible y fácil de integrar en los sistemas de producción ya establecidos. Su incorporación no requiere cambios drásticos en las prácticas de los productores, lo que facilita su adopción en unidades agrícolas de distintos tamaños. El siguiente paso es evaluar su comportamiento en otros cultivos y tipos de suelo para conocer su rendimiento en distintos escenarios productivos. Disponer de alternativas que mejoren la disponibilidad de agua dentro del perfil del suelo puede ayudar a los agricultores a adaptarse a los cambios climáticos. En este sentido, los polímeros orgánicos son una opción que contribuye a una producción estable y orientada al uso responsable de los recursos.



Literatura recomendada

- Macías-Duarte, R., Grijalva-Contreras, R. L., Robles-Contreras, F., López-Carvajal, A., & Núñez-Ramírez, F. 2019. Déficit de riego y aplicación de hidrogel en la productividad de olivo en regiones desérticas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10(2): 393-404. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i2.1751>
- Pedroza-Sandoval, A., Yáñez-Chávez, L. G., Sánchez-Cohen, I., & Samaniego-Gaxiola, J. A. (2015). Efecto del hidrogel y vermicomposta en la producción de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(4), 375-381. <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/38-4/5a.pdf>
- Chang, L., Xu, L., Liu, Y., & Qiu, D. (2021). Superabsorbent polymers used for agricultural water retention. *Polymer Testing*, 94, 107021.



Semblanzas de autores

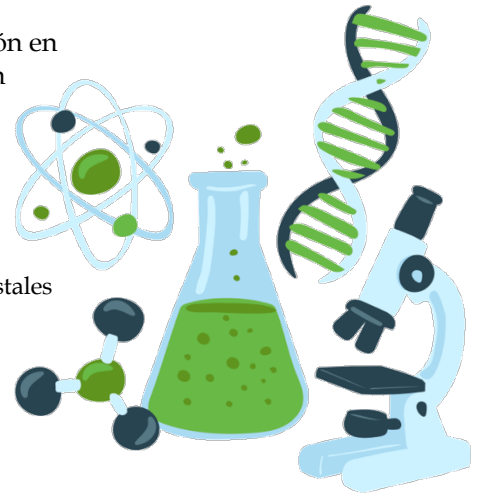
Lic. Daniel Moriel Rodríguez. Es egresado de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua como Licenciado en Administración de Agronegocios. Estudiante de la Maestría en Agronegocios en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. Su línea de investigación se enfoca en el uso de polímeros orgánicos para mitigar el estrés hídrico en cultivos hortícolas bajo condiciones áridas.

Dr. Carlos Abel Ramírez Estrada. Maestría en ciencias, con terminación en Horticultura, estudiante de doctorado en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) y miembro del Grupo de Investigación en Fisiología y Nutrición Vegetal.

M.C. Omar Cástor Ponce García. Ingeniero Agrónomo por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, M. C. en Productividad Frutícola por la Universidad Autónoma de Chihuahua. Jefe del Campo Experimental Delicias del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Forestales (INIFAP).

Dra. Jerónima Antonieta Pérez. Doctora en Administración y especialista en agronegocios por la Universidad Autónoma de Chihuahua. Profesora investigadora en el área socioeconómica agropecuaria en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH).

Dr. Alejandro Palacio Márquez. Doctor en ciencias, con terminación en horticultura por parte del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (CIAD), profesor investigador en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Miembro del SNII nivel I.





Información Satelital: Clave para el Campo y la Ciudad

Oscar Reyes-Cárdenas^{1*}
Abraham Cárdenas-Tristán¹
María Guadalupe Galindo-Mendoza²

¹Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, San Luis Potosí, 78290, México.

²Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria, Ciudad de México 06100, México.

*Autor para correspondencia: oscar.reyes@uaslp.mx


La observación satelital es una herramienta que proporciona un nivel de detalle sin precedentes. Estas imágenes revelan información importante sobre los suelos, revolucionando la agricultura y permitiendo cosechas más eficientes y sostenibles. También, esta tecnología se aplica en la planificación urbana, el análisis de riesgos naturales y el monitoreo ambiental global.

Introducción

¿Cómo asegurar la comida del futuro y, al mismo tiempo, guiar el crecimiento de nuestras ciudades? Este es uno de los desafíos más grandes de nuestra época. Desde siempre, los seres humanos hemos necesitado dibujar mapas para conocer el lugar en el que vivimos, así como los recursos naturales (agua, comida) que se encuentran cerca de nuestro hogar.

Lo que antiguamente se trazaba sobre piedra o pieles de animales, para no perderse entre ríos y montañas, hoy ha evolucionado en una herramienta sofisticada: la mirada desde el espacio, capaz de guiar el destino de nuestros suelos.

En la actualidad, gracias a la tecnología espacial, esa curiosidad nos ha llevado más alto que nunca. La percepción remota que se refiere a obtener información a distancia es la respuesta a este problema, pues nos permite conocer la salud de nuestro planeta sin siquiera tocarlo. Ahora podemos observar el mundo con un detalle que nuestros antepasados ni siquiera soñaron, obteniendo en segundos datos que antes tomaba años recolectar.



Los satélites, que son como tener “ojos en el cielo”, son una herramienta extraordinaria para estudiar los suelos de forma muy detallada.



Aplicaciones de las imágenes de satélite

Los satélites funcionan como "ojos en el cielo". Son herramientas extraordinarias para estudiar la superficie terrestre, ya que detectan cambios que nosotros no vemos a simple vista, como cuando el suelo pierde humedad o empieza a desgastarse. Para lograr esta visión especial, las cámaras especializadas que se encuentran en el satélite registran energía en diferentes "colores", a lo cual se llaman bandas.

Estas incluyen información que el ojo humano no puede ver. Por ejemplo, el infrarrojo funciona como un termómetro de la salud de las plantas. Además, contamos con dos ventajas clave: la nitidez (resolución espacial), que nos permite ver pequeños detalles en el terreno, y la frecuencia (resolución temporal), que determina cada cuántos días el satélite pasa nuevamente por el mismo lugar para tomar una imagen actual.

Gracias a estos datos, los científicos identifican si el terreno tiene nutrientes, si está contaminado o cómo es su textura. Esta vigilancia constante es como un chequeo médico que nos ayuda a entender cómo se dañan los ecosistemas y qué debemos hacer para sanarlos (Figura 1).

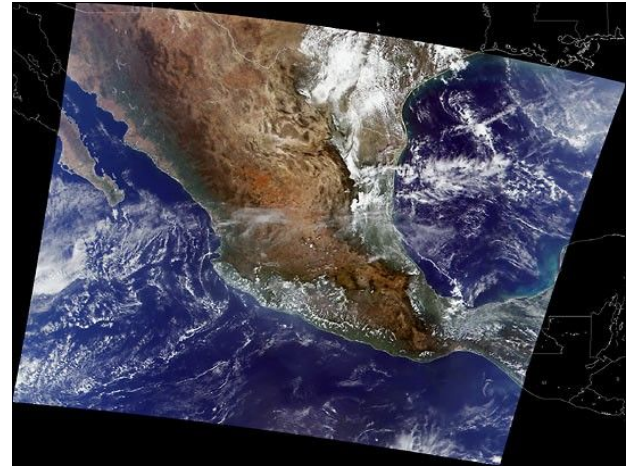


Figura 1. Ejemplo de una imagen de satélite (Fuente: Biblioteca de imágenes y videos de la NASA)

Agricultura de precisión: cultivar con inteligencia

Observar desde las alturas ha transformado la forma de producir comida. Hoy, muchos agricultores ya no solo confían en lo que ven al caminar por sus tierras.

Usando mapas creados con información que se obtiene desde el espacio, pueden saber exactamente qué partes de su parcela necesitan agua y cuáles requieren fertilizante. Esta técnica se llama agricultura de precisión. Su objetivo es aprovechar mejor los recursos naturales y dañar menos el medio ambiente. Por ejemplo, al poner fertilizante solo donde hace falta, evitamos que los químicos lleguen al agua y protegemos el bolsillo de quien trabaja el campo. Aunque parezca algo de ciencia ficción o muy caro, hoy existen plataformas gratuitas como *Google Earth Engine* o *Sentinel Hub*. Esto permite que incluso los pequeños productores rurales usen estos insumos digitales para mejorar sus cosechas sin gastar una fortuna.



Figura 2. Imagen de satélite aplicada a la agricultura. (Fuente: Biblioteca de imágenes y videos de la NASA)



El pasado y el futuro de nuestro territorio

La teledetección también nos permite viajar en el tiempo. Al comparar fotos de un mismo sitio tomadas con años de diferencia, vemos cómo ha cambiado el paisaje. Así detectamos dónde se han perdido bosques o dónde las casas han reemplazado a las zonas de cultivo.

En México, instituciones como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y diversas universidades trabajan unidas para crear mapas que nos dicen si el suelo está muy salado o apretado. Estos datos son la guía para que el gobierno y la sociedad tomen mejores decisiones sobre cómo usar nuestra tierra y asegurar que nunca nos falte alimento.

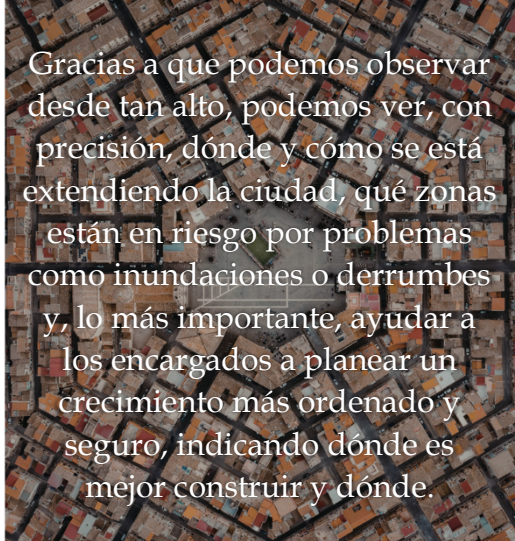
Gracias a las alertas tempranas que viene del espacio, tanto agricultores como autoridades pueden tomar medidas preventivas rápidas y evitar que se pierda toda la cosecha o que el daño ambiental sea irreversible.

Un termómetro para las plantas: el índice NDVI

Los satélites actúan como un termómetro que permite determinar la salud de la vegetación. Para esto, los expertos usan una fórmula llamada Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). El NDVI es como un semáforo que nos dice qué tan sana está una planta. Funciona comparando la luz roja (que las plantas usan para alimentarse) con la luz infrarroja (que las hojas sanas reflejan con fuerza). Si el valor es alto, tenemos un bosque frondoso; si es bajo, significa que la vegetación está sufriendo o que el suelo está desnudo. Si este índice baja de pronto, es una señal de alarma. Podría ser que a los cultivos les falte agua o que una plaga los esté atacando. Esta alerta temprana permite que los agricultores actúen rápido y eviten que se pierda toda la cosecha.



Figura 3. NDVI obtenido a partir de una imagen de satélite (Fuente: Servicio de Monitoreo Terrestre de Copernicus).



Gracias a que podemos observar desde tan alto, podemos ver, con precisión, dónde y cómo se está extendiendo la ciudad, qué zonas están en riesgo por problemas como inundaciones o derrumbes y, lo más importante, ayudar a los encargados a planear un crecimiento más ordenado y seguro, indicando dónde es mejor construir y dónde.

Ciudades más seguras desde las alturas

Esta tecnología también cuida nuestras ciudades. El suelo es la base de nuestras casas y caminos, pero cuando una ciudad crece sin orden, la tierra se asfixia y se compacta. Cuando esto pasa, el suelo ya no puede absorber la lluvia, lo que provoca inundaciones y derrumbes. Observar desde lo alto nos da una ventaja enorme para planear dónde es seguro construir y dónde no. Al ver la historia de las ciudades en imágenes, entendemos si las decisiones del pasado fueron buenas y cómo podemos mejorar el futuro de nuestras calles y parques.

Ciencia para todos: tú también puedes participar

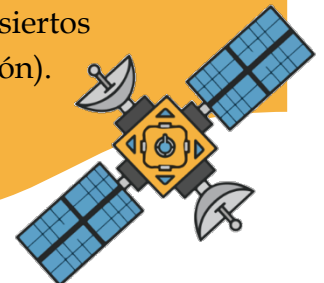
El verdadero poder de estas herramientas está en manos de la gente. La ciencia ciudadana permite que el cuidado del planeta no sea solo trabajo de científicos, sino de toda la comunidad. A través de aplicaciones y programas de acceso libre, cualquier persona puede monitorear su propio entorno desde casa, ayudando a vigilar el agua, los bosques y el clima. En las escuelas, los maestros ya utilizan estas imágenes para que los estudiantes entiendan la conexión entre lo que ven desde el cielo y lo que comen cada día. Con la llegada de la Inteligencia Artificial, pronto tendremos mapas que se actualicen a diario, dándonos el poder de reaccionar casi al instante ante cualquier peligro ambiental.



Conclusiones

Más que simples fotos, las imágenes de satélite son una ventana al conocimiento profundo de nuestro hogar. Nos ayudan a dejar de solo reaccionar a los problemas y empezar a planear un futuro donde el suelo esté protegido. Cada pequeño punto de color en estos mapas cuenta una historia: la de un bosque que resiste o una cosecha que nace. Aprender a leer este lenguaje de luz y texturas es, en realidad, aprender a cuidar la vida. El espacio nos envía un mensaje claro sobre el bienestar de la Tierra; solo nos hace falta poner atención para asegurar que nuestros hijos y nietos hereden un mundo sano.

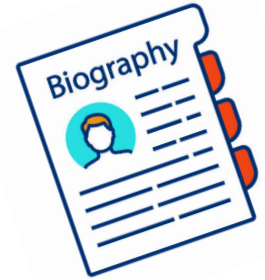
Las fotografías tomadas desde el espacio también nos ayudan a entender problemas globales cruciales, como la crisis climática, la destrucción de bosques (deforestación) o la transformación de tierras fértiles en desiertos (desertificación).





Literatura recomendada

- Carrillo-Reyna, N., Rosete-Vergés, F., & Ruiz-López, R. (2025). Modelos predictivos de cambio de cobertura y uso de suelo. *Revista de Geografía Norte Grande*. 91, 1-23.
- Vela-Pelaez, A. A., Navarro-Martínez, M.A., Mendoza Briseño, M. A., Sánchez-Sánchez, J. A. & Esparza-Olguín, L. G. (2024). Análisis multitemporal de cambios en el NDVI en la península de Yucatán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 15(81), 160-186.
- Veneros, J., García, L., Morales, E., Gómez, V., Torres, M. & López-Morales, F. (2020). Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua. *IDESIA*. 38(4). 99-107.



Semblanzas de autores

Oscar Reyes-Cárdenas. Profesor Investigador de Tiempo Completo en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Líneas de investigación orientadas en la aplicación de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Ha publicado diversos artículos de investigación. Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores nivel I.

Abraham Cárdenas-Tristán. Especialista en Ciencias y Tecnologías Geoespaciales aplicadas a gestión integral del agua, modelado hídrico, manejo de riesgos ambientales y urbanos, análisis de deformaciones del suelo, variabilidad climática. Ha publicado diversos artículos de investigación y difusión. Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores nivel I.

María Guadalupe Galindo-Mendoza. Investigador colaborador. Sus líneas de investigación son la aplicación del modelado espacial y plataformas SIGWeb aplicadas en la Agricultura y Fitosanidad de precisión. Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores nivel III.



Del 5 al 9 de octubre de 2026
¡Los esperamos en Puebla!
Complejo Cultural Universitario

"50 años de raíces... Entramando los Suelos del mañana"



Relevancia de las sustancias húmicas y no húmicas en la materia orgánica

Orlanda Tanahiri Garcia-Gonzalez¹
Damaris Leopoldina Ojeda-Barrios¹
Yesenia Campos-Gonzalez¹
Oscar Cruz-Alvarez¹
Marisela Calderon-Jurado^{2*}

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

²Programa Postdoctoral SECIHTI, Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas.

*Autor de correspondencia: maryselacj@gmail.com

Las sustancias húmicas y no húmicas contribuyen a que el suelo se mantenga sano y lleno de nutrientes aportando elementos esenciales para el crecimiento de las plantas. Juntas, promueven un ecosistema saludable, mejorando la fertilidad del suelo y, por lo tanto, la productividad agrícola. Por su parte, la materia orgánica es fuente de micro y macroelementos, promueve la actividad microbiana y la formación de agregados del suelo, participando activamente en la regulación de los ciclos de nutrientes y en la disponibilidad gradual de los mismos para las plantas, lo que contribuye a un uso más eficiente y sostenible de los recursos del suelo. De esta manera, la materia orgánica no solo aporta fertilidad, sino que también mantiene al suelo como un sistema vivo, dinámico y resiliente frente a procesos de degradación. El uso adecuado de estas sustancias permite conservar la fertilidad del suelo, mejorar su calidad a largo plazo y prevenir diferentes problemas como la erosión, desnutrición, entre otros.



Introducción

El suelo es un sistema complejo y dinámico que presenta una estructura altamente diversa, resultado de la interacción entre sus componentes físicos, químicos y biológicos. Está constituido por agua, aire, minerales (arena, limo y arcilla), materia orgánica, nutrientes y una amplia diversidad de organismos, entre los que se incluyen bacterias, hongos, actinomicetos, algas, protozoarios y fauna edáfica como nematodos, insectos y lombrices. Además, en contextos actuales, también pueden encontrarse compuestos emergentes como residuos antropogénicos (por ejemplo, micro plásticos), los cuales pueden influir en la dinámica del suelo.



Todos estos componentes interactúan de manera integral para sostener procesos esenciales como el ciclado de nutrientes, la formación de estructura, la retención de agua y el soporte para el crecimiento vegetal, lo que permite la producción de cultivos en respuesta a la creciente demanda de alimentos. En este contexto, la materia orgánica desempeña un papel central, ya que no solo actúa como fuente de nutrientes, sino que también es un componente clave en la formación y estabilidad de la estructura del suelo. La materia orgánica contribuye a la agregación de partículas, mejora la porosidad, favorece la retención de agua y sirve como sustrato energético para los microorganismos, promoviendo así la biodiversidad edáfica. Más que considerarse un “nutriente estructurador”, la materia orgánica debe entenderse como un componente estructural y funcional del suelo, esencial para mantener su calidad, fertilidad y resiliencia frente a procesos de degradación (ver Figura 1).

La materia orgánica no es simplemente parte del suelo; es su esencia vital, el motor silencioso que equilibra los procesos físicos, químicos y biológicos, haciendo posible la fertilidad y la productividad de los cultivos.



Figura 1. Interacción funcional de las sustancias húmicas y no húmicas en la dinámica de la materia orgánica del suelo.



La materia orgánica del suelo se origina a partir de la descomposición de residuos de origen vegetal y animal, como hojas, raíces, restos de cultivos, excretas y organismos muertos. Este proceso no debe confundirse con la desnitrificación, ya que esta última es una transformación específica del nitrógeno en condiciones anaerobias; en cambio, la formación de materia orgánica es un proceso más amplio que involucra la degradación biológica de estos residuos por microorganismos del suelo ver (Figura 2).



Figura 2. Degradación y estabilización de residuos orgánicos a través de vermicompostaje con lombrices.

Durante esta descomposición, ocurren transformaciones microbiológicas y reacciones físico-químicas que dan lugar a compuestos más complejos y estables conocidos como sustancias húmicas. Estas sustancias se caracterizan por presentar un alto peso molecular, es decir, están formadas por estructuras grandes y complejas con múltiples anillos y cadenas de carbono, lo que le confiere estabilidad y resistencia a la degradación.

Las sustancias húmicas son complejos orgánicos de gran tamaño que contienen principalmente carbono (C), oxígeno (O), hidrógeno (H), nitrógeno (N) y azufre (S), y son responsables del color café oscuro a negro característico de los suelos ricos en materia orgánica. Estas moléculas poseen grupos funcionales como carboxilos (-COOH) y fenoles (-OH aromáticos), los cuales se caracterizan por su capacidad para intercambiar cargas, retener cationes y participar en reacciones químicas que regulan la disponibilidad de nutrientes. Dentro de las sustancias húmicas, se distinguen los ácidos húmicos, que tienen mayor peso molecular, color oscuro y baja solubilidad en condiciones ácidas, y los ácidos fúlvicos, que son más pequeños, de color amarillo a marrón claro, y solubles en agua en un amplio rango de pH.





El menor peso molecular de los ácidos fúlvicos (generalmente entre - 500 y 2,000 Da) y su mayor contenido de oxígeno se asocian con una mayor proporción de grupos funcionales oxigenados, como carboxilos y grupos hidroxilo, que aumentan su reactividad química y su capacidad de interacción con nutrientes y minerales. En este sentido, más que referirse a “grupos anhidros”, es más preciso hablar de grupos funcionales oxigenados, los cuales son responsables de muchas de las propiedades químicas de estas sustancias, como la solubilidad, la capacidad de quelación y la interacción con el suelo y las plantas.

Las sustancias húmicas y no húmicas desempeñan un papel fundamental en la nutrición de las plantas, ya que favorecen la disponibilidad y asimilación de nutrientes y energía, al mismo tiempo que contribuyen a prevenir el deterioro del suelo. Además, participan en procesos de recuperación y mejora de suelos, tanto mediante prácticas tradicionales como tecnificadas en la agricultura.

La materia orgánica es el eje funcional del suelo. Las sustancias húmicas estabilizan el carbono y mejoran el intercambio catiónico.

Su comportamiento en el suelo depende de factores como el pH y la salinidad. Por ejemplo, en suelos alcalinos, ciertos grupos químicos presentes en estas sustancias adquieren cargas negativas, lo que modifica su estructura y la forma en que interactúan con nutrientes y minerales. Asimismo, la presencia de sales influye en la estabilidad de estas interacciones, afectando su capacidad para retener o liberar nutrientes.

Las sustancias húmicas se mantienen unidas por distintos tipos de interacciones químicas –como enlaces iónicos, fuerzas débiles y enlaces covalentes– que determinan su estabilidad y funcionamiento en el suelo. Estas se originan principalmente a partir de la descomposición de residuos vegetales y animales, mediante procesos en los que compuestos como la lignina y los azúcares se transforman en estructuras más complejas y estables. Por esta razón, pueden encontrarse en prácticamente todos los tipos de suelo, ver (Tabla 1). En este sentido, el presente escrito tiene como objetivo analizar la interacción y la relevancia de las sustancias húmicas y no húmicas que conforman la materia orgánica, destacando su papel en la fertilidad y sostenibilidad de los suelos.

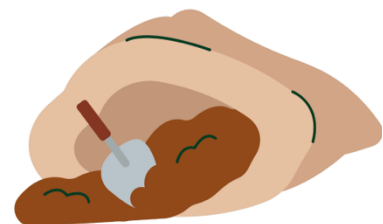


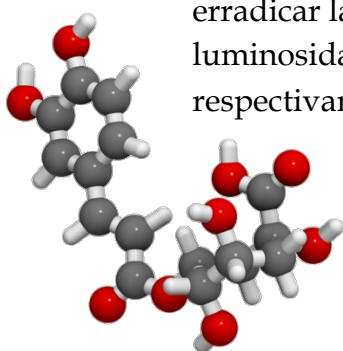


Tabla 1. Características principales de los ácidos, húmicos, fúlvicos y huminas en el suelo.

Ácido fúlvico	Sus tonalidades de amarillo a café claro y su solubilidad en agua bajo cualquier circunstancia de pH. Tienen una estructura química que interactúa con metales, minerales y otros componentes orgánicos del suelo, lo que los convierte en necesarios para el ciclo de nutrientes y en su accesibilidad para nutrir las plantas.
Ácido húmico	Son una mezcla de moléculas generadas por la oxidación y la degradación de la materia orgánica. Se generan mediante un proceso gradual de humificación. Este procedimiento de degradación, creación y entendimiento establece la calidad de los ácidos húmicos presentes en el suelo. Se encuentra en suelos castaños oscuros o grisáceos.
Huminas	Es la parte insoluble de la materia orgánica del suelo (MOS), que se conserva tras la extracción de los demás componentes de la MOS que pueden ser solubles en una base de agua. Suele ser un componente importante de la MOS la humina, sin embargo, su insolubilidad y su carácter inalterable han complicado su investigación. Se encuentra en suelos con tonalidades negras.

Asimismo, la materia orgánica desempeña un papel fundamental en el crecimiento de los cultivos, ya que contribuye al equilibrio nutrimental del suelo y favorece la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas. Esto se debe a que es una fuente importante de micro y macroelementos esenciales para la nutrición vegetal. Además, la materia orgánica sostiene la actividad de la microfauna del suelo, incluyendo bacterias responsables de procesos como la nitrificación, así como hongos, insectos y lombrices. Estos organismos interactúan de manera dinámica, promoviendo un ambiente biológico activo y equilibrado.

Como resultado de estas interacciones, se generan compuestos bioactivos como polifenoles, sustancias orgánicas con efecto protector, fitohormonas como auxinas naturales y moléculas señalizadoras que influyen en el desarrollo y adaptación de las plantas. Así como, la materia orgánica promueve la transformación físico química de los suelos, mejorando las características naturales de los suelos como son la estructura, percolación, filtración, porosidad, granulosis, coadyuva a erradicar la erosión y pérdida de nutrientes al suelo, mejorando la acidez, pH, luminosidad, oxigenación y temperatura edáfica. hidrógeno, nitrógeno y azufre respectivamente.





Efecto de las sustancias húmicas en la estructura del suelo

Las características de las estructuras moleculares de las sustancias húmicas influyen directamente en la calidad del suelo, ya que su forma compleja y ramificada les permite interactuar con las partículas del suelo y mejorar su organización. En particular, en los suelos arcillosos, donde es común la compactación, los ácidos húmicos favorecen la formación de agregados más estables, lo que reduce la dureza del suelo y lo hace más manejable. Como consecuencia, se incrementa la permeabilidad y la aireación, facilitando el movimiento del agua y el intercambio de gases. Estas mejoras crean condiciones más favorables para el desarrollo de las raíces y la actividad microbiana, contribuyendo así a un suelo más sano y productivo. En suelos más arenosos, los ácidos húmicos les permiten tener un elevado intercambio catiónico y retención de agua.

Interacción con la raíz y la rizosfera

Las sustancias húmicas estimulan el crecimiento radicular de los cultivos y favorecen el intercambio catiónico entre el suelo, la raíz y los microorganismos presentes en la rizosfera. Este proceso se relaciona con estructuras como la banda de Caspary, una capa impermeable ubicada en la endodermis de las raíces que regula el paso de agua y nutrientes hacia el interior de la planta. Asimismo, contribuyen a la formación de agregados del suelo, lo que mejora su estructura, reduce la densidad aparente y aumenta la capacidad de retención de humedad aprovechable.

En conjunto, estos efectos elevan la fertilidad del suelo, optimizan la nutrición radicular y pueden ayudar a disminuir condiciones de alcalinidad, favoreciendo un entorno más adecuado para el desarrollo vegetal. La pérdida de nutrientes por lixiviación o lavado de nutrientes, los ácidos fúlvicos tienen una gran importancia agronómica por su posibilidad de aprovechamiento en fertilizantes de aplicación foliar radicular aumentando la producción de las cosechas su absorción y unión con iones metálicos es muy importantes su función fisiológica vegetal. Entre los procesos fisiológicos que estimulan la germinación de granos y semillas, solubilización de nutrientes vía rizosfera, formación de raíces adventicias, respiración radicular, síntesis de proteínas, división celular, ionización de moléculas.





Importancia de los ácidos fúlvicos en la nutrición vegetal

Los beneficios de los ácidos fúlvicos en las plantas se observan principalmente en la raíz de los cultivos y frutales. Estos pueden utilizarse como enraizantes y como mejoradores de la nutrición vegetal, facilitando el transporte de nutrientes a través del xilema y floema. Además, participan en la producción de vitaminas y minerales esenciales. Asimismo, los ácidos fúlvicos intervienen en procesos fisiológicos como la respiración celular, la permeabilidad de las membranas y la inducción de auxinas, las cuales favorecen la elongación de raíces, tallos y ápices. También tienen la capacidad de interactuar con iones de metales como el potasio (K) y el magnesio (Mg), mejorando su disponibilidad para las plantas y actuando como acondicionadores orgánicos del suelo. Sus efectos también se reflejan en la calidad de los cultivos, ya que contribuyen a la maduración, mejoran la textura y el color de los frutos, y favorecen la formación de clorofila, lo que incrementa la fotosíntesis.

Papel en la remediación y dinámica del suelo

Las sustancias húmicas desempeñan un papel clave en la biorremediación de suelos contaminados. Actúan como agentes que pueden transformar metales pesados como hierro (Fe), cobre (Cu) y manganeso (Mn) en formas más estables (quelatos), reduciendo su toxicidad. Este proceso ocurre gracias a su capacidad de solubilización e interacción con los metales a través de grupos carboxílicos, lo que permite su inmovilización o transformación en formas menos dañinas (Tabla 2).

Estas sustancias intervienen directamente en la clasificación de los suelos y de sus procesos característicos de transformación, la movilidad de arcillas e intercambio catiónico, disponibilidad de sales en el suelo, movilidad de calcio y cantidad de componentes orgánicos nutrimentales, la presencia de fosfatos y azufre, las reservas orgánicas del suelo. Los ácidos fúlvicos son moléculas de tamaño considerablemente más reducido que resultan útiles tanto en usos foliares como en el suelo, donde suministran nutrientes esenciales a través de la membrana celular vegetal.



Las sustancias húmicas y no húmicas constituyen las dos grandes fracciones de la materia orgánica del suelo y cumplen funciones esenciales en su dinámica y funcionamiento.





Aportación de las sustancias húmicas y no húmicas

Estas sustancias son componentes fundamentales del suelo que cumplen funciones clave para la salud de los ecosistemas y la productividad agrícola, destacando funciones tales como:

- **Refuerza la Estructura del Suelo:** Las sustancias húmicas, como los ácidos húmicos y fúlvicos, ayudan a aglutinar partículas del suelo, mejorando la estructura del suelo y aumentando la porosidad, lo que facilita la aireación y el drenaje.
- **Conserva y retiene agua:** aumenta la capacidad del suelo para retener agua, lo cual es esencial en climas áridos y es de gran ayuda en las plantas que están expuestas en períodos de sequía.
- **Intercambio catiónico (CIC):** tiene la capacidad de retener y liberar nutrientes esenciales (como el calcio, magnesio y potasio), lo que mejora la nutrición y fertilidad del suelo.
- **Fitoextracción:** Actúan como agentes quelantes, ayudando a inmovilizar metales pesados y otros contaminantes, reduciendo la toxicidad en el suelo.
- **Bioestimulación del suelo:** promueve la actividad microbiana, proporciona un ambiente favorable y nutrientes, mejorando así la salud del suelo y la capacidad de proporcionar nutrientes a las plantas.
- **Aporte de Nutrientes:** Incluyen minerales y otros compuestos inorgánicos que son fundamentales para la nutrición de las plantas, proporcionando elementos como fósforo, azufre y hierro.
- **Balance del pH:** Ayudan a regular el pH del suelo, mejorando su acidez o alcalinidad según sea necesario para diferentes cultivos.
- **Interacción con Sustancias Húmicas:** Trabajan en conjunto con las sustancias húmicas para mejorar la fertilidad y la estructura del suelo, facilitando el acceso de las plantas a los nutrientes.
- **Estabilidad del Suelo:** Contribuyen a la cohesión de las partículas del suelo, lo que ayuda a prevenir la erosión y la pérdida de nutrientes.





Tabla 2. Aportación benéfica de las sustancias húmicas y no húmicas.

Tipo de sustancias	Descripción	Ejemplos	Beneficios
Sustancias húmicas	Son moléculas complejas de tonalidad café o negro, poseyendo características coloidales e hidrofílicas. Poseen la habilidad para adsorber y desintegrar iones, así como para liberar nutrientes a largo y mediano plazo.	Humus Carbón Turba Huminas Ácido úlmico Ácidos fúlvicos Ácidos húmicos Ácido himatomelánico Humato potásico	Las plantas potencian la asimilación de nutrientes. Fomentan el crecimiento de microorganismos en el suelo. Fomentan el desarrollo de agregados en el suelo. Incrementan la capacidad del suelo para intercambiar cationes (CIC). Resultan neutralizantes en suelos ácidos y alcalinos. Controlar el nivel de pH en los terrenos Optimizan y mejoran la asimilación de nutrientes y agua por las plantas. Promueven la presencia de micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn) Mantienen la erosión a través del escurrimiento superficial. Solubilizan minerales esenciales.
Sustancias no húmicas	Las sustancias no húmicas representan restos de vegetación muertos, raíces descompuestas y seres vivos del suelo, o sus elementos.	Restos vegetales muertos Raíces muertas Organismos del suelo Carbohidratos Proteínas Grasa	Sustancias de dispersión no modificadas o levemente modificadas, donde las estructuras tisulares continúan siendo en su mayoría morfológicamente perceptibles, sin embargo, pueden ser utilizados para realizar composta que después puede formar parte del suelo.

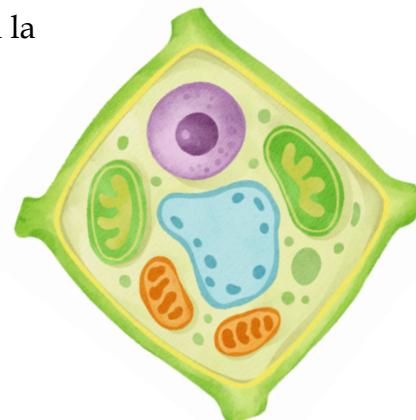
Tanto los componentes húmicos como los no húmicos son esenciales para mantener el balance del suelo. La correcta administración y entendimiento son fundamentales para fomentar la sostenibilidad en la agricultura y la preservación del entorno natural. La mezcla de ambos compuestos en la materia orgánica del suelo es fundamental para garantizar un ecosistema agrícola eficiente y resiliente, ver (Figura 3).



Figura 3. Las sustancias ácidas fúlvicos, húmicos y huminas que fortalecen la estructura y fertilidad del suelo, los cuales provienen de los residuos de descomposición vegetal.

Finalmente, la presencia de las sustancias húmicas y de la materia orgánica es vital para el balance del suelo, su presencia ayuda a tener control de una gran cantidad de procesos físico químicos, estructurales, fisiológico, biológicos, nutrimentales y enzimáticos la relación de carbono orgánico de los suelos que ayuda a la fertilidad de los cultivos y a su productividad.

La asimilación de los metales pesados que las sustancias húmicas ayudan a convertirse en metales biodegradados por el suelo para biorremediar los problemas en los suelos que hacen que se erosione o empobrezca en nutrientes, el papel de las sustancias húmicas y de la materia orgánica otorga una calidad fisiológica y nutrimental a los suelos. Por otra parte, su participación en los procesos enzimáticos celulares y participación en la generación hormonal en los cultivos para el desarrollo y crecimiento de los mismos a los cultivos su manejo dependerá siempre de la capacidad técnica de los profesionistas y estudiosos de la materia para poder seguir dando recomendaciones de su uso, así como también conocer más de las cualidades estructurales que estas sustancias dan a la agricultura (Figura 4).





- ✓ Forman complejos (quelatos) con metales como Cd, Pb, Cu, Ni y Zn.
- ✓ Disminuyen la biodisponibilidad de metales altamente tóxicos como Pb y Cd al inmovilizarlos.
- ✓ En algunos casos (ej. ácidos fúlvicos), pueden aumentar la movilidad del metal, facilitando su transporte hacia la raíz.
- ✓ Actúan como amortiguadores del pH, influyendo en la solubilidad de los metales.

Resultado: generalmente reducen la toxicidad directa, pero pueden modificar su movilidad dependiendo del tipo de sustancia húmica y del pH.

Figura 4. Las sustancias húmicas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas)

Conclusiones

Las sustancias húmicas y no húmicas desempeñan un papel fundamental en la dinámica del suelo, al actuar de manera complementaria en la disponibilidad de nutrientes, la actividad biológica y la mejora de sus propiedades físicas y químicas. Su aplicación en cultivos, especialmente en árboles frutales, ha demostrado ser eficiente, al favorecer una rápida absorción de nutrientes y una respuesta positiva en el desarrollo vegetal, particularmente cuando se integran con prácticas de tecnificación agrícola.

En conjunto, estas fracciones de la materia orgánica fortalecen la fertilidad del suelo, estimulan el desarrollo radicular y optimizan el aprovechamiento de nutrientes, lo que se traduce en una mayor productividad agrícola. Además, contribuyen a la sostenibilidad del sistema suelo-planta al mejorar su estructura, resiliencia y capacidad de recuperación ante condiciones adversas. Por ello,

comprender la interacción y función de las sustancias húmicas y no húmicas permite diseñar estrategias de manejo más eficientes, orientadas a conservar la calidad del suelo y garantizar sistemas agrícolas más productivos y sostenibles.

La materia orgánica, más que un componente del suelo, es el eje que sostiene su funcionamiento, al integrar procesos físicos, químicos y biológicos esenciales para la vida y la producción agrícola.

¡La materia orgánica es maravillosa!





Agradecimientos

El autor de correspondencia agradece a SECIHTI por el apoyo otorgado a través de la Convocatoria de Estancias Posdoctorales por México 2025 (CVU: 961356), el cual hizo posible la realización del presente trabajo.

Literatura recomendada

- Hayes, M. H., Mylotte, R., & Swift, R. S. (2017). Humin: its composition and importance in soil organic matter. *Advances in agronomy*, 143, 47-138.
- Zavarzina, A. G., Danchenko, N. N., Demin, V. V., Artemyeva, Z. S., & Kogut, B. M. (2021). Humic substances: hypotheses and reality (a review). *Eurasian Soil Science*, 54, 1826-1854.
- Yang, F., Tang, C., & Antonietti, M. (2021). Natural and artificial humic substances to manage minerals, ions, water, and soil microorganisms. *Chemical Society Reviews*, 50(10), 6221-6239.
- Gerke, J. (2022). The central role of soil organic matter in soil fertility and carbon storage. *Soil Systems*, 6(2), 33.



Semblanza de autores

Marisela Calderón-Jurado. Ingeniera Hortícola con Maestría y Doctorado en Ciencias Hortofrutícolas por la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, con experiencia en investigación en frutales de zona templada y flores comestibles, participación en congresos y seminarios nacionales e internacionales. Actualmente es estudiante de posdoctorado por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación.

Damaris Leopoldina Ojeda-Barrios. Profesora-investigadora adscrita a la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas UACH, miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII), Nivel II. Es líder del Cuerpo Académico UACH-CA-17 Hortofruticultura, donde ha sido responsable en diversos proyectos de investigación con financiamiento externo. Ha publicado más de 70 contribuciones originales en revistas científicas indexadas y libros con editoriales internacionales. Presidenta de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.

Yesenia Ocampo-González. Es Químico Bacteriólogo Parasitólogo. Cuenta con estudios de posgrado como Maestra en Ciencias de la Productividad Frutícola y actualmente está por concluir el Doctorado en Ciencias Hortofrutícolas. Ha impartido clases durante 7 años a nivel licenciatura, guiando a sus estudiantes de manera académica y también en labores sociales, involucrándolos en proyectos que beneficien a las personas más vulnerables de la sociedad.

Orlanda Tanahiri García-González. Maestra en Ciencias Hortofrutícolas por la UACH, donde actualmente realiza estudios de doctorado en la misma disciplina. Desarrolla un proyecto de investigación sobre biofortificación de razas criollas de frijol de la Sierra Tarahumara. Cuenta con experiencia profesional en investigación aplicada y desarrollo de soluciones agrícolas, adquirida durante su trayectoria en Innovak Global.

Oscar Cruz-Álvarez. Investigador de la UACH. Es Ing. Agr. Esp. en Fitotecnia, M.C. y D.C. en Horticultura por la Universidad Autónoma Chapingo. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores e Investigadoras (SNII) nivel I, y de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (SMCS A.C.).





Guardianes naturales en suelos cultivados con brassicas : glucosinolatos

Carmen Alicia Ayala-Contretas^{1*}
Alberto Sandoval-Ranguel²
Oscar Sariñana-Aldaco³

¹Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C. P. 25315.

²Departamento de Horticultura. UAAAN.

³Facultad de Ciencias Agrotecnológicas-Campus Cuauhtémoc de la Universidad Autónoma de Chihuahua. La Presa. Cuauhtémoc, Chihuahua. C.P. 31510 .

*Autor de correspondencia: cayala710@gmail.com

Las brassicas son hortalizas ampliamente consumidas por su alto valor nutricional; sin embargo, su importancia va más allá de la alimentación humana. Después de la cosecha, quedan en el campo residuos vegetales conocidos como esquilmos, los cuales cumplen funciones clave en la protección, fertilidad y sanidad del suelo. Al incorporarse al suelo, los esquilmos de brassicas liberan compuestos naturales llamados glucosinolatos que, al transformarse en isotiocianatos, permiten la biofumigación, un proceso natural que ayuda a controlar hongos, bacterias, nemátodos y algunas malezas del suelo. Esta práctica, cuando se realiza bajo condiciones adecuadas y como parte de un manejo integral, contribuye a una agricultura más sostenible, promoviendo suelos más sanos, resilientes y productivos.





Introducción

En nuestra alimentación diaria están presentes muchas hortalizas que no solo aportan nutrientes a sus consumidores, sino que también desempeñan funciones clave en los agroecosistemas donde se cultivan. Las brassicas, como el brócoli, el rábano, el repollo y la coliflor, son un claro ejemplo de cómo una planta puede aportar beneficios tanto a la salud humana como a la del suelo. Más allá de la parte comestible que llega a nuestra mesa, estas especies esconden un potencial poco visible, pero de gran utilidad para mantener los suelos libres de patógenos, favoreciendo una agricultura más sostenible.

Las plantas que pertenecen al género de las brassicáceas incluyen al rábano, brócoli, repollo y coliflor, entre muchas otras.

Desarrollo

Las brassicas, plantas muy interesantes.

A lo mejor es la primera vez que escuchas la palabra brassicas, este es el término que se les da a las plantas que pertenecen al género de las brassicáceas, que incluye muchas de las hortalizas que consumimos todos los días, como por ejemplo rábano, brócoli, repollo y coliflor, entre muchos otros. Nos alimentamos de diferentes partes de estas plantas, como raíces, tallos, hojas y flores, las cuales tienen un alto valor nutrimental y contienen una gran variedad de compuestos ricos en antioxidantes que fortalecen el sistema inmune en los seres humanos (Figura 1). Pero estas plantas no solo son importantes para nosotros, sino que son héroes silenciosos en la salud de los suelos donde se cultivan.



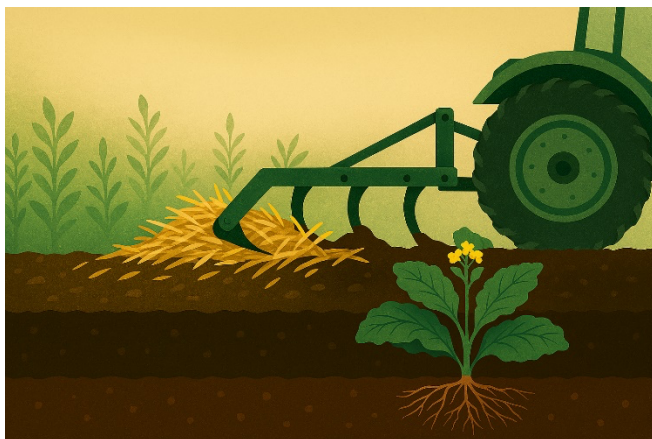
Figura 1. Algunas propiedades de las brassicáceas.



En el caso de hortalizas como el brócoli y coliflor lo que consumimos es la flor, si, así como leas, los “arbolitos” de los brócolis o coliflores son realmente un conjunto de flores compactadas en un florete en forma de cabeza, mismas que cosechamos y consumimos antes de que las flores se abran; en el caso del repollo

Contienen una gran variedad de compuestos que benefician la salud humana y del suelo.

lo que consumimos con un conjunto de hojas compactadas y en el caso de rábano es una raíz engrosada. Todo esto es muy importante porque estas partes comestibles son cosechadas y comercializadas para nuestro consumo, pero esto solo es una parte del total de la planta. Después de la cosecha, en el campo queda una gran parte de hojas, tallos y raíces que no son comestibles para nosotros, pero pueden cumplir una labor muy importante en el suelo. A estos restos de la cosecha se les conoce como esquilmos.



Los esquilmos son todos los residuos vegetales de la producción agrícola que quedan en el suelo después de la cosecha. Como se mencionó, estos pueden ser restos de hojas, tallos, raíces y cualquier otra parte de la planta, en el suelo los esquilmos pueden cumplir funciones como protectores contra la erosión,

Los esquilmos son todos los residuos vegetales que quedan en el campo después de la cosecha y se incorporan al suelo.

favorecer la retención de humedad, así como el control de malezas, ya que al cubrir el suelo evita que las malezas germinen y se establezcan; como parte del proceso de descomposición los esquilmos pueden aportar nutrientes y materia orgánica que favorece la composición y fertilidad del suelo. Un aspecto muy importante que aportan los esquilmos, principalmente de las brassicas, es favorecer la sanidad del suelo mediante la biofumigación (Figura 2).



Biofumigación con esquilmos.

La biofumigación es una práctica agrícola que incorpora al suelo esquilmos de brassicas (u otro material vegetal), mezclándolos y picándolos en el campo.

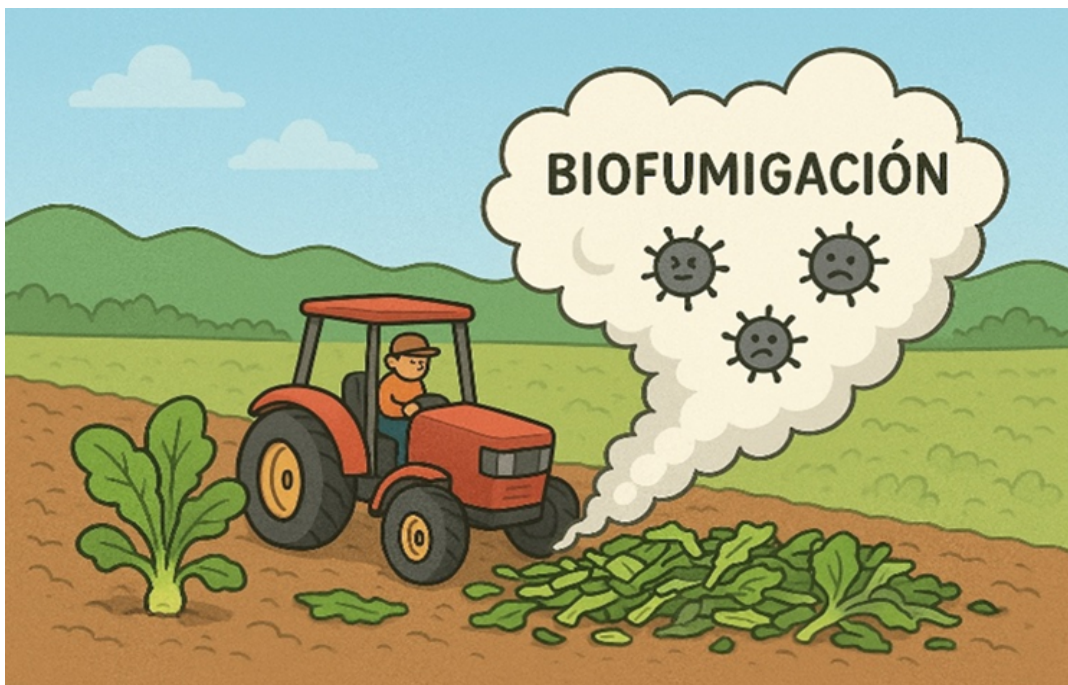


Figura 2. Incorporación de esquilmos de brassicas al suelo como biofumigación.

La biofumigación con esquilmos controla organismos dañinos del suelo, como hongos, bacterias y nemátodos, e incluso algunas malezas. Funciona gracias a que estas plantas contienen compuestos naturales llamados glucosinolatos que, al picarse y romperse, se transforman en isotiocianatos y otros productos activos que actúan como antimicrobianos, dañando la membrana de los patógenos, bloqueando sus proteínas y afectando su metabolismo, lo que les impide sobrevivir en el suelo.

La biofumigación con esquilmos controla organismos dañinos en el suelo como hongos, bacterias, nemátodos e incluso algunas malezas, gracias a compuestos como glucosinolatos.



¿Has notado que cuando comes un rábano o picas un brócoli tiene un olor fuerte y algo irritante? Ese es uno de los mecanismos de acción de la biofumigación, ese olor no solo incomoda a nuestro olfato, también lo hace con insectos, hongos y microorganismos dañinos. Los glucosinolatos, por sí solos, no tienen un efecto de biocontrol. Al romperse los tejidos de los esquilmos, se liberan sustancias volátiles, como los isotiocianatos, que tienen acción fumigante. Pero el precursor es el glucosinolato: si no está presente, no hay biofumigación. Son los guardianes naturales del suelo, silenciosos pero poderosos (Figura 3).

La efectividad de la biofumigación con esquilmos no depende solo de la planta, sino también de cómo y cuándo se realiza esta práctica en el campo. Para que los glucosinolatos se transformen en compuestos activos, es fundamental que el material vegetal esté picado y se incorpore rápidamente al suelo con buena humedad. Estas condiciones favorecen la liberación y el funcionamiento más eficiente de los isotiocianatos. Asimismo, la biofumigación no debe entenderse como una práctica aislada ni única, sino como parte de un manejo integral del suelo. Cuando se combina con prácticas como la rotación de cultivos, el uso de abonos orgánicos y la reducción del uso de agroquímicos sintéticos, contribuye a mejorar la biodiversidad microbiana y a fortalecer la resiliencia del suelo frente a patógenos. De esta manera, el suelo deja de ser solo un soporte para las plantas y se reconoce como un sistema vivo que requiere cuidado y equilibrio.



Figura 3. Forma en que actúan los glucosinolatos en el suelo.



En un contexto en el que la agricultura enfrenta grandes desafíos, como la degradación del suelo, la pérdida de fertilidad y la demanda de alimentos producidos de forma más limpia, el uso de esquilmos de brassicas y labiofumigación representan una alternativa accesible y basada en procesos naturales. Aprovechar lo que el propio cultivo genera permite cerrar ciclos, reducir residuos y transformar un subproducto de la cosecha en una herramienta clave para la sanidad del suelo.

Esta práctica está siendo ampliamente estudiada como parte de las estrategias de manejo sustentable; además, investigadores de diferentes áreas realizan trabajos para documentar y validar estos efectos en campo, promoviendo la biofumigación como parte de una agricultura más limpia y resiliente. Sin embargo, es necesario realizar más estudios sobre suelos para evaluar el efecto adicional de estos glucosinolatos sobre microorganismos benéficos, como los hongos micorrízicos, tricotermas y rizobacterias.



Conclusión

Las brassicas son verdaderas aliadas silenciosas del suelo agrícola, sus esquilmos o residuos de cosecha, lejos de ser un desecho, actúan como guardianes naturales gracias a los glucosinolatos, compuestos que al incorporarse al suelo favorecen la biofumigación y el control de patógenos de manera natural. Reconocer y aprovechar estos procesos permite avanzar hacia prácticas agrícolas más limpias, sustentables y en armonía con los ciclos naturales del suelo, donde la ciencia y la agricultura se encuentran para fortalecer la producción de alimentos y la salud de los ecosistemas.

Literatura recomendada

- Vargas-Rincón, C., Sánchez-León, G., & Jiménez-Morales, P. 2013. La Producción de Metabolitos Secundarios en la Familia Brassicaceae. Revista Facultad de Ciencias Básicas, 9(2), Article 2. <https://doi.org/10.18359/rfcb.388>
- Pereyra, S. M., Avila, A. de L., & Orecchia, E. R. 2008. La biofumigación y el metam sodio como alternativas al uso de bromuro de metilo. Efecto sobre el control de malezas y las características químicas del suelo. AgriScientia, 25(2), 75-79. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v25.n2.2743>
- Eugui, D., Velasco, P., Abril-Urías, P., Escobar, C., Gómez-Torres, Ó., Caballero, S., & Poveda, J. 2023. Glucosinolate-extracts from residues of conventional and organic cultivated broccoli leaves (*Brassica oleracea* var. *Italica*) as potential industrially-scalable efficient biopesticides against fungi, oomycetes and plant parasitic nematodes. Industrial Crops and Products, 200, 116841. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116841>





Semblanzas de autores

Carmen Alicia Ayala-Contreras. Estancia posdoctoral de investigación en el proyecto: Biofumigantes de residuos de brassicas para el control de patógenos de suelo, en UAAAN. Línea de trabajo en el uso de extractos vegetales como alternativas de biocontrol agrícola y bioestimulante. Profesora invitada en actividades académicas a nivel de licenciatura y posgrado.

Alberto Sandoval-Ranguel. Profesor investigador tiempo completo adscrito al departamento de horticultura en UAAAN, pertenece al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores nivel 1, sus línea de investigación se enfocan en el uso eficiente de fertilizantes y biocontrol de patógenos del suelo.

Oscar Sariñana-Aldaco. Profesor Investigador en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Pertenece 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.

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>



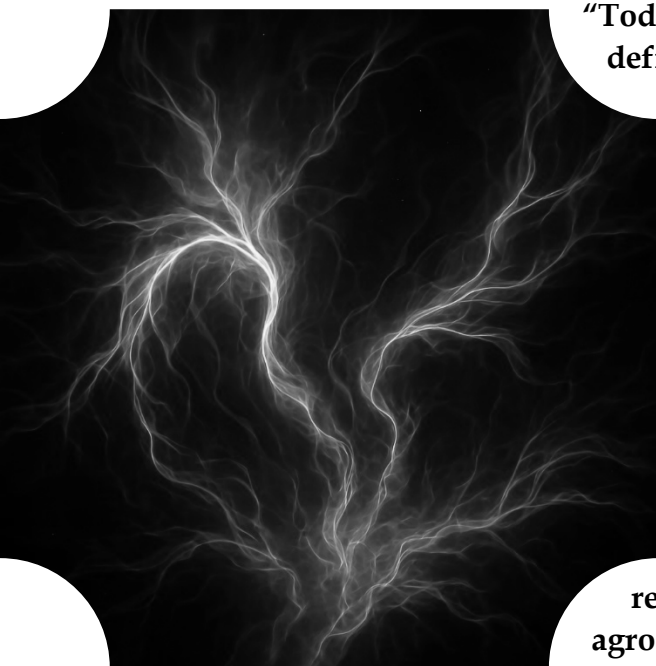
Plasma frío, una tecnología que fortalece las semillas

Aracely Zulema Santana Jiménez¹
Belén Arely Camargo Olivas¹
Nora Aidée Salas Salazar¹
María Antonia Flores Córdova¹
Rogelio Sánchez Vega²
María Janeth Rodríguez Roque^{1*}

¹Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Avenida Pascual Orozco, s/n, campus 1, colonia Santo Niño, Chihuahua, Chihuahua, México.

²Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Zootecnia y Ecología. Francisco R. Almada, km 1 s/n, Chihuahua, México.

*Autor para correspondencia: mjrodriguez@uach.mx

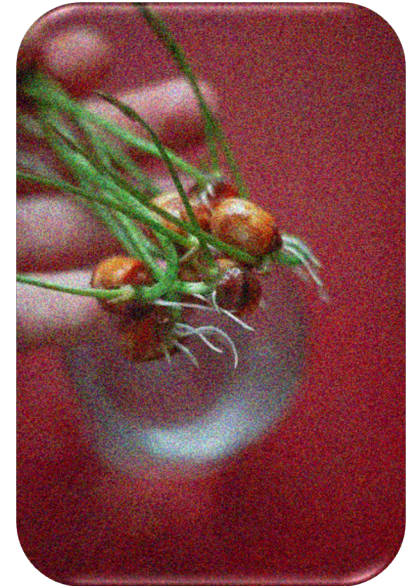


“Todo empieza con una semilla” con esta frase podemos definir el inicio de nuestra alimentación pues la capacidad de germinación de las semillas determina la productividad agrícola. Sin embargo, la germinación se ve afectada por el cambio climático, las plagas o los microorganismos no deseados. Por lo tanto, es importante explorar nuevas tecnologías que hagan frente a esta problemática, como el plasma frío. Y ¿qué es el plasma frío? es un gas ionizado generado a baja temperatura, también es una tecnología que mejora la germinación, fortalece el vigor de las plántulas y, al mismo tiempo, protege al medio ambiente ya que no genera residuos químicos y puede reducir el uso de agroquímicos. Este artículo trata sobre la aplicación del plasma frío en semillas, ya que esta tecnología puede mejorar diversos aspectos de la germinación mediante cambios fisicoquímicos en la superficie de la semilla, desde la absorción de agua hasta el desarrollo de plántulas más resistentes a condiciones adversas, lo que resalta su potencial aplicación como una alternativa sostenible para mejorar la productividad agrícola.



Introducción

La germinación de las semillas es una etapa fundamental en la agricultura, principalmente para la obtención de alimentos. Sin embargo, la productividad agrícola enfrenta desafíos a nivel mundial como la sequía, las inundaciones, la alta salinidad, las temperaturas extremas, la baja supervivencia de las semillas debido a la contaminación por microorganismos y un mayor tiempo de germinación. Estos factores disminuyen el rendimiento de la producción de alimentos, por lo que los investigadores han propuesto alternativas para hacer frente a esta problemática, entre ellas destaca el plasma frío.



El plasma frío es el cuarto estado de agregación de la materia, también es una tecnología no térmica que se empezó a utilizar para desinfectar superficies. En los últimos años, se han explorado otras aplicaciones en la agricultura, especialmente en la germinación de semillas, ya que gracias a las partículas energéticas que componen al plasma, se pueden estimular procesos fisiológicos y bioquímicos en las semillas, favoreciendo su germinación.

¿Qué es el plasma frío?

El plasma es un gas con carga eléctrica, compuesto de radiación ultravioleta y partículas energéticas. Los niveles de energía en la materia se incrementan al pasar del estado sólido al líquido, luego al gaseoso y finalmente al plasma (Figura 1).

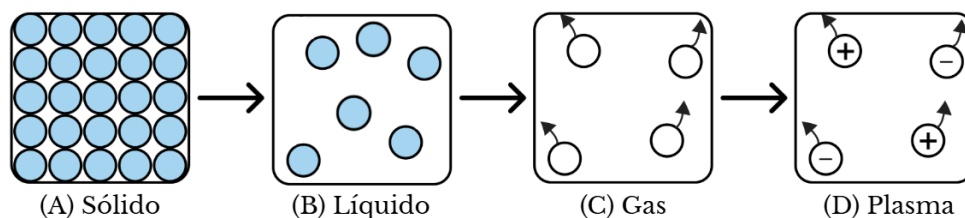
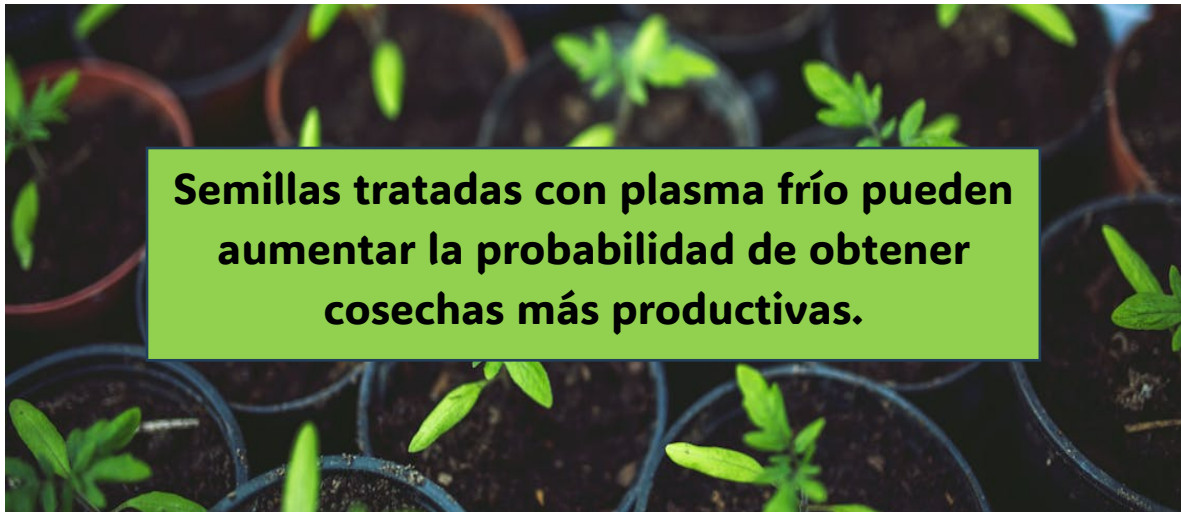


Figura 1. Estados de agregación de la materia y formación del plasma. (A) Sólido: las partículas permanecen ordenadas y unidas. (B) Líquido: Partículas móviles, pero aún cercanas. (C) Gas: Partículas separadas y con movimiento. (D) Plasma: gas donde los átomos están ionizados (átomos o moléculas con una carga eléctrica). Fuente: Elaboración propia.



Semillas tratadas con plasma frío pueden aumentar la probabilidad de obtener cosechas más productivas.

Desarrollo

De acuerdo con sus condiciones de generación y a sus características, el plasma puede clasificarse en plasma térmico y plasma frío. En el plasma térmico, las partículas que lo componen presentan temperaturas similares y se encuentran en equilibrio, lo que da lugar a temperaturas elevadas. En el plasma frío solo los electrones poseen altos niveles de energía; el gas y las partículas más pesadas presentan valores cercanos a la temperatura ambiente, razón por la cual se denomina “plasma frío”.

Las especies reactivas, o partículas energéticas que se generan en el plasma frío, actúan rompiendo enlaces químicos de moléculas dañinas, inhiben el crecimiento de microorganismos patógenos y estimulan procesos biológicos como la absorción de agua por la semilla durante la germinación, sin dejar residuos tóxicos. Estas son algunas de las razones principales por la que esta tecnología tiene potenciales aplicaciones en la agricultura.

Aplicación de plasma frío en semillas

Un generador de plasma frío se compone principalmente de una fuente de energía eléctrica de alto voltaje y un reactor, donde se aplica electricidad para energizar un gas hasta convertirse en plasma. Su producción depende de diversos parámetros, como el tipo de gas utilizado y la configuración del sistema. Existen diversas formas de aplicar el plasma frío en semillas: de manera directa, mediante la exposición de las semillas al plasma, o de forma indirecta, a través de la inmersión de semillas en agua activada por plasma (Figura 2).

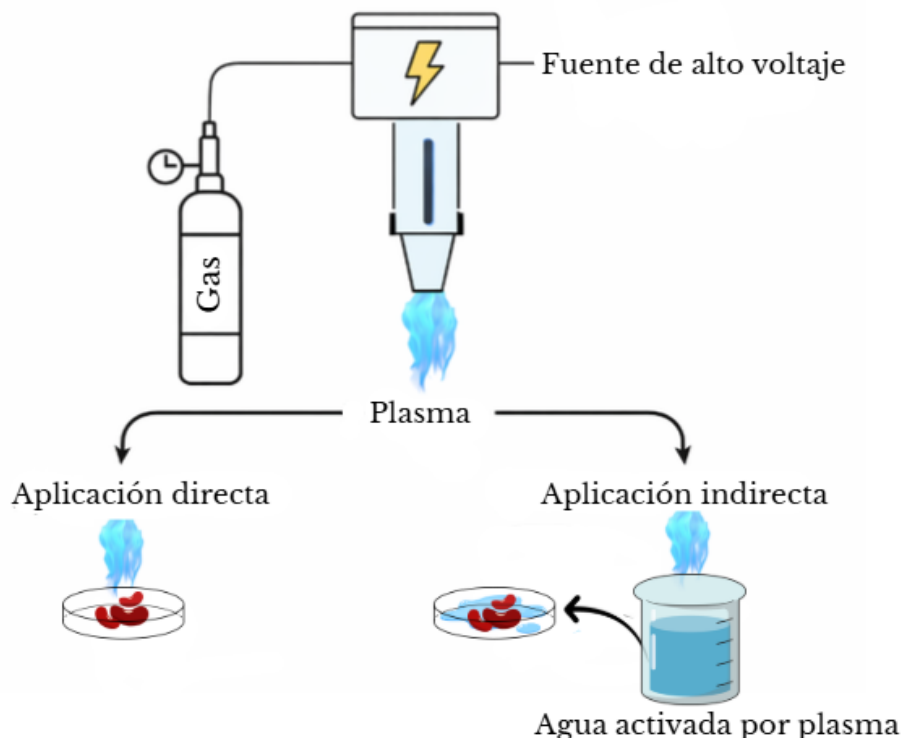


Figura 2. Esquema simplificado de un generador de plasma frío y sus formas de aplicación en semillas: aplicación directa y aplicación indirecta mediante agua activada por plasma.
Fuente: Elaboración propia.

Independientemente del tipo de aplicación de plasma frío en semillas, los efectos pueden describirse de la siguiente manera (Figura 3):

1. Generación de especies reactivas: Al aplicar energía a un gas se forman partículas reactivas de oxígeno y nitrógeno, así como radicales libres y radiación.
2. Modifica la superficie de la semilla: Las especies reactivas eliminan o alteran componentes de la capa protectora externa de la semilla, como ceras o lignina.
3. Mejora la absorción de agua y nutrientes: La superficie modificada facilita la absorción de agua y de nutrientes.
4. Activación fisiológica y bioquímica de la semilla: Las especies reactivas tienen un efecto en la regulación hormonal y actividad enzimática involucradas en la germinación y desarrollo inicial, favoreciendo procesos asociados al crecimiento y al vigor.

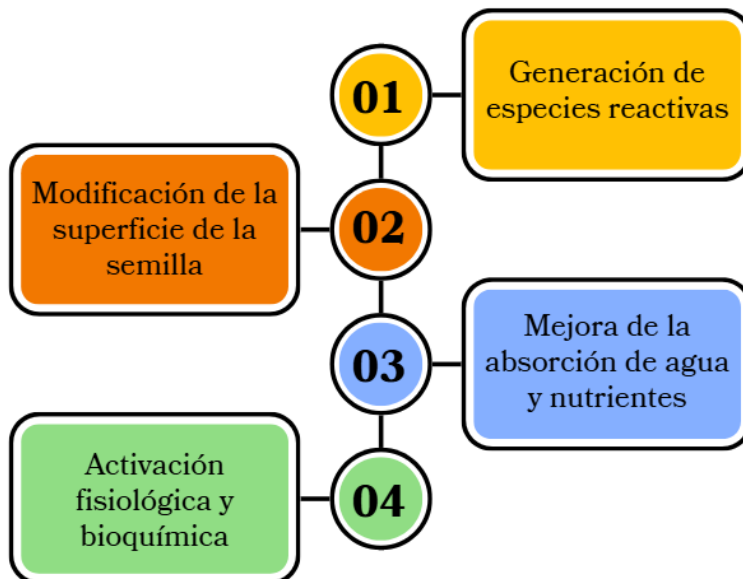


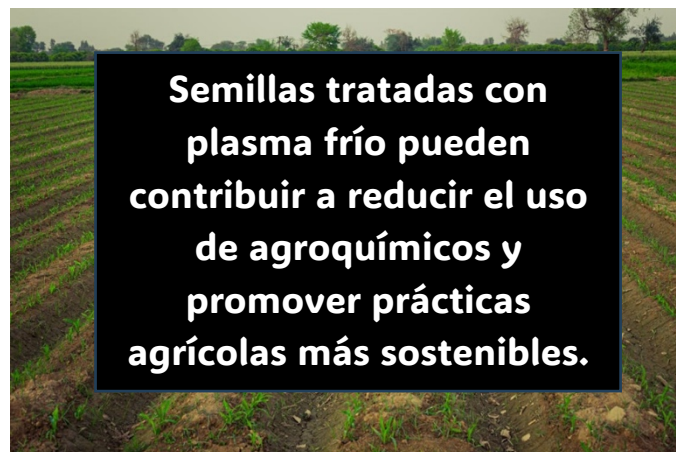
Figura 3. Efecto del plasma frío sobre las semillas.

Semillas sanas, suelos productivos

Gracias a los efectos descritos anteriormente, las semillas tratadas con plasma frío dan lugar a plántulas más fuertes y con mayor crecimiento. Además, este tratamiento ofrece otros beneficios como la eliminación de microorganismos patógenos, una mayor resistencia a estrés ambiental y la mejora de la humectabilidad, es decir, el agua se distribuye mejor sobre la semilla, lo que facilita la hidratación.

Cabe mencionar que además de mejorar la germinación, el plasma frío también puede modificar minerales, pigmentos, enzimas y otros componentes nutricionales de las semillas, por ejemplo:

- El contenido de calcio y boro aumentó en semillas de tomate tratadas con plasma frío.
- En soya (*Glycine max* (L.) Merr), la proteína soluble, el azúcar soluble y la actividad de enzimas como la peroxidasa y la fenilalanina amonio liasa se incrementaron tras el tratamiento con descarga de plasma dieléctrico.
- En trigo (*Triticum* spp.), el contenido de clorofila aumentó en comparación con las semillas no tratadas.





¿Qué relación tiene todo esto con el suelo? Cuando el plasma frío mejora la disponibilidad y aprovechamiento de nutrientes en el interior de la semilla, la plántula que emerge tiene una mayor capacidad de absorber y movilizar nutrientes desde el suelo. Por otro lado, la activación de enzimas relacionadas con la defensa contra el estrés ambiental fortalece la resistencia de la plántula y puede contribuir a reducir el uso de agroquímicos que dañan el suelo. Además, una plántula con un mayor contenido de clorofila establece una cobertura vegetal más eficiente y puede ser un indicador del estado en que se encuentra el suelo.

Ejemplos de aplicación del plasma frío en semillas y cultivos.

Se ha demostrado a través de diversas investigaciones que el plasma frío, ya sea de forma directa o indirecta, puede beneficiar a diferentes cultivos (Figura 4).

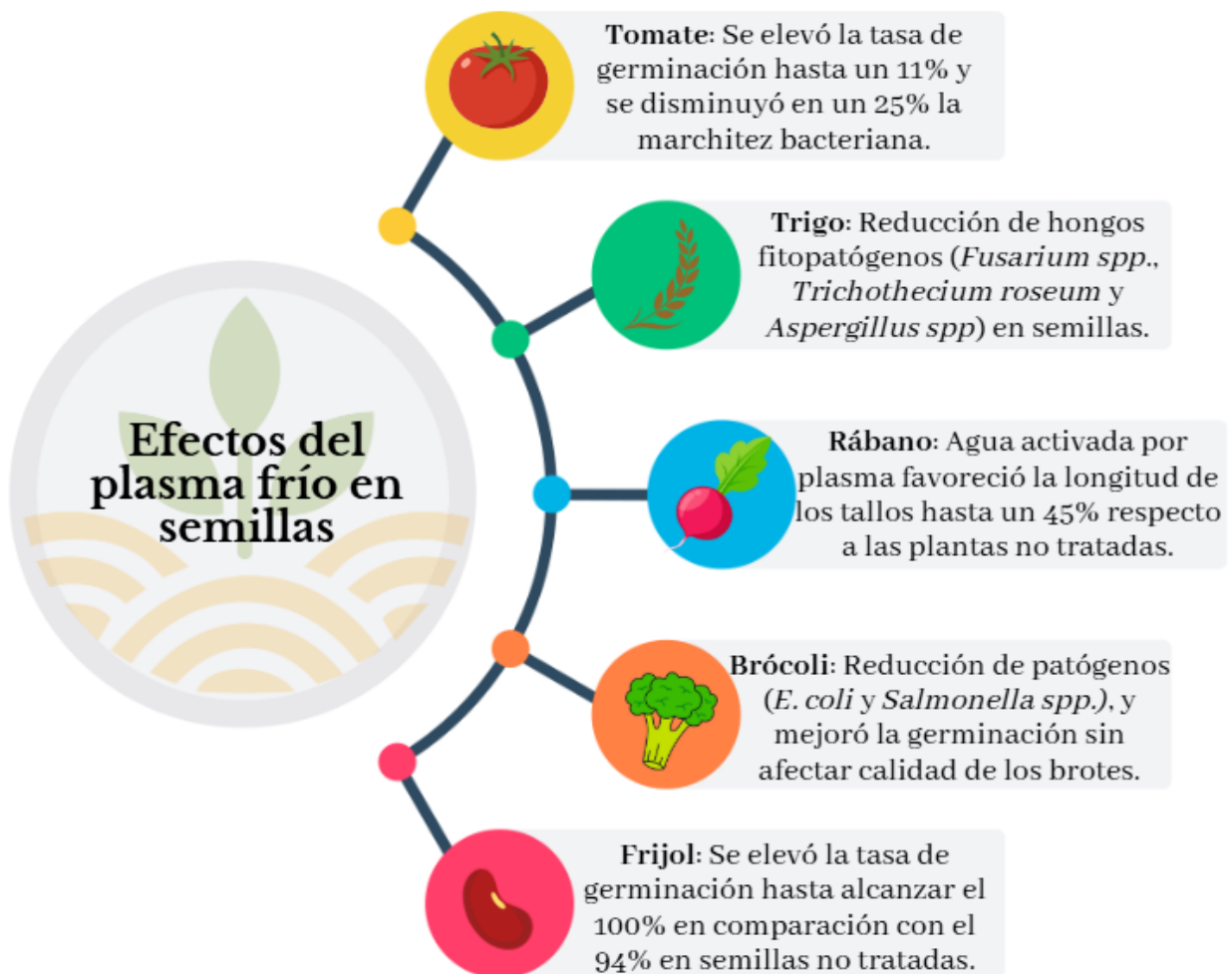


Figura 4. Efecto del plasma frío y agua activada por plasma en la germinación y desarrollo inicial de distintos cultivos. Fuente: Elaboración propia a partir de información de Rajan et al., 2023.



Conclusiones

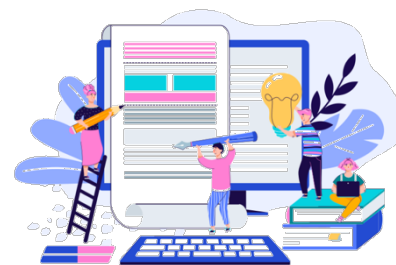
El plasma frío, aplicado de forma directa o indirecta, representa una alternativa ecológica capaz de mejorar la germinación y vigor de las semillas, sin dejar residuos químicos. Además, este tratamiento fortalece plántulas desde etapas tempranas,



promoviendo mayor absorción de nutrientes y resistencia a factores de estrés ambiental y contra patógenos. El uso de plasma frío en semillas puede contribuir a reducir la dependencia de agroquímicos, al potenciar la defensa natural de las plantas y mejorar la eficiencia del aprovechamiento del suelo. Por lo que, esta tecnología demuestra un impacto positivo en la interacción planta-suelo, favoreciendo la germinación, la cobertura vegetal y la fertilidad, lo que la hace una estrategia sostenible para la agricultura moderna.

Literatura recomendada

- De La Rosa-Esteban, A. K., Reyna-Martínez, R., Reyes-Acosta, A. V., & Reyes-Acosta, Y. K. (2021). Tecnología de plasma no térmico en la industria agrícola-alimentaria y una breve descripción sobre sus posibles efectos en la germinación de semillas: revisión. *Journal of Bioprocess and Chemical Technology*, 15(26), 22-31.
- Puente-Díaz, Luis. (2024). Principios, aplicaciones y efectos de la aplicación de plasma frío en alimentos: una revisión actualizada. *Revista chilena de nutrición*, 51(2), 155-164. <https://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182024000200155>
- Rajan, A., Boopathy, B., Radhakrishnan, M., Rao, L., Schlüter, O. K., & Tiwari, B. K. (2023). Plasma processing: a sustainable technology in agri-food processing. *Sustainable Food Technology*, 1(1), 9-49. <https://doi.org/10.1039/D2FB00014H>





Semblanzas de autores



M.C. Aracely Zulema Santana Jiménez. Maestra en Ciencias y Tecnología de Alimentos por la Facultad de Ciencias Químicas de la UACH. 7 años de experiencia en la industria de alimentos. Actualmente doctorante en ciencias hortofrutícolas en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la UACH.

M.C. Belén Arely Camargo Olivas. Maestra en Ciencias Hortofrutícolas por la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas (FACIATEC) de la UACH. Actualmente doctorante en ciencias hortofrutícolas en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua UACH.

Dra. Nora Aidée Salas Salazar. Doctora en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD). Investigadora Nacional nivel 1, profesora investigadora de FACIATEC de la UACH. Línea de investigación: Poscosecha y Tecnología Agroalimentaria con énfasis en compuestos volátiles.

Dra. María Antonia Flores Córdova. Doctora en Ciencias en Horticultura por la Universidad Autónoma de Chapingo. Investigadora Nacional nivel 1, profesora investigadora de FACIATEC de la UACH. Línea de investigación: Poscosecha y Tecnología Agroalimentaria con énfasis en calidad y compuestos bioactivos.

Dr. Rogelio Sánchez Vega. Doctor en Ciencias y Tecnología Agraria y Alimentaria por la Universidad de Lleida, España. Investigador Nacional nivel 1, profesor investigador de la Facultad de Zootecnia y Ecología de la UACH. Línea de investigación: Alimentos Funcionales y Productos Lácteos.

Dra. María Janeth Rodríguez Roque. Doctora en Ciencias y Tecnología Agraria y Alimentaria por la Universidad de Lleida, España. Investigadora Nacional nivel 2, profesora investigadora de FACIATEC de la UACH. Línea de investigación: Poscosecha y Tecnología Agroalimentaria con énfasis en tecnologías no térmicas.

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

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

TERRA
Latinoamericana



ISSN Electrónico 2395 - 8030

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



Del mismo vientre geológico, distintas pieles de la tierra: Atltzayanca

Joel Altamirano Alvino¹
Jhonatan Orlando Blanco Huerta^{1*}
Saúl Pérez Velasco¹

¹ Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México, C.P. 56230.

*Autor para correspondencia: jhonatan.orlando.1228@gmail.com

Resumen



En Atltzayanca, Tlaxcala, dos tipos de suelos nacidos de la misma roca madre presentan grandes diferencias que influyen directamente en la producción agrícola. Las llamadas tierras fuertes, ricas en arcilla y materia orgánica, retienen mejor el agua y los nutrientes, favoreciendo cultivos de alto rendimiento. En contraste, las *tierras finas* son más arenosas, drenan rápido y requieren mayor fertilización y riego. Comprender su origen y comportamiento permite a los agricultores tomar mejores decisiones de manejo. Este conocimiento es clave para lograr una agricultura más productiva y sostenible en la región.

Tierras de Atltzayanca, Tlaxcala, con el mismo origen y diferentes características agrícolas.

Bajo nuestros pies, el suelo guarda una historia que cambia de un rincón a otro, un ejemplo de esto es el municipio de Atltzayanca en el estado de Tlaxcala. Aunque a simple vista el suelo se vea de la misma manera, el potencial para producir un cultivo puede variar considerablemente según la pendiente del terreno, el tipo de uso o la forma en que el agua se mueve. Por ejemplo, el suelo puede ser más arenoso y seco en partes altas, mientras que en las partes bajas suele acumularse más abono y nutrientes. Estas variaciones cambian su uso, el potencial para una buena cosecha y la forma en que la tierra responde al clima. Para entender por qué ocurre esto, es necesario conocer cómo se formaron y cómo han evolucionado estos suelos a lo largo del tiempo, aun cuando provienen de un mismo origen geográfico.





Introducción

En la comunidad de Atltzayanca, Tlaxcala, hay dos tipos de suelo que, aunque tienen el mismo origen (misma roca madre), tienen propiedades muy diferentes. En algunos lugares, la tierra se siente suelta y arenosa, mientras que en otros es más pesada, fina y compacta, es decir, arcillosa. Estas diferencias influyen mucho en el valor y el manejo de la tierra para los agricultores y también revela cómo los suelos se forman y cambian con el tiempo. Ambos suelos comenzaron su formación con los mismos materiales, pero con el tiempo, factores como el agua, la inclinación del terreno, la vegetación y las prácticas agrícolas los hicieron diferentes.

Las Tierras Fuertes, ricas en arcilla y materia orgánica, retienen mejor el agua y los nutrientes, favoreciendo cultivos de alto rendimiento.

En las zonas más altas o con mejor drenaje, el suelo arenoso perdió partículas finas, lo que disminuyó su capacidad de retener agua y nutrientes. Por el contrario, en las partes más bajas o zonas de depósito, el suelo arcilloso acumuló sedimentos, materia orgánica y minerales, volviéndose más denso, más fértil y también más difícil de trabajar.

Estas diferencias no solo determinan la textura o el color de la tierra; influyen directamente en la forma en que las plantas crecen, la manera en que se infiltra el agua y cuánto esfuerzo requiere un agricultor para labrar el campo. Por estas razones, entender cómo se originaron estos dos suelos tiene un propósito práctico: nos sirve para decidir qué cultivos sembrar, conocer el comportamiento y el manejo adecuado para preservar el suelo, ajustar las prácticas agrícolas y de riego, conservar la humedad, así como ajustar la fertilización del cultivo.

En este artículo se busca comprender las rutas que siguió cada tipo de suelo para llegar a ser lo que hoy es. Analizar su formación y sus diferencias permite reconocer su valor y sus límites, pero, sobre todo, entender que el suelo no es igual en todas partes, aunque comparta un mismo origen. Reconocer esta diversidad es el primer paso para un manejo agrícola más consciente y sostenible para las tierras de Atltzayanca.

Diferenciación local entre las clases de suelos

En el municipio de Atltzayanca, Tlaxcala, ubicado en el extremo oriente del estado de Tlaxcala los agricultores han aprendido a identificar las diferencias entre características físicas y químicas de los suelos que usan para sus cultivos de una manera empírica, sin embargo, no saben a qué se deben estas diferencias, si al momento de escarbar encuentran tepetate.



Existen maneras coloquiales de nombrar a estas clases de suelos, la población en general tiende a llamar “*TIERRAS FUERTES*” (Figura 1) principalmente a los suelos de la comunidad de Xaltitla, ya que es en esta región donde las características físicas y químicas cambian y los rendimientos de los cultivos se ven favorecidos uno a comparación del otro. Estos suelos tienden a tener un contenido de arcilla mayor, mayor retención de agua, un mayor contenido de materia orgánica (cantidad de restos de plantas y animales ya descompuestos que tiene la tierra), la capacidad de mantener los nutrientes que las plantas necesitan para comer y se junta en terroncitos bien formados, no se hace puro polvo ni se pone como lodo duro y, además, cuenta con un mayor número de microorganismos benéficos para los cultivos.

Por el contrario, los suelos de la comunidad de Ranchería Pocitos, conocidos también como “*TIERRAS FINAS*” (Figura 2), tienden a mostrar un mayor contenido de

arenas, mayor infiltración y presentan características contrarias a las “*TIERRAS FUERTES*”, mostrando una disminución significativa del rendimiento de los cultivos. Con una temperatura promedio de 14°C y con lluvias anuales que promedian con 720 mm, hacen que en cada región se siembren en diferentes cultivos, por ejemplo, en las *TIERRAS FUERTES* se suele sembrar calabaza, maíz, trigo, maguey pulquero, nopal para verdura y para tuna, durazno, manzana, pera

y ciruela principalmente (Figura 3); esto a comparación de las *TIERRAS FINAS*, donde se suelen sembrar los cultivos de maíz, haba, jitomate y calabaza principalmente (Figura 4).



Figura 1. Fotografía de terreno con tierras fuertes.



Figura 2. Fotografía de terreno con tierras finas.

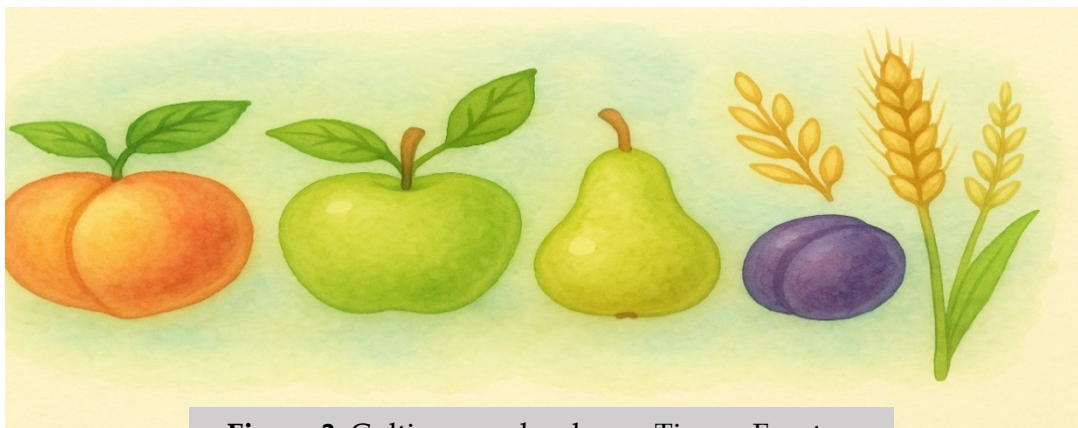


Figura 3. Cultivos sembrados en Tierras Fuertes.



Figura 4. Cultivos sembrados en Tierras Finas.

En Atltzayanca, Tlaxcala, dos suelos con el mismo origen geológico presentan diferencias marcadas que influyen directamente en la producción agrícola.



Procesos pedogenéticos dominantes

El material que se encuentra por debajo del suelo es principalmente tepetate. El tepetate es una capa dura de tierra conformada principalmente de cenizas volcánicas endurecidas que está debajo de la tierra buena para sembrar, es como una costra fuerte rica en algunos nutrientes, pero que no deja pasar fácilmente el agua, ni a las raíces de las plantas para que crezcan correctamente (Figura 5). Este material, al someterse a procesos físicos y químicos, da origen a suelos minerales, conocidos como *TIERRAS FUERTES* y *TIERRAS FINAS*.



Figura 5. Representación del suelo que se encuentra sobre el tepetate.

Las diferencias entre las *TIERRAS FUERTES* y *TIERRAS FINAS* surgen por la posición del relieve donde se ubica cada tipo de suelo, la distribución del agua en el terreno, la actividad de los microorganismos, las prácticas agrícolas y los cultivos establecidos. Estas variantes modifican la intensidad y dirección de los procesos de formación de los suelos.



El tepetate, una capa dura debajo del suelo agrícola, limita el crecimiento de raíces y el paso del agua.

En las posiciones más altas del relieve, donde existe mayor cantidad de agua en el suelo, el suelo experimenta procesos como:

- Lavado de la arcilla y de los restos de plantas por efecto del riego o de la lluvia.



- Mayor acumulación de materiales orgánicos, lo que da como resultado colores más claros.
- Mayor formación de terrones y mayor cantidad de arena y limo, lo que limita que el suelo guarde agua y alimento para los cultivos.

Estos procesos favorecen el desarrollo de un perfil más evolucionado, con horizontes bien diferenciados y propiedades químicas estables, otorgándole las propiedades distintivas a las *TIERRAS FUERTES*.

Este tipo de suelo presenta un color oscuro, que varía de color pardo a


negro, reflejando un alto contenido de abono. Su comportamiento tiende a ser barro, lo que le hace una estructura migajosa y con una correcta aireación y oxigenación de raíces, estable y con buena cantidad de terrones, y una alta capacidad de retención de agua, lo que favorece el almacenamiento de humedad en periodos de sequía. Las condiciones del suelo son favorables para una correcta nutrición de las plantas, además de que si se ocupan abonos orgánicos y fertilizantes químicos se pueden lograr rendimientos más altos.

Las *TIERRAS FINAS* están en áreas mejor drenadas, predominan los procesos de:

- Lavado del suelo por el agua, el agua del riego o de la lluvia se lleva la tierra más fina y los restos de plantas, dejando el suelo con menos alimento para los cultivos.

- Pocos restos de plantas en el suelo, esto hace que la tierra tenga color más claro y se vea débil, con poca fuerza para sostener correctamente a las plantas.
- La tierra tiene poca formación de terrones y mucha arena, por eso el agua y el fertilizante se pierden rápido y no se quedan en el suelo.

El suelo presenta un color claro, que varía de pardo claro a pardo amarillento, lo que refleja un bajo contenido de materiales orgánicos y bajo contenido de microorganismos. Su textura es arenosa, con una estructura débil o masiva y poca formación de terrones, lo que indica poca retención de agua y nutrientes para los cultivos. Con correctas prácticas agrícolas, incorporación de residuos de cosecha o compostas, además de una correcta fertilización química, estos suelos no suelen presentar problemas para una buena producción agrícola.



Las Tierras Finas son más arenosas, drenan rápido y requieren mayor fertilización y riego para mantener la productividad.

Reconocer las diferencias entre estos suelos permite seleccionar mejor los cultivos y aplicar un manejo agrícola más sostenible.



Conclusiones

En el municipio de Atltzayanca, Tlaxcala, ubicado en el extremo oriente del estado de Tlaxcala los agricultores han aprendido a reconocer diferencias entre los suelos que trabajan a partir de la experiencia directa en el campo. Al observar cómo responde la tierra al escarbar, al retener agua o al producir los cultivos e incluso al encontrar capas endurecidas como el tepetate identifican variaciones físicas y químicas, aunque no siempre conozcan su origen científico. Este conocimiento práctico ha dado lugar a formas locales de clasificar los suelos, utilizando nombres coloquiales que describen su comportamiento productivo. Más allá de sus características técnicas, estos suelos forman parte del conocimiento cotidiano de las comunidades que los trabajan. Los agricultores han aprendido a distinguirlos, manejarlos y adaptarse a sus limitantes mediante la experiencia, ajustando fechas de siembra, tipos de cultivo, manejo de residuos y prácticas de conservación. En las llamadas tierras finas, por ejemplo, algunos productores se empiezan a implementar el uso de abonos orgánicos, incorporación de rastrojo y manejo más cuidadoso del riego para compensar la baja retención de agua y nutrientes. Reconocer y valorar este conocimiento local en combinación con conocimiento técnico es fundamental para diseñar estrategias de manejo más efectivas y sostenibles, ya que combina la experiencia de campo con los principios de la ciencia del suelo.

Literatura recomendada

- Márquez, G., Hernández, J. A., García, M., Hernández, M., López, B., & Castillo, E. P. (2025). Análisis comparativo del porcentaje de materia orgánica y su relación con la textura del suelo en las regiones de Tlaxcala.
- Garay, A. V. A., & Vázquez, B. H. (2024). Rentabilidad de la producción de maíz en sistemas agroecológico y convencional en dos comunidades de Tlaxcala. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 21(1), 1-12.
- Ramírez, A. M., Haller, V. V., & Romero, M. L. G. (2019). Sistemas de producción agrícola de maíz en tres municipios de Tlaxcala: los componentes tecnológicos de la Revolución Verde con relación a la tecnología tradicional. *Regiones y Desarrollo Sustentable*, 19(36).
- Carmona-Martínez, J. L., María-Ramírez, A., & Hernández-Vázquez, M. (2025). Vulnerabilidad del maíz (*Zea mays* L.) de temporal a la variabilidad climática en los municipios de Atltzayanca y Huamantla del estado de Tlaxcala. *Revista Terra Latinoamericana*, 43



Semblanzas de autores

- Altamirano Alvino Joel. Estudiante de la carrera Ingeniero Agrónomo especialista en Suelos de Universidad Autónoma Chapingo, UACH.
- Blanco Huerta Jhonatan Orlando. Estudiante de la carrera Ingeniero Agrónomo especialista en Suelos de Universidad Autónoma Chapingo, UACH.
- Pérez Velasco Saul. Estudiante de la carrera Ingeniero Agrónomo especialista en Suelos de Universidad Autónoma Chapingo, UACH.



Microplásticos contra hongos micorrízicos: una batalla silenciosa bajo nuestros pies

Jonás Álvarez-Lopezello^{1, *}
Sofía Becerril-González¹
Armando Sunny²

¹Universidad Intercultural del Estado de México, Libramiento Francisco Villa s/n, San Felipe del Progreso. Estado de México, 52060, México.

²Universidad Autónoma del Estado de México, Centro de Investigación en Ciencias Biológicas Aplicadas, Facultad de Ciencias, Instituto Literario 100, Toluca, Estado de México, 50000, México.

*Autor para correspondencia: jonas.alvarez@uiem.edu.mx.

Bajo la superficie del suelo, plantas y hongos llevan millones de años sosteniendo una alianza vital que mantiene fértil la tierra y productivos nuestros cultivos. Hoy, esa alianza corre peligro por un invitado inesperado: "los microplásticos". Comprender cómo estos contaminantes alteran la vida del suelo es esencial para resguardar no solo la agricultura, sino también nuestra seguridad alimentaria futura.

Introducción



Por debajo de nuestros pies, lejos de la vista y aún más lejos de nuestra imaginación, se libra una batalla silenciosa. En ella participan dos protagonistas que rara vez aparecen juntos en una misma conversación, los hongos micorrízicos arbusculares y los microplásticos. Los primeros son aliados antiguos de las plantas, responsables de que los bosques respiren y de que los cultivos prosperen. Los segundos, fragmentos diminutos menores a 5 milímetros del plástico que usamos a diario, se han infiltrado sin pedir permiso hasta en los rincones más remotos del planeta. Hoy, esa antigua alianza subterránea enfrenta una amenaza moderna que podría alterar profundamente la fertilidad del suelo, el equilibrio de los ecosistemas y nuestra seguridad alimentaria (Figura 1).

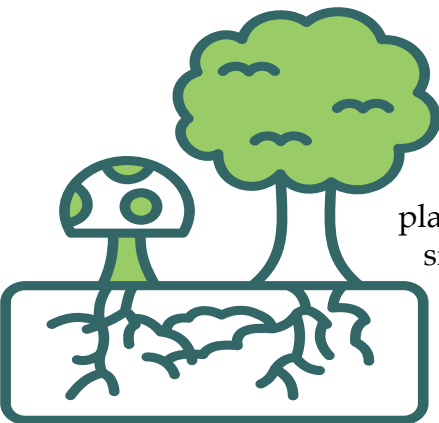


Figura 1. Primer contacto entre microplásticos (azul), considerados contaminantes emergentes, y los hongos micorrízicos arbusculares (HMA; tonos café y amarillo), microorganismos clave para el funcionamiento de los ecosistemas. Los efectos directos de los microplásticos sobre las hifas micorrízicas, incluyendo presión física y química con potencial interferencia en la colonización radicular, exploración

del suelo e intercambio de nutrientes, así como posibles alteraciones en la producción de glomalina y proteínas asociadas, con implicaciones para la agregación y estabilidad del suelo. Los efectos indirectos derivados de cambios en la porosidad, conectividad del espacio poroso y estructura del suelo, que pueden modificar la funcionalidad micorrízica, la estabilidad de la red microbiana y la eficiencia del flujo de nutrientes. Imagen generada con inteligencia artificial mediante ChatGPT (OpenAI) y posteriormente editada por JAL.

Los hongos micorrízicos amenazados por los microplásticos

Los hongos micorrízicos arbusculares son hongos microscópicos que viven en una interacción positiva, denominada simbiosis, con las raíces de la mayoría de las plantas terrestres. Esta alianza, que data de hace más de 400 millones de años cuando las plantas colonizaron la tierra, permite que las raíces absorban nutrientes esenciales como fósforo y nitrógeno de manera más eficiente. Además, esta simbiosis ayuda a las plantas a resistir mejor las condiciones adversas de sequía, salinidad o la presencia de contaminantes tóxicos, como el plomo y el cadmio. A cambio, los hongos micorrízicos reciben azúcares producidos por las plantas durante la fotosíntesis. Esta relación de beneficio mutuo ha sido descrita por muchos investigadores como una verdadera historia de amor. Sin embargo, esta cooperación ancestral se ve amenazada cuando el entorno se vuelve hostil, y hoy, esa amenaza proviene de un factor tan común como perturbador la creciente acumulación de microplásticos en los suelos.





¿Qué sucede cuando los microplásticos llegan al suelo?

Si bien la imagen más común de los microplásticos es la de partículas flotando en los océanos, investigaciones recientes revelan que en algunos sistemas agrícolas los suelos pueden contener hasta veinte veces más partículas plásticas que los ecosistemas marinos. Sin embargo, esta cifra no se aplica a todos los suelos agrícolas, ya que la cantidad de microplásticos varía considerablemente dependiendo del tipo de cultivo, las prácticas agrícolas y otros factores locales. Estos fragmentos provienen de diversas fuentes por ejemplo las bolsas, envases de agua y refrescos, fertilizantes, ropa sintética, neumáticos, calzado y otros productos, cosméticos y pastas dentales, de uso diario. Con el tiempo, estos microplásticos terminan invadiendo las ciudades, los campos de cultivo y los bosques, incluso en las áreas más remotas.



Una vez en el suelo, los microplásticos no permanecen inertes. Al contrario, actúan a modo de vectores de contaminantes, como metales pesados (elementos químicos naturales, como el plomo, el mercurio o el cadmio, que pueden ser tóxicos para los seres vivos), y plaguicidas. Además, afectan y modifican la estructura física del suelo, alteran la capacidad de retención de agua, la porosidad y la acidez (pH), y cambian drásticamente la dinámica de la vida microscópica que allí habita. Los hongos micorrízicos arbusculares no son inmunes a estos cambios. De hecho, se ha sugerido que se encuentran entre los organismos más vulnerables a este tipo de contaminación.

¿Cómo impactan los microplásticos a los hongos micorrízicos?

Los efectos de los microplásticos en los hongos micorrízicos arbusculares pueden clasificarse en dos categorías principales; los impactos directos, derivados del contacto físico y químico entre el plástico y el hongo, y los impactos indirectos, que alteran las condiciones generales del suelo y, por ende, la relación simbiótica entre la planta y el hongo. Los impactos directos se evidencian cuando ciertos plásticos comienzan a degradarse liberando compuestos tóxicos, que resultan perjudiciales para las plantas y la salud del suelo. Esto compromete la actividad de los hongos micorrízicos arbusculares y disminuye su capacidad para colonizar el interior de las raíces de las plantas (Figura 2).

“Los hongos micorrízicos arbusculares son hongos microscópicos que viven en una interacción positiva, denominada simbiosis, con las raíces de la mayoría de las plantas terrestres.”



Interacciones entre la planta, HMA y microplásticos en el suelo

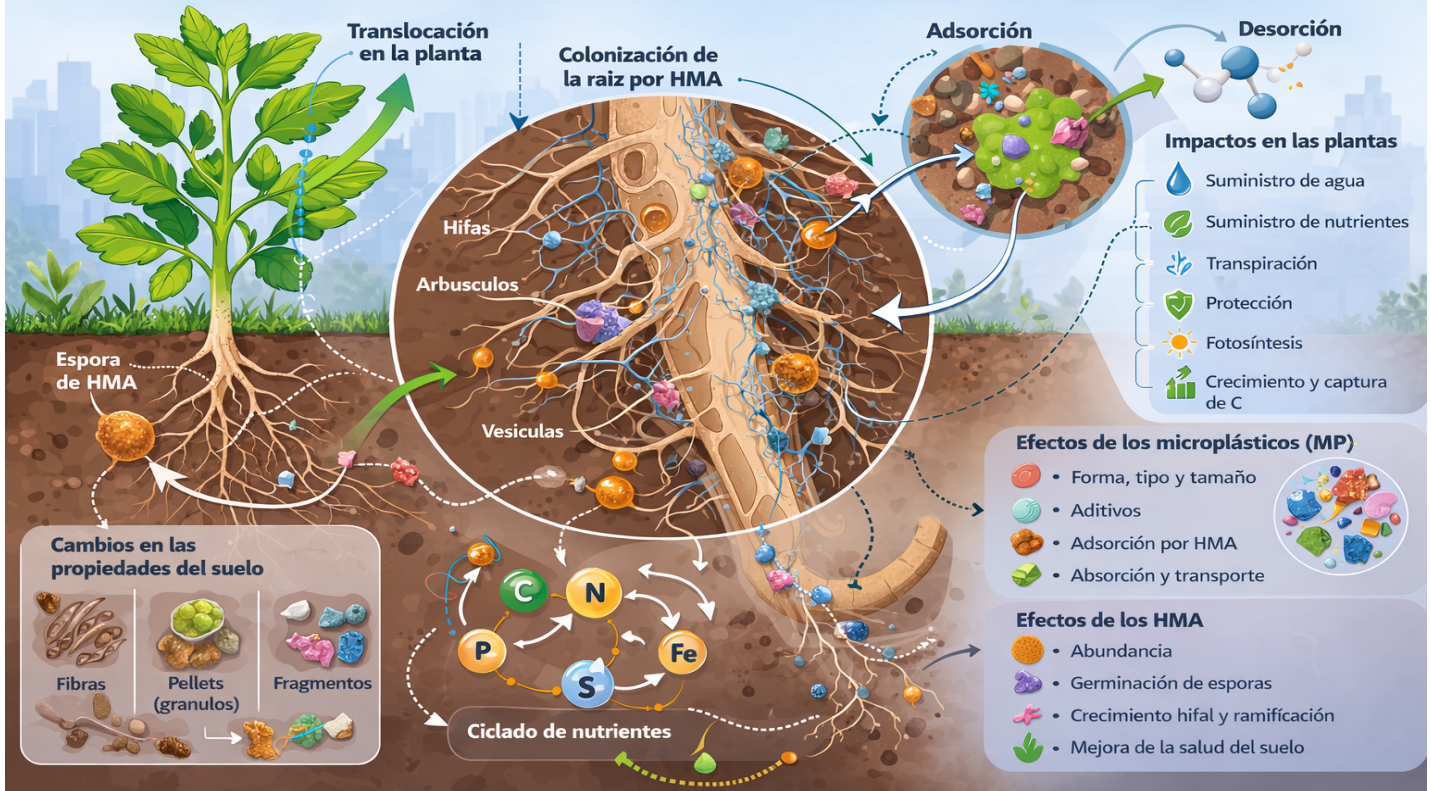


Figura 2. Los microplásticos (fibras, fragmentos y pellets) pueden alterar la disponibilidad de nutrientes esenciales en el suelo y afectar la actividad microbiana, lo que podría generar efectos negativos en la diversidad, abundancia y colonización radicular de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA). Asimismo, los distintos tipos de microplásticos, sus propiedades y los factores de estrés ambiental influyen en la diversidad y abundancia de HMA, así como en las funciones del suelo. Imagen generada con inteligencia artificial mediante ChatGPT (OpenAI) y posteriormente editada por JAL.

En experimentos de laboratorio e invernadero se ha documentado que algunos microplásticos pueden absorber y retener nutrientes esenciales como el nitrógeno y el fósforo, limitando su disponibilidad tanto para las plantas como para los hongos micorrízicos, lo que perjudica la simbiosis. Otro efecto significativo es la alteración en la composición de las comunidades fúngicas. Si bien algunas especies de hongos son más resistentes como *Glomus* spp. o *Rhizophagus* spp. y logran adaptarse y proliferar en presencia de microplásticos, otras especies pueden desaparecer, resultando en una pérdida considerable de biodiversidad en el suelo.



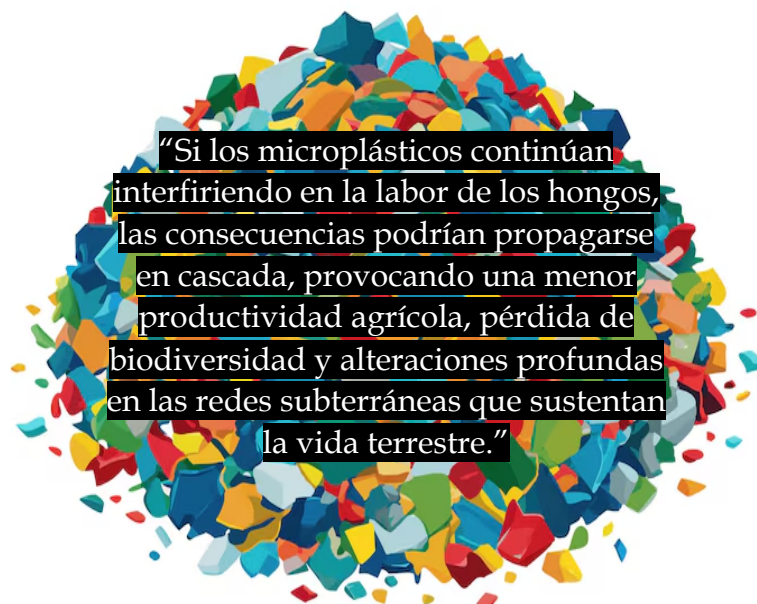
En cuanto a los impactos indirectos, estos surgen cuando los microplásticos provocan compactación y reducción de la porosidad en el suelo, dificultando el crecimiento de las hifas fúngicas que son filamentos diminutos, generalmente blanquecinos, que en conjunto forman el cuerpo del hongo. Además, modifican parámetros fisicoquímicos esenciales, como la acidez del suelo (pH), que es crucial para la salud de los hongos micorrízicos. Si la planta huésped se ve afectada por la presencia de microplásticos, la simbiosis se debilita. Una planta debilitada pierde su capacidad para mantener esta relación beneficiosa, lo cual es preocupante, ya que esto contribuye con la desintegración gradual de la intrincada red subterránea que sustenta los ecosistemas terrestres (Figura 2).



No todos los plásticos son iguales

La complejidad del problema radica en que los microplásticos no constituyen un conjunto homogéneo. Su impacto varía según el tipo de polímero (plástico), los aditivos presentes, su forma física -fibras, gránulos, películas o fragmentos-, su tamaño y el tiempo de exposición en el ambiente.

Estas diferencias determinan cómo los microplásticos modifican algunas propiedades del suelo, incluyendo la retención de agua, la estructura de los agregados y el pH. Por ejemplo, las fibras pueden aumentar la retención de humedad, pero reducen la aireación, mientras que los fragmentos rígidos favorecen un drenaje más rápido, pero pueden limitar la expansión de las hifas fúngicas.





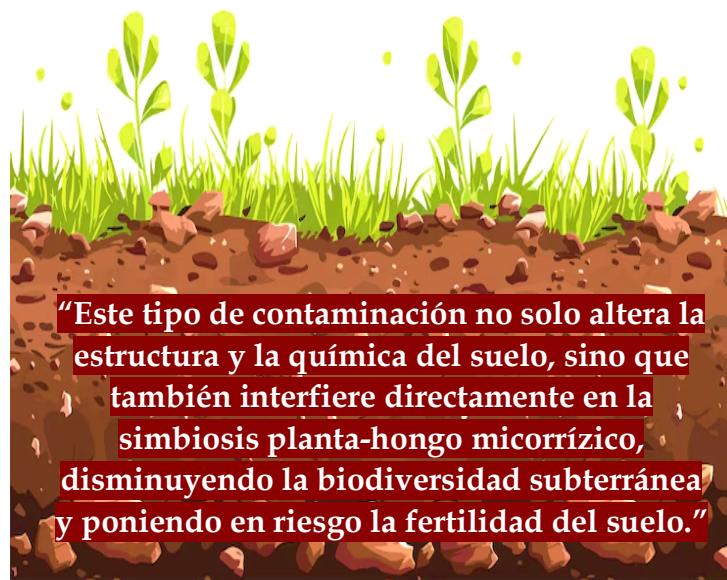
A medida que los plásticos se degradan en el suelo por la radiación UV, la humedad, los cambios de temperatura y la actividad microbiana, liberan aditivos y compuestos que se incorporan en la matriz del suelo. Estos interactúan con los microorganismos, generando efectos tóxicos que inhiben el crecimiento microbiano, alteran la estructura de las comunidades bacterianas y fúngicas, e interfieren en procesos clave como la descomposición de materia orgánica y la transformación de nutrientes esenciales, lo que afecta la fertilidad del suelo.



Los plásticos más tóxicos liberan sustancias que modifican las propiedades físicas y químicas del suelo, afectando negativamente a los hongos micorrízicos. A pesar de esto, muchos estudios siguen agrupando a todos los microplásticos como iguales, lo que limita la comprensión de los mecanismos específicos de daño y dificulta el desarrollo de soluciones eficaces.

¿Por qué deberíamos prestar atención a esta problemática?

Los hongos micorrízicos son elementos clave en el funcionamiento de los suelos y los ecosistemas. Sin su presencia la fertilidad disminuye, los cultivos enferman más rápido y los ecosistemas se desestabilizan. Si los microplásticos continúan interfiriendo en la labor de los hongos, las consecuencias podrían propagarse en cascada, provocando una menor productividad agrícola, pérdida de biodiversidad y alteraciones profundas en las redes subterráneas que sustentan la vida terrestre. Lo más preocupante es que la contaminación por microplásticos actualmente no se limita únicamente a los suelos, mares y ríos. Se ha detectado la presencia de microplásticos en algunos tejidos (hojas, tallos y raíces) de cultivos comestibles de gran consumo en el mundo y en México, como el maíz y el tomate. Por lo tanto, se trata de un problema que abarca dimensiones agrícolas, ecológicas y humanas.





¿Qué estrategias de mitigación se están explorando actualmente?

Aunque muchas de las investigaciones actualmente se encuentran en etapas iniciales exploratorias y de diagnóstico, ya se han propuesto diversas estrategias de mitigación. Una de ellas es la adición de enmiendas orgánicas al suelo, como las compostas libres de microplásticos, que podrían contribuir a reducir la toxicidad y proteger a los hongos micorrízicos. Además, se está evaluando la capacidad del microbioma del suelo para amortiguar y modular los efectos de estos contaminantes emergentes, mediante la reorganización de la comunidad microbiana (Figura 3), la recuperación de la agregación del suelo y el restablecimiento de procesos clave como el ciclo del carbono y el fósforo, así como las retroalimentaciones planta-suelo.



Figura 3. Representación metafórica de la resiliencia del ecosistema edáfico basada en la acción colectiva de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA; tonos café y amarillo) y otros microorganismos del suelo frente a la presión ejercida por los microplásticos (azul). La escena ilustra la capacidad del microbioma del suelo para amortiguar y modular los efectos de estos contaminantes emergentes mediante la reorganización de la comunidad microbiana, la recuperación de la agregación del suelo y el restablecimiento de procesos clave como el ciclado del carbono y el fósforo y las retroalimentaciones planta-suelo. Imagen generada con inteligencia artificial mediante ChatGPT (OpenAI) y posteriormente editada por JAL.



Otra propuesta se ha centrado en el desarrollo de plásticos menos agresivos, que incluyan materiales verdaderamente biodegradables y libres de aditivos tóxicos que puedan afectar a los microorganismos del suelo. Además, se sigue insistiendo en la necesidad de realizar estudios a largo plazo en condiciones de campo, ya que es fundamental comprender estos efectos más allá del laboratorio, en ecosistemas reales donde interactúan múltiples factores. En México, se están iniciando investigaciones sobre este tema, tanto en suelos agrícolas como forestales. La vasta diversidad microbiana y vegetal del país convierte este desafío en una oportunidad única para generar conocimiento local con un impacto global significativo.

Conclusiones

Los hongos micorrízicos arbusculares son aliados esenciales para la salud del suelo y de la vegetación. Sin embargo, su delicado equilibrio se ve amenazado por la creciente presencia de microplásticos en los ecosistemas terrestres. Este tipo de contaminación no solo altera la estructura y la química del suelo, sino que también interfiere directamente en la simbiosis planta-hongo micorrízico, disminuyendo la biodiversidad subterránea y poniendo en riesgo la fertilidad del suelo. A medida que profundizamos en esta problemática, se hace evidente que no todos los plásticos tienen el mismo impacto y que se requieren estudios más específicos y soluciones urgentes. La buena noticia es que aún estamos a tiempo de actuar: evitar o reducir el uso de plásticos de un solo uso y promover prácticas agrícolas sostenibles son pasos concretos para proteger esta red invisible que sustenta la vida. Aunque el desafío de la contaminación por microplásticos es grande, no es insuperable; con compromiso y una nueva forma de entender nuestra relación con la Tierra, podemos cuidar los suelos, los microorganismos que la habitan y, con ello, nuestra propia salud y el futuro del planeta.



Literatura recomendada

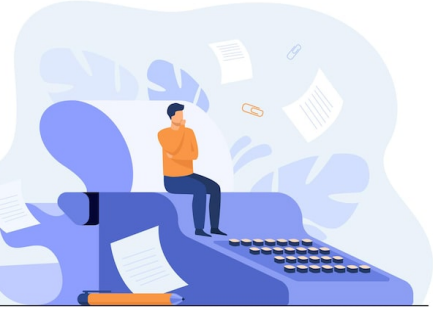


- Álvarez-Lopezello, J. y Chávez-García, E. (2022). Microplásticos en el Antropoceno: contaminación y efectos en el suelo. Desde el Herbario CICY, 14, 212-217.
- Álvarez-Lopezello, J., Cruz-Martínez, H., González-Méndez, B., Chávez-García, E., y Sunny, A. (2025). Deciphering the effects of microplastics on arbuscular mycorrhizal fungi: Current knowledge and future research perspectives. Applied Soil Ecology, 215, 106477.
- Álvarez-Lopezello, J., Santiago-Mejía, H. y Sunny, A. (2025). Antroposoles: la historia poco conocida de la humanidad en el suelo. Desde el Herbario CICY, 17, 11-17.



Semblanzas de autores

Jonás Álvarez Lopezello. Profesor de la Maestría en Gestión de la Innovación Rural Sustentable de la Universidad Intercultural del Estado de México. Su interés se centra en la ecología del suelo, la interacción entre plantas y hongos micorrízicos, la restauración ecológica y la contaminación de suelos por microplásticos.



Sofía Becerril-González. Ingeniero en Biotecnología. Actualmente realiza una estancia de investigación, financiada por el Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT), en la Universidad Intercultural del Estado de México, enfocada en comprender el efecto de la fertilización sobre la diversidad de los hongos de micorriza arbuscular.

Armando Sunny. Profesor-investigador en el Centro de Investigación en Ciencias Biológicas Aplicadas de la UAEMéx. Sus líneas de investigación analizan cómo las características del paisaje y el cambio global afectan la biodiversidad en ambientes antropizados, mediante estudios de genética del paisaje, modelado de nicho ecológico y conectividad del paisaje.



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>

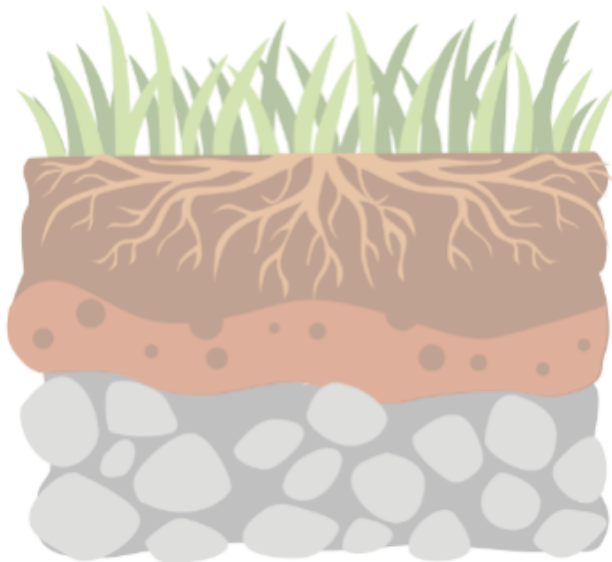


El suelo como una hamburguesa: entendiendo sus capas

Astrid Iriana Sánchez-Vázquez
Emily Sofía Lara-Macías
Cristhian Sarahi Patiño-Loera
Andrea Zambrano-Arizpe*

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


*Autor para correspondencia: andrea.zambranoarz@uanl.edu.mx.



Los horizontes del suelo pueden comprenderse de manera sencilla mediante el uso de analogías cotidianas. En este escrito, se emplea la estructura de una hamburguesa para ilustrar la posición, las características y los procesos que ocurren en cada horizonte. Esta comparación permite visualizar de forma clara cómo se organiza el perfil del suelo y facilita la comprensión de conceptos que, tradicionalmente, pueden resultar complejos, contribuyendo a la divulgación del conocimiento sobre el suelo.

Introducción

¿Alguna vez te has detenido a pensar en el suelo que pisas cada día? A simple vista, puede parecer solo tierra, sin misterio. Sin embargo, bajo la superficie se organiza una estructura formada por capas superpuestas, cada una con propiedades físicas, químicas y biológicas particulares que cumplen funciones específicas. En ciencias del suelo, estas capas se conocen como *horizontes*, y en conjunto conforman el *perfil del suelo*.



El **suelo** es una estructura compleja formada por capas que cumplen funciones esenciales para la vida y los ecosistemas.



Para explicar de manera clara esta organización, se recurre a una analogía accesible y familiar: una hamburguesa. Al igual que una hamburguesa está compuesta por ingredientes dispuestos en un orden específico, el suelo también presenta capas con propiedades particulares. Esta comparación permite visualizar cómo está organizado el suelo y cómo cada componente cumple un papel esencial.

Desarrollo

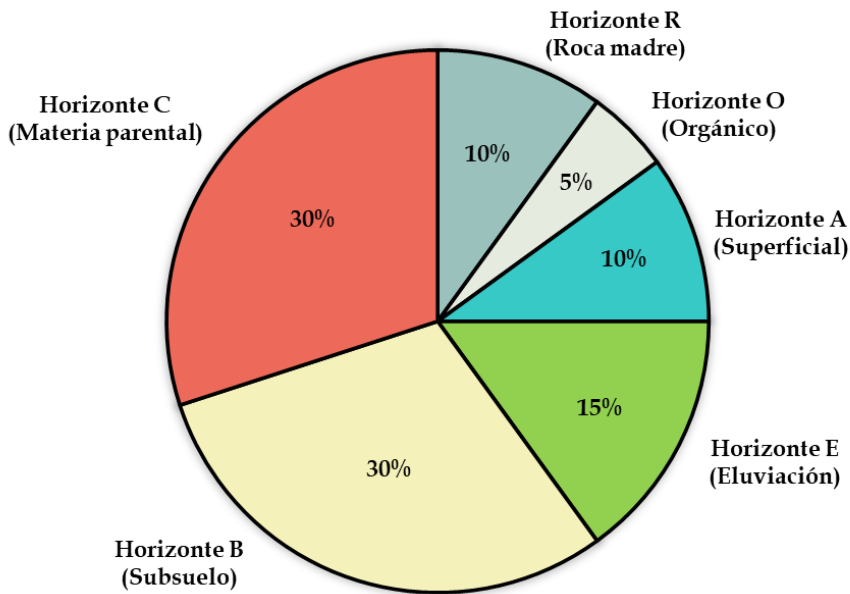


Figura 1. Distribución general de los horizontes del suelo.

extienden de forma paralela a la superficie. Cada horizonte posee características físicas, químicas y biológicas específicas que lo diferencian de los demás.

Estos horizontes no se forman de manera inmediata, sino que se desarrollan lentamente con el paso del tiempo a medida que el suelo cambia y se transforma (proceso llamado *pedogénesis*). Este proceso depende de factores como el tipo de material del que se origina el suelo, el clima, la actividad de plantas y organismos, la forma del terreno y el tiempo.

Antes de representar el suelo mediante la analogía de una hamburguesa, es importante señalar que el número de horizontes y su espesor varía según el tipo de suelo. Es decir, no todos los suelos son iguales. Sin embargo, se pueden utilizar los valores de la Figura 1 como una referencia general para mostrar que Horizonte B y Horizonte C son los de mayor proporción.

Un perfil del suelo es una sección vertical de la Tierra que revela distintas capas, llamadas horizontes del suelo, las cuales se

Cada horizonte del suelo puede entenderse como un ingrediente de una hamburguesa, lo que facilita visualizar su posición y función.

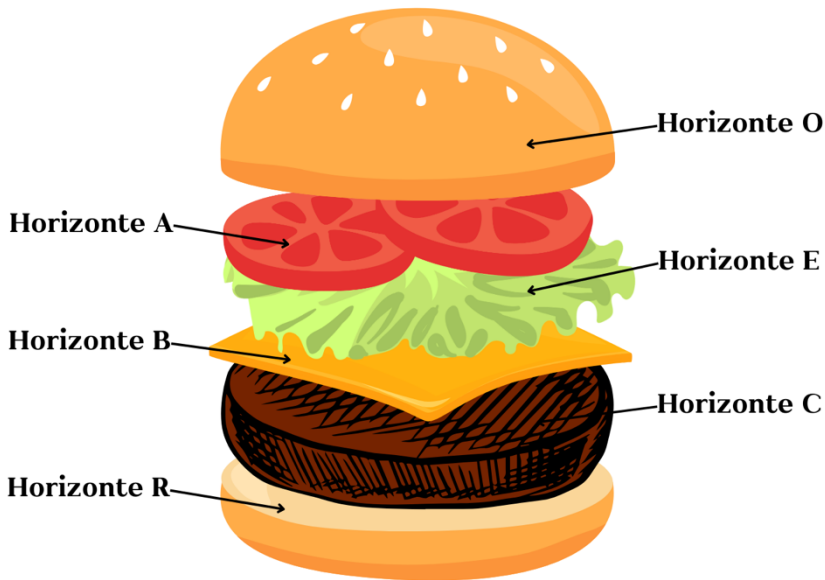


Figura 2. Analogía de las capas del suelo al estilo hamburguesa.

Al representar el suelo mediante una hamburguesa (Figura 2), cada ingrediente ayuda a visualizar los horizontes del perfil. Así como existen hamburguesas con diferentes combinaciones de ingredientes, los suelos también varían según el ambiente donde se forman.

- **El pan superior (Horizonte O):** Es la capa más externa del suelo (cuando se encuentra presente) y está formada por hojas, ramas, restos vegetales y organismos en descomposición. A medida que estos materiales se

degradan, parte de ellos se transforma en humus, una sustancia rica en carbono que contribuye a la fertilidad del suelo. Al igual que el pan superior de una hamburguesa mantiene todo en su sitio, esta capa cumple una función protectora; ayuda a conservar la humedad y favorece la disponibilidad gradual de nutrientes, los cuales pueden ser posteriormente aprovechados por las plantas a través de los horizontes subyacentes.

El desarrollo y el espesor del horizonte O dependen del tipo de ecosistema y del grado de perturbación. Este horizonte es característico de ecosistemas poco alterados, como los bosques, donde la acumulación de restos orgánicos es continua, mientras que en pastizales, zonas áridas o suelos intensamente manejados puede ser muy delgado o incluso estar ausente.

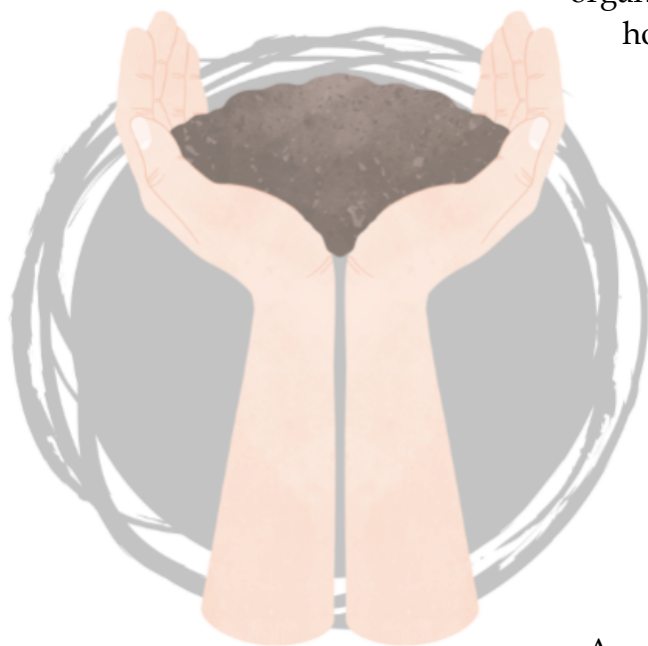
El horizonte A es una capa fértil y activa donde se concentra la mayor parte de la vida del suelo.

- **El tomate (Horizonte A):** Justo debajo del pan superior se encuentra el horizonte A, que en nuestra hamburguesa es el tomate. Esta capa está formada por una mezcla fértil de minerales procedentes de la roca de origen y materia orgánica derivada de la descomposición de restos vegetales y animales por la actividad de los microorganismos del suelo.



Así como el tomate aporta jugo, sabor y frescura a una hamburguesa, el horizonte A cumple un papel clave en la disponibilidad de agua, nutrientes y vida en el suelo. En esta capa se desarrolla la mayor parte de las raíces de las plantas, que tienen acceso al agua y a los nutrientes retenidos en el suelo. Además, es una zona con alta actividad biológica, donde lombrices, hongos, bacterias y otros microorganismos participan en la descomposición de materiales orgánicos y en el reciclaje de nutrientes. El horizonte A suele ser

más oscuro que las capas inferiores debido a la materia orgánica. Los agricultores valoran muchísimo un horizonte A profundo y rico porque mejora la producción de los cultivos. Su función como capa fértil y activa lo convierte en el corazón del crecimiento vegetal, tal como el tomate es esencial para darle frescura, humedad y equilibrio a una buena hamburguesa.



- **La lechuga (Horizonte E):** Entre el tomate y el queso suele estar la lechuga que en el suelo corresponde al horizonte E. Este horizonte surge cuando el agua infiltrada arrastra materia orgánica, arcillas y ciertos minerales hacia profundidades mayores. Este proceso, conocido como eluviación, deja la capa con un color claro y apariencia “lavada”.

Aunque el horizonte E contiene pocos nutrientes, cumple una función importante al facilitar el movimiento del agua y de los materiales disueltos hacia los horizontes inferiores, influyendo en la distribución de nutrientes dentro del perfil del suelo. No todos los suelos poseen un horizonte E, pues su formación depende de condiciones específicas. Se desarrolla principalmente en ambientes con suficiente humedad y filtración, como bosques templados o climas húmedos. En suelos secos o jóvenes, esta capa no aparece. Su presencia indica un mayor grado de diferenciación, igual que la lechuga agrega un toque crujiente y húmedo en una hamburguesa.

- **El queso (Horizonte B):** Debajo de la lechuga se encuentra el horizonte B, representado por el queso. Esta capa se forma por la acumulación de materiales provenientes de los horizontes superiores, como arcillas, óxidos de hierro y aluminio. Tiende a ser más densa y compacta que el horizonte A y contiene menor cantidad de materia orgánica.



El horizonte B actúa como un depósito donde se concentran agua y minerales aprovechables por las raíces más profundas. Su composición influye en la retención de humedad, el almacenamiento de nutrientes y la estructura del suelo.

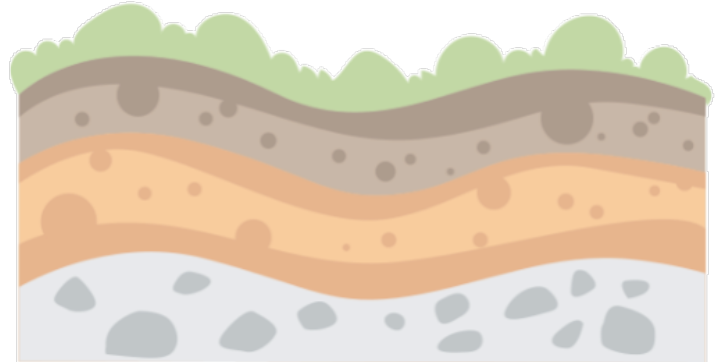
- **La sabrosa carne (Horizonte C):** Debajo del Horizonte B se encuentra el horizonte C, que en nuestra hamburguesa corresponde a la carne. Esta capa está formada por fragmentos de roca y minerales poco meteorizados, y corresponde al material a partir del cual se desarrollan los horizontes superiores del suelo. A diferencia de las capas superiores, el horizonte C muestra una menor influencia por procesos biológicos o químicos. Es una zona de transición entre el suelo verdadero y la roca subyacente, igual que la carne está justo antes del pan inferior en una hamburguesa; pero no todos los suelos la presentan.

Los horizontes se forman a lo largo de mucho tiempo a través de un proceso llamado **pedogénesis**.

Así como la carne le da cuerpo, peso y sustancia a toda la hamburguesa, el horizonte C aporta el material geológico que influye en muchas de las propiedades del suelo que se formará encima. Su composición influye en la fertilidad, textura y minerales disponibles en las capas superiores, sobre todo en la disponibilidad a largo plazo de nutrientes.

- **El pan inferior (Horizonte R):** En la base del perfil del suelo está el horizonte R, que en nuestra hamburguesa representa el pan inferior. Esta capa es la roca consolidada: un material sólido, duro y sin erosionar que sirve como base para todo lo que está encima. Puede estar formada por granito, basalto, caliza, cuarcita, arenisca u otros tipos de roca, pero, en cualquier caso, no es suelo verdadero porque sigue siendo roca consolidada.

Así como el pan inferior sostiene toda la hamburguesa y evita que se desarme, el horizonte R es el soporte definitivo del suelo. Su profundidad puede variar mucho: a veces está justo debajo de la superficie y otras veces se encuentra a cientos de metros de profundidad.



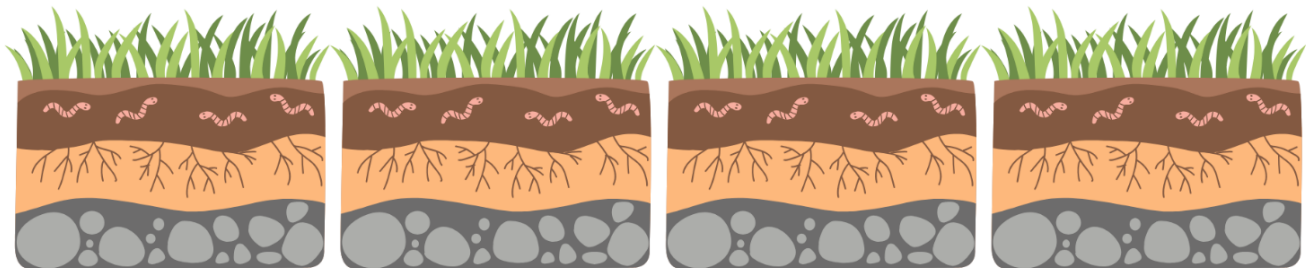


¿Por qué deberíamos preocuparnos por las capas u horizontes del suelo?

Las distintas capas del suelo son cruciales porque cumplen funciones vitales en el soporte de la vida y los procesos del ecosistema (Figura 3). Algunas de las funciones son:

- **Filtración y purificación del agua:** El suelo funciona como un filtro natural. A medida que el agua de lluvia se infiltra a través de los distintos horizontes, las partículas de arena, limo y arcilla, así como la materia orgánica pueden retener sedimentos, metales, patógenos y contaminantes. Este proceso reduce la turbidez, descompone sustancias dañinas (principalmente por la actividad microbiana) y retiene compuestos químicos que podrían llegar a los acuíferos. Gracias a esta filtración progresiva, el suelo contribuye a la purificación del agua subterránea, manteniendo la calidad de ríos, manantiales y pozos, y desempeñando un papel vital en la protección de los ecosistemas y del suministro de agua.
- **Hábitat para organismos:** En los horizontes del suelo viven bacterias, hongos, algas, protozoos, lombrices, insectos y otros organismos que cumplen funciones fundamentales: descomponer la materia orgánica, liberar o retener nutrientes, modificar la estructura del suelo y facilitar la infiltración del agua. La diversidad de vida cambia según la profundidad: los horizontes superiores suelen ser los más activos y ricos en organismos, mientras que los más profundos albergan formas de vida adaptadas a menor disponibilidad de oxígeno y de nutrientes.

Los horizontes del suelo **sostienen** el crecimiento vegetal, **regulan** la disponibilidad de nutrientes y **proporcionan** la base física para la vida y para las actividades humanas.





- **Crecimiento de las plantas:** Los distintos horizontes aportan propiedades cruciales para que las plantas puedan desarrollarse. El horizonte A, por ejemplo, concentra la mayor actividad biológica y una alta disponibilidad de nutrientes. Otros horizontes funcionan como reservas de minerales que se liberan gradualmente, y, además, ofrecen estabilidad y espacio para que las raíces se expandan. En conjunto, estas capas regulan la aireación, el pH, la disponibilidad de agua y el movimiento de nutrientes, creando las condiciones que determinan qué plantas pueden crecer y cuán saludables serán.



Conclusión

A través de la comparación del suelo con una hamburguesa, es posible comprender de manera visual y sencilla cómo se organizan sus horizontes. Así como cada ingrediente de una hamburguesa tiene una función específica y está colocado en un orden determinado, el suelo está compuesto por capas con propiedades diferentes que influyen en su funcionamiento. Esta analogía permite reconocer que el suelo es una estructura compleja y vital que debemos cuidar, ya que de él depende gran parte de nuestra alimentación, el equilibrio ecológico y el desarrollo de los ecosistemas.

Literatura recomendada

- CSR LABORATORIO. (2025). La estructura del suelo y su clasificación. CSR Laboratorio. <https://csrlaboratorio.es/suelos/horizontes-estructura-clasificacion/>
- UNICA. (2011). Edafología (1ra ed., Vol. 1). Espacio Gráfico Comunicaciones. www.espaciograficosa.com
- USDA. (2017). Soil Survey Manual Soil (1ra ed., Vol. 18). Unites States Department of Agriculture.



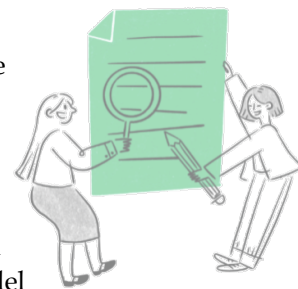
Semblanzas de autores

Dra. Astrid Iriana Sánchez-Vázquez. Profesora de la carrera de IQ en la FCQ-UANL, mi objetivo es dar más conciencia ambiental en suelos a la comunidad estudiantil, así como animarlos a compartir su conocimiento y ganas de ayudar a la sociedad.

Emily Sofía Lara-Macías. Estudiante de la carrera Ingeniería Ambiental en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Cristhian Sarahi Patiño-Loera. Estudiante de la carrera Ingeniería Ambiental en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

MC. Andrea Zambrano Arizpe. Licenciada en Biotecnología Genómica por la UANL con Maestría en Ciencias en Biología Marina por el Cinvestav-IPN. Actualmente, estudiante del Doctorado en Ciencias en Procesos Sustentables de la UANL, donde está desarrollando proyectos enfocados a la cuantificación de contaminantes en suelos urbanos y su posterior degradación.



| 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