



Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente

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



Vol. 3 — Núm. 1 — 2025

ISSN: 2992-8125



LA SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO, A.C. TE INVITA A PARTICIPAR EN EL



DEL 13 AL 17 DE OCTUBRE 2025

**Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco,
Estado de México, México**





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

Dr. Fabián Fernández-Luqueño
 Presidente
 Cinvestav Saltillo

Dra. Dámaris Leopoldina Ojeda Barrios
 Vicepresidente
 Universidad Autónoma de Chihuahua

Dr. Hermes Pérez Hernández
 Secretaría General
 INIFAP

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

Dr. Edgar Vázquez Núñez
 Secretaría Técnica
 Universidad Autónoma de Guanajuato

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

Dra. Miriam Galán Reséndiz
 Secretaría de Relaciones Públicas
 Universidad Autónoma Chapingo

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

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

M.C. Ricardo González Zavaleta
 Secretaría de Promoción de Membresías
 Universidad Autónoma de Guerrero

Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega
 Secretaría de Educación y Enseñanza
 Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

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

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

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

Comité Editorial de Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente

Editores en Jefe

Dr. Fabián Fernández-Luqueño
 Cinvestav Saltillo

Dra. Dámaris Leopoldina Ojeda Barrios
 Universidad Autónoma de Chihuahua

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

Editores Adjuntos

Dr. Edgar Vázquez-Núñez
 Universidad de Guanajuato

Dr. Hermes Pérez-Hernández
 Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

M.C. Langen Corlay Chee
 Universidad Autónoma Chapingo

Dr. José Rafael Paredes Jácome
 Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dr. César Roberto Sarabia Castillo

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

Biol. Mariana Tovar-Castañón
 UNAM

Dra. Dámaris Leopoldina Ojeda-Barrios
 Universidad Autónoma de Chihuahua

Dr. Fernando López-Valdez
 CIBA-IPN

Dra. Alma C. Hernández Mondragón
 Cinvestav Zacatenco

Dr. Julián Delgadillo Martínez
 Colegio de Postgraduados

Dra. Mariana Miranda Arámbula
 CIBA-IPN

Dra. Rosalía Castelán Vega
 Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Dr. Fabián Fernández-Luqueño
 Cinvestav Saltillo

Dra. Susana González Morales
 Investigadora por México-UAAAN

Dr. Oscar Cruz Álvarez
 Universidad Autónoma de Chihuahua

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

Editores Asociados

M.C. Nayelli Azucena Sigala Aguilar
 Cinvestav Saltillo

M.C. Sarahi Moya-Cadena
 Cinvestav Saltillo

Biól. Fernanda Naomi Shimizu Romero
 UNAM

M.C. Rene Juárez Altamirano
 Cinvestav Saltillo

M.C. Jessica Elizabeth Martínez-Vázquez
 Cinvestav Saltillo

M.C. Karla Liliana López García
 Cinvestav Saltillo

M.C. Oscar Fernández-Fernández
 Universidad Autónoma Chapingo

M.C. Andrés Torres-Gómez
 Cinvestav Saltillo

M.C. Gabriel Alejandro Hernández Vallecillo
 Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo

Dr. Ricardo Aarón González Aldana
 Universidad Autónoma de Chihuahua

Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente; Año 3, Número 1, enero 2025 a marzo 2025, es una publicación trimestral editada por la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (SMCS), Dom. Con. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, Estado de México, Tel. 595-95-21721, <https://smcsmx.org/index.php>, smcsissn@gmail.com, Editor Responsable: Dr. Fabián Fernández Luqueño. Reserva de Derechos 04-2023-110710445600-102, ISSN 2992-8125, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Fabián Fernández Luqueño. Fecha de última actualización, marzo 31 de 2025.

Todos los derechos reservados© 2025 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

En el actual desafío alimentario global persiste una paradoja silenciosa: mientras la población mundial continúa en ascenso, los suelos que sustentan nuestra producción de alimentos se deterioran de forma alarmante. Cada año, se pierden miles de millones de toneladas de suelo fértil debido a la erosión, un fenómeno intensificado por prácticas agrícolas insostenibles y por los efectos crecientes del cambio climático. Esta situación exige repensar profundamente los modelos de producción agroalimentaria, colocando la salud del suelo como un eje prioritario que trascienda lo técnico y se asuma como una responsabilidad colectiva.



En este contexto, la biofortificación de cultivos emerge como una estrategia prometedora. El desarrollo de variedades como el maíz enriquecido con vitamina A o el arroz con alto contenido de zinc no solo contribuye a mejorar la nutrición humana, sino que también reduce la presión sobre suelos marginales al incrementar la eficiencia de los sistemas agrícolas. No obstante, estas innovaciones deben ir de la mano con prácticas de manejo sostenible, como la agricultura regenerativa, que, mediante el uso de cultivos de cobertura, rotación diversificada y mínima labranza, permite no solo mantener la productividad, sino también restaurar la estructura y funcionalidad del suelo.

El cambio climático agrava aún más esta problemática. Sequías prolongadas, olas de calor extremas y patrones de precipitación erráticos desafían la resiliencia de los sistemas agroalimentarios.

Paradójicamente, la solución puede encontrarse bajo nuestros pies: los suelos saludables, ricos en materia orgánica y carbono, no solo son más fértiles, sino que también actúan como esponjas hídricas y sumideros naturales de carbono. Este doble beneficio – adaptación y mitigación – posiciona la salud del suelo como un componente estratégico frente al calentamiento global.





En América Latina, donde la agricultura tiene un papel económico, social y cultural fundamental, el reto presenta matices particulares. La región alberga algunos de los suelos más productivos del planeta, pero también enfrenta tasas preocupantes de degradación. Afortunadamente, existen experiencias valiosas como la siembra directa en el Cono Sur y los sistemas agroforestales en Mesoamérica, que demuestran que es posible alcanzar una sinergia entre productividad y conservación. Estas prácticas deben inspirar políticas públicas más decididas y ambiciosas que reconozcan el suelo como un bien común esencial.



El momento actual exige acción decidida y coordinada. Se necesita una nueva generación de productores capacitados que comprendan el suelo como un ecosistema vivo; científicos que desarrollen tecnologías compatibles con su restauración; y tomadores de decisiones con visión a largo plazo, comprometidos con proteger este recurso no renovable. La seguridad alimentaria del siglo XXI dependerá, en gran medida, de nuestra capacidad colectiva para regenerar esa delgada capa de suelo que separa la abundancia de la escasez.

Esta visión integradora – que conjuga innovación científica, saberes tradicionales y voluntad política – representa la vía más sólida para avanzar hacia sistemas alimentarios verdaderamente sostenibles. Como sociedad, debemos comprender que cada alimento que consumimos es, en esencia, suelo transformado. De su salud depende, literalmente, el futuro de la humanidad.

Desde el Comité Editorial de la **Revista Voces del Suelo, agricultura y Medioambiente de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo**, reafirmamos nuestro compromiso con la investigación y la divulgación de prácticas que promuevan la salud del suelo y la seguridad alimentaria.





Asimismo, extendemos una cordial invitación a todas y todos los lectores a participar activamente en el 49 Congreso Mexicano de la Ciencia del Suelo, que se llevará a cabo del 13 al 17 de octubre de 2025 en la Universidad Autónoma Chapingo. Este encuentro, que reunirá a especialistas, estudiantes, productores y tomadores de decisiones, se celebrará bajo el lema: "El suelo: el pasado,

presente y futuro de la vida". Este lema nos invita a reflexionar sobre la profunda relación entre el suelo y los procesos históricos que han dado forma a nuestras civilizaciones, los desafíos ambientales y productivos que enfrentamos hoy, y la necesidad urgente de preservarlo para las generaciones futuras. Reconocer al suelo como eje de continuidad entre el pasado, el presente y el futuro implica valorar su memoria, atender su estado actual y actuar con responsabilidad para garantizar su funcionalidad y resiliencia en un contexto de cambio climático, presión demográfica y degradación ambiental. En este congreso, el suelo será abordado no solo como un recurso, sino como un legado y una promesa para el porvenir.

Les damos la más cordial bienvenida a este nuevo número de **Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente, Volumen 3, Número 1, 2025** se incluyen contribuciones, en las que se exploran diversas perspectivas del estudio del suelo y su importancia en la producción de alimentos. Les invitamos a sumergirse en estos temas y unirse a nosotros en la protección de nuestro invaluable recurso: el suelo.

Editores en Jefe

Dr. Fabián Fernández-Luqueño
Cinvestav Saltillo

Dra. Dámaris Leopoldina Ojeda-Barrios
Universidad Autónoma de Chihuahua

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



Contenido

SECCIÓN, SUBSECCIÓN, TÍTULO Y AUTORES	Páginas
SECCIÓN I. FACTORES DE FORMACIÓN DEL SUELO	
Subsección IA: Material Parental	
Ácidos orgánicos en cultivos agrícolas: alternativa ante el cambio climático Omar Cástor Ponce García; Carlos Abel Ramírez Estrada; Leslie Carnero Avilés; Alejandro Palacio-Márquez	1
Subsección IB: Clima	
Alfalfa y estrés hídrico: un problema para el sector pecuario Consuelo López Campos; Carlos Abel Ramírez Estrada; Omar Cástor Ponce García; Ricardo Valdez Morales; Alejandro Palacio-Márquez	7
Subsección IC: Topografía Sin contribuciones aceptadas	n.a.
Subsección ID: Organismos	
Microbioma e inteligencia artificial para la sustentabilidad del maíz nativo Ana Laura Alonso-Nieves; Jimena Laris-Ortiz; José Alfredo Mares-Mora; Jorge Noé García-Chávez; Cynthia Paola Rangel-Chávez	15
Bacterias Campesinas: Aliadas Naturales de la Agricultura Para Proteger el Agroecosistema José Eduardo Vara-Pastrana; José Luis Rivera-Corona; Sergio de los Santos- Villalobos; Brenda Román-Ponce	25
Al nopal, agárrelo sin miedo, para que no se espine Verónica Elizabeth Niño-Villanueva; Rosalinda Mendoza-Villarreal; Valentín Robledo Torres	39
Conociendo el maravilloso mundo de las microalgas José Antonio Huertos-Ramírez; Marcia Morales-Ibarría; Ana Fernanda García-Rodríguez; Susana González-Morales	46
Subsección IE: Tiempo Sin contribuciones aceptadas	n.a.

n.a.= No aplica

| Marzo 2025 |



Continúa en la siguiente página.



Contenido

...continuación.

SECCIÓN, SUBSECCIÓN, TÍTULO Y AUTORES	Páginas
SECCIÓN II. PROCESOS DE FORMACIÓN DEL SUELO	
Subsección IIA: Adición	
Biofortificación: enriqueciendo nuestros alimentos para un futuro saludable Steffanny Sánchez-Portillo; Antonio Juárez-Maldonado; Adalberto Benavides-Mendoza; Raúl Rodríguez-Herrera; Ginés B. Martínez-Hernández; Fabián Pérez-Labrada	53
Subsección IIB: Transformación	Sin contribuciones aceptadas
Subsección IIC: Translocación	Sin contribuciones aceptadas
Una Sola Salud: la nueva frontera de la ganadería tropical en México César Augusto de la Cruz López; José Armando Alayón Gamboa	63
Subsección IID: Pérdida	Sin contribuciones aceptadas
SECCIÓN III. LA ARCILLA	
Los incendios forestales causan cambios en el suelo Gabriel Alejandro Hernández-Vallecillo; Sandra Monserrat Barragán-Maravilla	33
¿Sustancias húmicas o moléculas pequeñas? Bruno Chávez Vergara	36
SECCIÓN IV: HORIZONTES GENÉTICOS MAYORES Y CAPAS	
Subsección IVA: Horizonte O	Sin contribuciones aceptadas
Subsección IVB: Horizonte L	Sin contribuciones aceptadas
Subsección IVC: Horizonte A	Sin contribuciones aceptadas
Subsección IVD: Horizonte E	Sin contribuciones aceptadas
Subsección IVE: Horizonte B	Sin contribuciones aceptadas
Subsección IVF: Horizonte C	Sin contribuciones aceptadas
Subsección IVG: Capa R	Sin contribuciones aceptadas
Subsección IVH: Capa M	Sin contribuciones aceptadas
Subsección IVI: Capa W	Sin contribuciones aceptadas
Sección V. Ciclos del Suelo	Sin contribuciones aceptadas
Sección VI. Entisol	
Libro publicado por la Unión Internacional de las Ciencias del Suelo	73

n.a.= No aplica

| Marzo 2025 |



SMCS, A.C.



Ácidos orgánicos en cultivos agrícolas: alternativa ante el cambio climático

Omar Cástor Ponce García¹
Carlos Abel Ramírez Estrada²
Leslie Carnero Avilés¹
Alejandro Palacio-Márquez¹

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

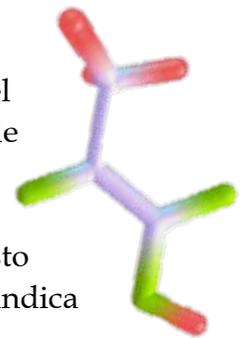
²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C. (CIAD), Av. 4 Sur 3828, Pablo Gómez, 33088 Delicias, Chihuahua, México

*Autor para correspondencia: apalaciom@uach.mx

Se prevé que la productividad agrícola en México descienda un 59 % en los principales cultivos del país a causa de los efectos del cambio climático. Ante esta situación, el uso de compuestos producidos por las mismas plantas representa una alternativa viable para evitar los efectos severos causados por los factores abióticos adversos. Dentro de estos compuestos destaca el uso de ácidos orgánicos.

Introducción

En los últimos años el estrés abiótico ha sido uno de los principales problemas en la producción de cultivos agrícolas, provocado principalmente por los efectos del cambio climático. Algunas de las afectaciones son la disminución de agua disponible, altas o bajas temperaturas, salinidad en el suelo y exceso de radiación. Según un estudio publicado por el Instituto de Investigación de Cambio Climático de la UNAM, se prevé que la productividad agrícola en México descienda un 59 % en los principales cultivos del país a causa de los efectos del cambio climático. Así mismo, esto provocaría pérdidas cercanas a los 38 mil millones de dólares. La SADER indica que los estados de Chihuahua, Tamaulipas, Michoacán, Sonora y Sinaloa presentan riesgo severo de disponibilidad hídrica para la agricultura en los próximos años, situación crítica para el país, ya que estos estados en conjunto aportan el 47.8 % del valor de producción agrícola nacional.





Efectos fisiológicos del estrés abiótico en las plantas

Los factores involucrados en el estrés abiótico desencadenan una respuesta interna en las plantas, los cuales afectan significativamente el crecimiento y la productividad. específicamente, la planta presenta una pérdida de agua en la célula y estos cambios en la actividad celular provocan los siguientes procesos (Figura 1):

1. Cierre estomático, el cual se realiza con la finalidad de que la planta evite la pérdida de agua por transpiración. Sin embargo, esta acción puede provocar una reducción en la asimilación de carbono que afecta negativamente el proceso de la fotosíntesis.
2. Si el estrés continua, el segundo mecanismo de defensa es el incremento en la producción de azúcares con el objetivo de regular la turgencia de la célula, lo que propicia un cambio en la consistencia del interior de la célula y evita la pérdida de agua.
3. También, el estrés desencadena la producción de metabolitos con características bioactivas que tienen el objetivo de proteger a la planta de oxidación, deshidratación o daño por sustancias fitotóxicas.
4. Por último, un estrés severo inicia la transformación de compuestos de las zonas maduras de la planta a las partes en crecimiento, lo que provoca la muerte celular, caída de hojas y en casos extremos la muerte de la planta.

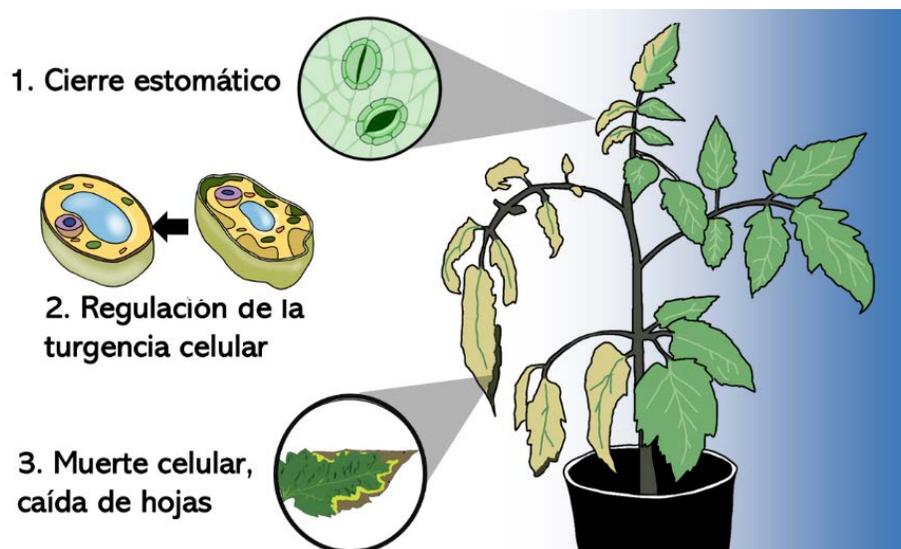


Figura 1. Efectos sobre la fisiología vegetal causados por el estrés abiótico



Una alternativa innovadora para combatir los efectos del estrés abiótico

Ante la creciente problemática que representa el estrés abiótico sobre los cultivos agrícolas, surge la necesidad de buscar alternativas innovadoras que permitan contrarrestar dichos efectos y que, además, no impliquen un problema ambiental. Ante esta situación, el uso de compuestos producidos por las mismas plantas representa una opción viable para evitar los efectos severos causados por los factores abióticos adversos. Dentro de estos compuestos destaca el uso de ácidos orgánicos, los cuales, son exudados por las raíces de las plantas con el objetivo de alterar procesos en la interacción suelo-planta que favorezcan la asimilación de nutrientes, el desarrollo de organismos benéficos, el crecimiento radicular y principalmente la absorción de agua.

Los ácidos orgánicos (AO) son compuestos que contienen uno o más grupos carboxílicos (-COOH), los cuales son producidos por las plantas en el proceso de degradación de moléculas como carbohidratos, lípidos y proteínas, principalmente durante el ciclo de los ácidos tricarboxílicos. Presentan un papel fundamental en el asimilación y conversión del carbono e influyen de manera general en la fisiología de la planta. Además, la disponibilidad de estos compuestos en formulaciones comerciales es variada, y por si fuera poco, su extracción por otros métodos es sencilla. Anteriormente, se han reportado diversos ácidos orgánicos producidos por las plantas, como el ácido cítrico y el ácido málico, seguido por otros ácidos disponibles en menor cantidades como el fumárico, oxálico, acético, butírico y ascórbico (Figura 2).

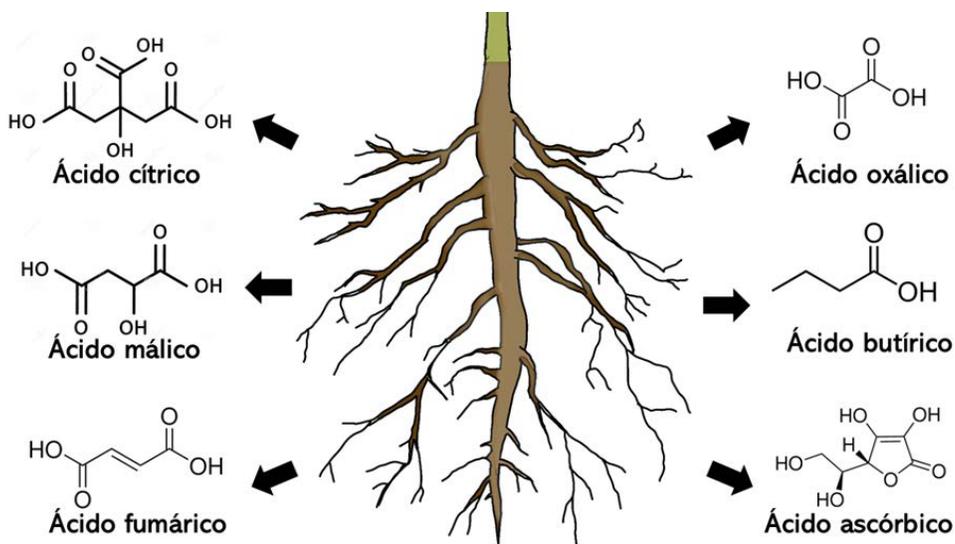


Figura 2. Principales ácidos orgánicos producidos por la planta.



Los ácidos orgánicos cumplen con diferentes funciones en los procesos internos de la planta, siendo la principal, la regulación de los niveles de agua en el interior de la célula. Además, ayuda al balance de la entrada y salida de cationes para evitar un problema de toxicidad. Igualmente, se ha reportado que estos procesos favorecen un mayor desarrollo radicular, un mayor número de raíces y sobre todo de pelos absorbentes. Esto facilita la absorción de agua y nutrientes minerales, además, al ser compuestos que se liberan en el suelo por medio de las raíces, pueden acidificar la zona de la rizosfera y generar cambios en la disponibilidad de micronutrientes como Fe, Zn, Cu y Mn.

Otro punto que destacar es la relación que juegan los ácidos orgánicos con los microorganismos del suelo, ya que funcionan como alimento de la comunidad microbiana, lo que genera efectos positivos en las raíces de las plantas, incrementa la actividad biológica del medio y reduce la incidencia de patógenos.

¿Qué ácidos orgánicos se pueden usar para combatir el estrés abiótico?

Los ácidos orgánicos se dividen en dos grupos: alto peso molecular (ácidos húmicos y fúlvicos) y bajo peso molecular (cítrico, málico, oxálico, etc.), los primeros se caracterizan por tener baja solubilidad, por lo que se han utilizado principalmente como mejoradores de suelos, esto debido a su alta capacidad de intercambio catiónico, lo que puede ayudar a incrementar la retención de humedad, así como formar complejos con nutrientes metálicos, lo que incrementa su disponibilidad en el medio, sobre todo en situaciones donde el suelo presenta un pH alcalino.

Por su parte, los AO de bajo peso molecular, tienden a ser mucho más solubles por lo cual su aplicación puede ser tanto de manera edáfica como de forma foliar en pequeñas cantidades, debido a su efecto bioestimulante, algunos estudios recientes han mencionado que el efecto de estos ácidos dentro de la planta se debe a que incrementan la producción de metabolitos secundarios, la movilidad de nutrientes y generan un aumento en la tasa de respiración, la energía celular y participan en la acción de enzimas involucradas en los mecanismos de defensa de la planta. Anteriormente se han observado resultados favorables en el uso eficiente de agua y aumento en el enraizamiento en plantas de chile y aguacate con la aplicación de ácido cítrico en dosis bajas. Esto pone en evidencia el papel fundamental de los ácidos orgánicos en la producción sostenible en México. A continuación, algunos ejemplos de ácidos orgánicos y sus funciones se describen en la Tabla 1.



Tabla 1. Funciones de los principales ácidos orgánicos ante el estrés abiótico en plantas.

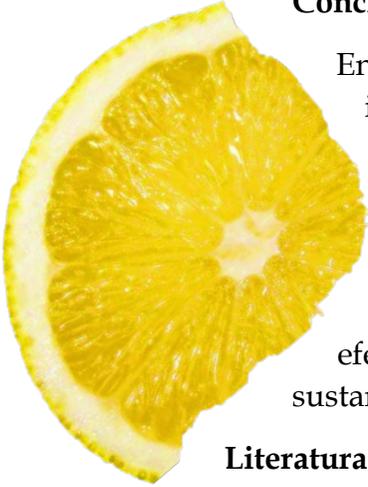
Ácido orgánico	Principales funciones ante el estrés abiótico
Húmico	Mejorador de suelo que permite incrementar la retención de humedad, aumentar la actividad microbiana y mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo.
Fúlvico	Al igual que los ácidos húmicos cumplen con las funciones descritas y además ayudan a incrementar la actividad de enzimas relacionadas con la respuesta al estrés oxidativo.
Cítrico	Mejora la disponibilidad de nutrientes, la asimilación de agua y ayuda a minimizar los daños causados por metales pesados en plantas como cromo y plomo.
Málico	Respuesta al estrés por sequía activando mecanismos que permitan que la acumulación de carbono no se vea afectada por el cierre de estomas causado por la falta de agua.
Oxálico	Al igual que los anteriores tiene efectos sobre los mecanismos de respuesta de la planta ante situaciones de estrés, principalmente la falta de agua o la intoxicación por metales pesados.
Ascórbico	Además de las funciones previamente descritas, tiene un efecto positivo sobre el control de las especies reactivas de oxígeno que causan daño oxidativo a las plantas.

Retos para la juventud

A pesar de lo positivo que luce el uso y aplicación de AO, en la actualidad su uso en la agricultura continúa siendo un mundo por descubrir, y ante la situación complicada que presenta el cambio climático, especialmente para las zonas que enfrentan situaciones hídricas adversas, se presentan como una opción sostenible para mantener la productividad agrícola. En base a esto, es necesario incrementar el número de investigaciones relacionadas a estos temas, con el objetivo de esclarecer las funciones y efectos de los diferentes tipos de ácidos orgánicos sobre el crecimiento, desarrollo, productividad y mecanismos de respuesta al estrés de los diferentes cultivos de impacto en la producción alimenticia nacional.



Conclusiones



En conclusión, los ácidos orgánicos se presentan como una alternativa innovadora para mitigar los efectos del estrés abiótico en los cultivos de importancia nacional, debido a que incrementan la absorción de agua y nutrientes por las plantas y regulan la respuesta a estrés hídrico, salino, por temperatura y metales pesados. Sin embargo, sus efectos continúan en proceso de investigación por lo que es necesario estudiar más a fondo sus efectos sobre las plantas con el objetivo de que el uso de estas sustancias sea aceptado para el uso constante por los agricultores.

Literatura recomendada

Mendoza-Ponce A., Ortiz Haro G. A., Murray-Tortarolo G. N., & Salazar Frausto, J. L., (2023). Agricultura y cambio climático en México. En: *Estado y perspectivas del cambio climático en México. Un punto de partida*. Reporte técnico, Programa de Investigación en Cambio Climático, UNAM, pp 1-13.

Panchal, P., Miller, A. J., & Giri, J. (2021). Organic acids: versatile stress-response roles in plants. *Journal of Experimental Botany*, 72(11), 4038-4052.

Adeleke, R., Nwangburuka, C., & Oboirien, B. (2017). Origins, roles and fate of organic acids in soils: A review. *South African Journal of Botany*, 108, 393-406.

Semblanzas de autores

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).

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).

Dra. Leslie Carnero Avilés. Ingeniero Agrónomo, egresado de la Universidad autónoma de Sinaloa con Doctorado en Ciencias en parasitología agrícola por la universidad autónoma agraria Antonio Narro (UAAAN). Investigadora en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, campo experimental Delicias.

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.





Alfalfa y estrés hídrico: un problema para el sector pecuario

Consuelo López Campos¹
Carlos Abel Ramírez Estrada²
Omar Cástor Ponce García³
Ricardo Valdez Morales¹
Alejandro Palacio-Márquez^{1*}

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

²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C. (CIAD), Av. 4 Sur 3828, Pablo Gómez, CP. 33088 Delicias, Chihuahua, México

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, campo experimental Delicias. Labor Ejido Rosales Kilómetro 2, Delicias, CP. 33000 Delicias, Chihuahua, México

*Autor para correspondencia: apalaciom@uach.mx

Uno de los problemas más preocupantes en el norte de México es la sequía ya que afecta la producción de cultivos como la alfalfa, la cual presenta gran importancia económica, pero a su vez demanda grandes cantidades de agua, por ello la escasez hídrica afecta su calidad y cantidad del forraje. A pesar de esto, existen algunas alternativas que nos abren la puerta para gestionar los recursos hídricos de manera eficiente.

Introducción

La alfalfa es un cultivo que representa una importante derrama económica y es altamente demandado para satisfacer las necesidades del sector pecuario, encontrándose su mayor producción en el norte de México, con una superficie sembrada de 410,000 hectáreas y un rendimiento de 39 millones 190 mil toneladas con un valor de producción de 29 mil 666 millones de pesos, siendo los principales productores los estados de Chihuahua, Sonora, Durango y Baja California, que en conjunto aportan el 51 % de la producción nacional.



Para el norte de México, el cultivo de la alfalfa es uno de los más importantes, ya que representa un alto valor comercial. Sin embargo, la sequía ha afectado fuertemente la producción, ya que es un cultivo que demanda altas cantidades de agua.



La alfalfa pertenece a la familia de las leguminosas caracterizada por su capacidad de crecimiento radicular y tolerancia al estrés. Su ciclo de vida puede extenderse entre 4 y 10 años y es considerado como un excelente cultivo forrajero debido a su alto contenido de proteína. Su aporte energético y su contenido de fibra, vitaminas y minerales; utilizado como parte esencial de la dieta de bovinos y ovinos. Esta alta demanda coloca al cultivo como un recurso de alto impacto económico, convirtiéndose en sustento económico para muchas familias mexicanas, sobre todo en la zona norte del país (Fig. 1).

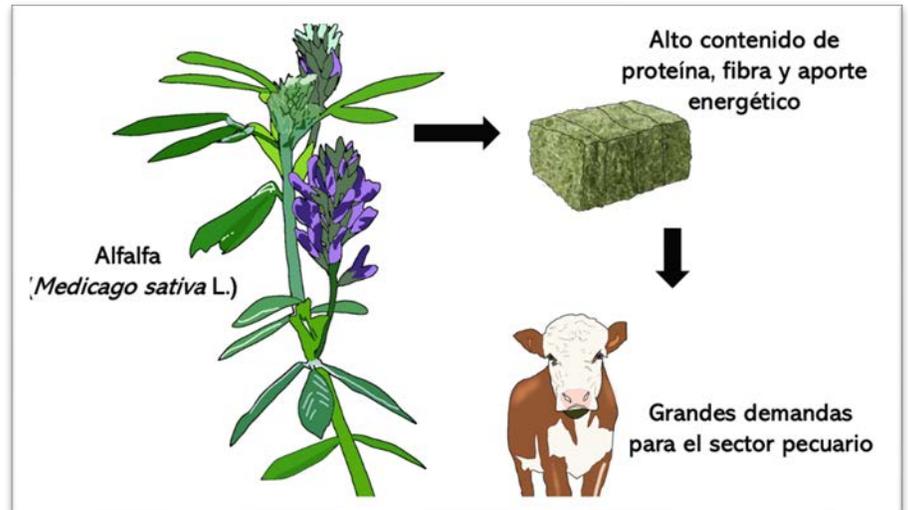


Figura 1. Características e importancia de la alfalfa como cultivo forrajero en el norte de México.

Desarrollo

Problemas para su producción en la actualidad: ¿Cómo afecta la sequía a la alfalfa?

En el norte de México, desde hace aproximadamente cuatro años, la escasez de agua se ha considerado como severa, debido a que al ser una región con clima seco las lluvias oscilan entre los 400 y 500 mm anuales. En el ciclo agrícola 2024 no se contó con la cantidad de agua necesaria para cubrir el total de hectáreas que habían sido cosechadas en años anteriores, debido a que, solo se registraron 229.7 mm anuales de lluvia. La alfalfa fue uno de los cultivos que tuvo más afectaciones a causa de las diferentes implicaciones del cambio climático. La falta de agua disponible y aumentos en la temperatura promedio, generan un incremento en la transpiración, provocando que la poca agua disponible no se aproveche por la planta.

El cambio climático es un disturbio atmosférico que llegó para quedarse, provocando inundaciones, incremento de la radiación solar, heladas más intensas, etc.; por lo que, el establecer medidas resilientes será lo que nos permita seguir adelante como seres humanos.



La alfalfa se encuentra distribuida en las áreas áridas y semiáridas de México, generalmente se cultiva bajo condiciones de riego y se considera uno de los cultivos más resistentes a la sequía o más específicamente al estrés hídrico. Este cultivo, en condiciones óptimas, tiene un promedio de vida de cuatro años productivos, manteniendo su calidad como forraje, obteniendo por año en promedio 95.7 toneladas por hectárea dividido entre 8 y 10 cortes, siendo la mejor época del año para su desarrollo vegetativo en primavera-verano. A pesar de contar con largas raíces que le permiten tolerar la falta de agua por periodos largos de tiempo, si se busca una producción elevada y, sobre todo, alta calidad en el forraje, se le deben proporcionar cantidades de agua excesivas, alcanzando un consumo de agua que ronda entre los 12 y los 18 millones de litros anuales. Además, según un estudio de la Universidad de California, Davis (UC Davis), cada kg de forraje de alfalfa seca consume entre 700 y 900 litros. En caso de no alcanzar ese nivel de humedad, la calidad del forraje se ve afectada gravemente y su producción puede disminuir hasta en un 30 %.

El estrés hídrico en las plantas se puede definir como una respuesta a un desequilibrio que se presenta entre la transpiración y la disponibilidad de agua que se puede absorber. Es bien sabido que todas las plantas necesitan cierta cantidad de agua para lograr el máximo desarrollo posible, en el caso específico de la alfalfa, aunque el cultivo sobrevive al estrés, la producción si sufre alteraciones significativas. Los principales efectos del estrés hídrico se pueden observar en la

De las medidas a considerar para gestionar un uso más eficiente del agua se encuentra el establecimiento de sistemas de riego de precisión, con los que se pueden llegar a tener ahorros del 40% en el agua consumida.

disminución de la germinación y crecimiento, daños severos en el aparato fotosintético y por ende un descenso en la fotosíntesis y absorción de nutrientes. De igual forma, la falta de agua afecta el desarrollo del tallo, así como, el número de tallos por planta, número de entrenudos por tallo y el largo de éstos. Además, el tamaño de la hoja se reduce de 4 cm² por hoja en condiciones de riego adecuado, a 1 cm² por hoja bajo condición de sequía (Fig. 2).



Figura 2. Efectos del estrés por sequía en el desarrollo de plantas de alfalfa.

- Menor germinación.
- Daño en hojas y menor fotosíntesis.
- Menor desarrollo de brotes.
- Reducción de tamaño y número de hojas.

¿Cómo manejar la poca disponibilidad de agua?

Aunque el estrés hídrico en la alfalfa ha sido poco estudiado, hay certeza de la existencia de diferentes alternativas para mejorar la eficiencia del agua durante el ciclo fenológico del cultivo. Sin embargo, antes de aplicar alguna de ellas, se debe considerar el índice de estrés hídrico del cultivo, el cual se basa en la determinación de la tasa de transpiración actual de un cultivo mediante la medición de la temperatura de la hoja (dosel) y el déficit de presión de vapor.

Así mismo, es importante conocer las características que debe tener un suelo para que permita mejores aprovechamientos en consumo de agua. Por ejemplo, una correcta labranza y preparación del terreno son un punto clave, ya que, permiten mayor retención de agua y mejor desarrollo. Así mismo, la incorporación de materia orgánica ha probado reducir la infiltración y mejorar la disponibilidad de agua en el suelo.

Otra alternativa de manejo, aunque representa una inversión económica fuerte, es la implementación de sistemas de riego presurizados, esto debido a que actualmente el 80 % de la superficie sembrada con alfalfa es regada mediante gravedad lo que genera pérdidas de hasta el 50 % del agua aplicada, por lo que establecer sistemas de riego por goteo o aspersión podrían generar ahorros de un 20 a 30 % en el consumo de agua anual.

Las actividades primarias como la agricultura, ganadería y pesca serán las más afectadas, estimándose una reducción del 59 % con pérdidas cercanas a los 38 mil millones de dólares.





Una estrategia novedosa y sustentable para solucionar problemas causados por el estrés en las plantas, es el uso de soluciones preparadas de manera natural llamadas bioestimulantes, los cuales se definen como sustancias y/o microorganismos cuya función es estimular los procesos naturales para mejorar la absorción de nutrientes, la tolerancia al estrés abiótico y la calidad del cultivo. Los bioestimulantes son una ventana a la innovación; estos compuestos orgánicos que se utilizan para retrasar o acelerar un determinado proceso fisiológico en las plantas, también aportan mayor resistencia a las condiciones de estrés hídrico.

De las medidas novedosas para mitigar los efectos del estrés abiótico, y particularmente el estrés hídrico en las plantas, son los bioestimulantes que incrementan la resistencia a periodos de sequía, regulan los niveles de agua y la absorción de nutrientes por las plantas.

Uno de los bioestimulantes más innovadores son las nanopartículas de óxido de zinc en conjunto con el quitosano. Dicha mezcla se aplica de manera foliar en áreas que se vean afectadas por el estrés hídrico, debido a que en estos dos bioestimulantes protegen a la planta del estrés oxidativo y ayudan a su crecimiento. Otra ventaja de estos compuestos es que son poco tóxicos, naturales y biodegradables.

Por otro lado, la aplicación exógena de ácido salicílico y ácido abscísico ha mostrado incrementar la resistencia a periodos de sequía en cultivos. De igual forma, promueven la regulación en la apertura y cierre de estomas ante la presencia de un estrés abiótico y por ende el uso del agua sea más eficiente (Tabla 1).

Retos para la juventud

Sin duda, el cambio climático es una problemática que va en aumento a través de los años, y que trae consigo muchas dificultades para los agricultores. Por ello, es necesario crear conciencia sobre la importancia del correcto manejo de recursos y buscar alternativas que promuevan la conservación. Los jóvenes tienen la mayor responsabilidad de integrar técnicas innovadoras, como cambios en el manejo del cultivo o el uso de sustancias con acción bioestimulante en los sistemas de producción agrícolas actuales.



Tabla 1. Principales bioestimulantes utilizados en la agricultura

Tipo de bioestimulante	Principales funciones	Ejemplos
Compuestos húmicos	Contribuyen a la regulación de muchos procesos ecológicos y ambientales que son cruciales para el crecimiento de las plantas, regulan el ciclo del carbono y el nitrógeno del suelo, además de que mejoran la estabilización de la estructura del suelo.	<ul style="list-style-type: none"> • Huminas • Leonardita • Ácido húmico • Ácido fúlvico
Microorganismos benéficos	Contribuyen a mitigar tanto estrés abiótico como biótico, incluido el control de patógenos, una mayor tolerancia a la sal, una mayor resistencia a los metales pesados y otras toxinas; así como ayudar al aumento del crecimiento y rendimiento.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Rhizobium</i> • <i>Azotobacter</i> • <i>Bacillus</i> • <i>Trichoderma</i> • <i>Bauveria</i> • Micorrizas
Extractos de algas	Tienen efectos en el crecimiento de plantas, aumento en la actividad fotosintética y contenido de clorofila, aumentos en la actividad de las enzimas relacionadas al metabolismo nitrogenado, lo que lleva a un mayor contenido de proteínas y aminoácidos.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Ascophyllum nodosum</i> • <i>Saragassum</i> • <i>Ecklonia máxima</i> • <i>Spirulina</i>
Compuestos inorgánicos	Se han encontrado efectos positivos en la rigidez de la pared celular, reducción en la transpiración bajo estrés hídrico, regulación térmica ante el estrés por temperatura, protección antioxidante, además de la síntesis y señalización de hormonas vegetales.	<ul style="list-style-type: none"> • Silicio • Selenio • Nanopartículas metálicas
Biopolímeros	Diversos estudios han probado que actúan como inductores que pueden activar las respuestas de defensa de las plantas e inducir a las plantas a producir compuestos protectores en contra del estrés.	<ul style="list-style-type: none"> • Alginato • Quitina • Quitosano

Conclusiones

La sequía es una de las principales problemáticas que limitan la producción de alimentos y afectan la actividad agrícola. La escasez de agua en zonas productoras de alfalfa del norte de México ha ocasionado una alta tasa de estrés por factores abióticos, que disminuyen la productividad del cultivo. A pesar de la difícil situación, es importante estudiar alternativas de solución que permitan mantener la productividad de manera sostenible, es decir sin comprometer los recursos hídricos.



Literatura recomendada

Zaccaria, D., Carrillo-Cobo, M. T., Montazar, A., Putnam, D. H., & Bali, K. (2017). Assessing the viability of sub-surface drip irrigation for resource-efficient alfalfa production in central and southern California. *Water*, 9(11), 837.

Quiroga Garza, H. M. (2008). Increase in water use efficiency by alfalfa with water-limiting irrigations during summer. *Revista Terra Latinoamericana*, 26(2), 111-117.

Palacio-Márquez, A., Ramírez-Estrada, C. A., Sánchez, E., Ojeda-Barrios, D. L., Chávez-Mendoza, C., Sida-Arreola, J. P., & Preciado-Rangel, P. (2022). Use of biostimulant compounds in agriculture: Chitosan as a sustainable option for plant development. *Notulae Scientia Biologicae*, 14(1), 11124-11124.

Semblanzas de autores

Consuelo López Campos. Estudiante de 4to semestre de la carrera Ingeniero Agrónomo con especialidad en Fitotecnia 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).

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).



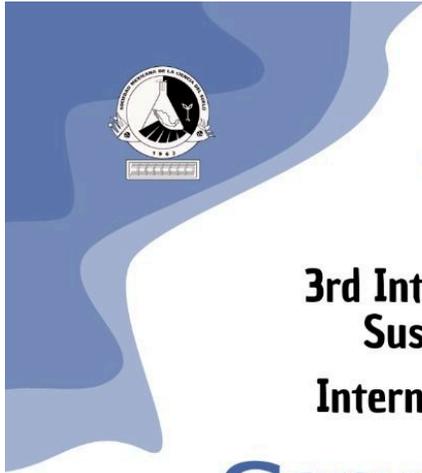
Ing. Ricardo Valdez Morales. Ingeniero Agrónomo Especialista en Irrigación, estudiante de Maestría Profesional en Agronegocios en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales (FCAyF) de la Universidad Autónoma Chihuahua (UACH) y profesor investigador en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la 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.

La Universidad Autónoma
Chapingo, sede del 49° Congreso
Mexicano de la Ciencia del Suelo.

13-17 de octubre del 2025, Texcoco, México.





**3rd International Conference on Soil
Sustainability and Innovation
International Soil Security Congress**

Convocatoria general

Conferencias magistrales

Simposios y presentaciones orales

Sesiones de pósteres

Giras técnicas

Presentación de libros

Cursos-Taller

**Concursos de Tesis,
Dibujo y pintura,
Fotografía**

Recorridos de campo y culturales

**Premio Nacional de la Ciencia del
Suelo "Dr. Ramón Fernández
González"**

**7° Concurso Mexicano de
Evaluación de Suelos**

**Los resúmenes en
extenso**



**del 13 al 17 de
octubre de 2025**



**Universidad Autónoma
Chapingo, Texcoco, México**

Podrán ser enviados a
partir del 15 de marzo y
hasta el 18 de julio de
2025.



Microbioma e inteligencia artificial para la sustentabilidad del maíz nativo

Ana Laura Alonso-Nieves¹
Jimena Laris-Ortiz²
José Alfredo Mares-Mora²
Jorge Noé García-Chávez³
Cynthia Paola Rangel-Chávez^{2*}

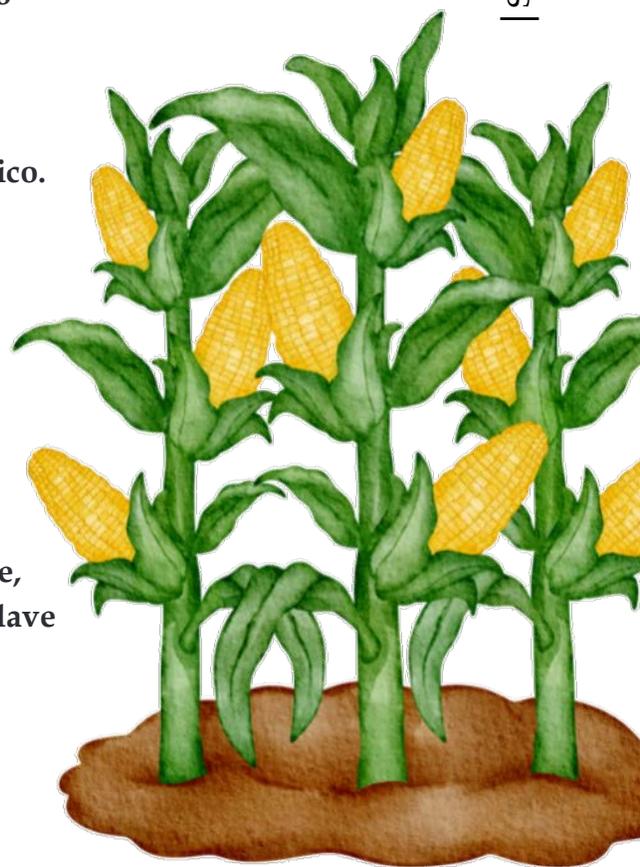
¹Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calz Antonio Narro 1923, Buenavista, C.P. 25315. Saltillo, Coah, México.

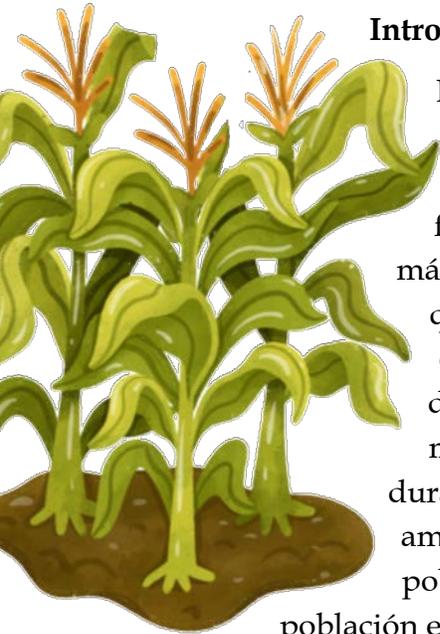
²Escuela Nacional de Estudios Superiores de la UNAM, Campus León. Blv. UNAM 2011, Predio El Saucillo y El Potrero, C.P. 37689. León, GTO, México

³Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. Carretera Irapuato Silao Km 12.5, Irapuato, C.P. 36821. Irapuato, GTO, México.

*Autor para correspondencia: cynthia.rc@irapuato.tecnm.mx tel. +52 1 462 309 2206

Los microorganismos que habitan en el suelo, cerca o dentro de la raíz de las plantas son conocidos como microbioma. En el maíz, el microbioma favorece su desarrollo, crecimiento, y adaptación a condiciones adversas como la sequía producto del cambio climático. Estos microorganismos son clave para mejorar la salud del suelo y fortalecer la resiliencia de los cultivos, especialmente en el caso de los maíces nativos, que representan una fuente invaluable de diversidad genética y adaptación local. El uso de la inteligencia artificial para analizar la relación entre el microbioma, rendimientos y condiciones ambientales contribuye a la optimización del agua y los nutrientes favoreciendo la agricultura sustentable, particularmente en maíces nativos que podrían ser clave para enfrentar desafíos climáticos futuros.





Introducción

El cambio climático ha provocado un desequilibrio en factores ambientales como la temperatura y las lluvias. El aumento en la temperatura anual y el retraso de las lluvias son los principales factores que impactan el rendimiento de los cultivos. En México, más del 80 % de la superficie de siembra de maíz es de temporal, lo que quiere decir que la producción depende de las lluvias y de la cantidad de agua retenida en el suelo. Se estima que más del 70 % de productores utiliza semillas de maíz nativo. Las poblaciones de maíz nativo han sido seleccionadas y cultivadas por los agricultores durante generaciones; comúnmente están adaptadas a las condiciones ambientales locales en donde se siembran. A nivel genético, son poblaciones heterogéneas, ya que cada individuo que conforma la población es genéticamente diverso. Existen 59 razas de maíz, las cuales se encuentran distribuidas a lo largo del país, que, debido a los distintos ambientes presentes en México, están adaptadas a distintos tipos de suelos, altitudes, precipitaciones, etc.

Los microorganismos del suelo establecen asociaciones con las raíces, favoreciendo su nutrición y resistencia frente a patógenos y factores de estrés ambiental, además, mejoran la salud del suelo. Estos microorganismos benéficos se localizan en distintas zonas del suelo, como la rizósfera y la endosfera. La rizósfera, es la región del suelo influenciada por las raíces de las plantas y es en donde se encuentra la mayor diversidad de microorganismos. El objetivo de este documento es resaltar el papel fundamental del microbioma del suelo en el maíz nativo, considerando su importancia en la adaptación a condiciones ambientales adversas y su potencial para mejorar la productividad agrícola.



Las poblaciones de maíz nativo son una fuente de gran diversidad genética, cada individuo es genéticamente diferente.



El estudio del microbioma de suelos de cultivo no solo aporta una comprensión más profunda de cómo las variedades nativas se adaptan a condiciones extremas, sino que también abre nuevas oportunidades para fortalecer la agricultura sostenible en tiempos de cambio climático (Figura 1). Actualmente, el desarrollo de herramientas como la inteligencia artificial (IA) ha revolucionado la forma de analizar estos sistemas complejos, ya que permite integrar grandes volúmenes de datos sobre microbiomas, condiciones ambientales y rendimientos agrícolas, lo que facilita la identificación de patrones y factores clave que podrían optimizar la producción del maíz, incluso en condiciones desfavorables.

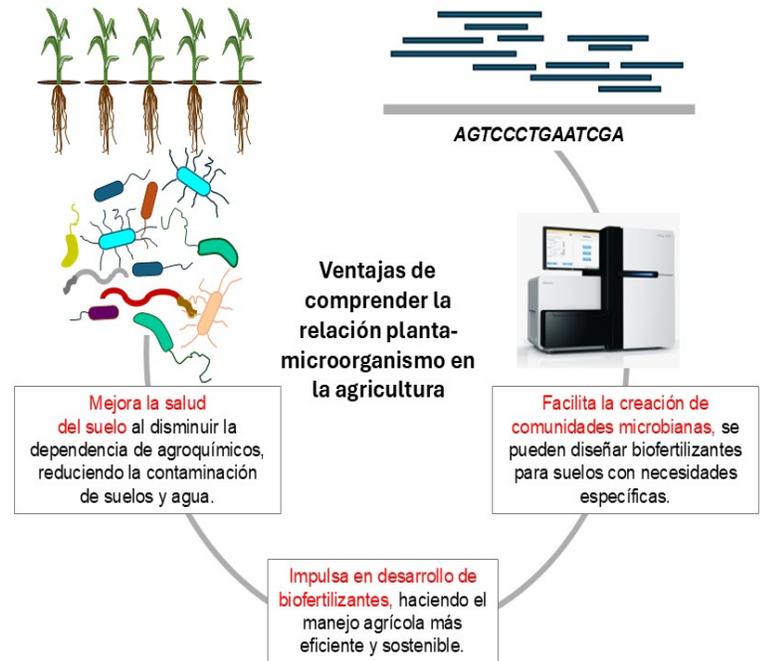


Figura 1. Beneficios y aplicaciones de los estudios del microbioma asociado a las plantas para el desarrollo de estrategias de manejo sustentable para los cultivos.

Importancia de las poblaciones de maíz nativo

El maíz es el cultivo agrícola más importante de México no sólo por el aspecto alimenticio si no por el industrial, político, social y cultural. Las poblaciones nativas de maíz cuentan con una gran diversidad genética que les permite adaptarse a diferentes tipos de ambientes con distintos tipos de suelos, altitudes, precipitaciones, etc. Dichas poblaciones son heterogéneas a nivel genético ya que dentro de una población los individuos cuentan con distintas variantes de genes (alelos), es decir que genéticamente son diferentes. Esta diversidad genética se ve reflejada en las diferentes características morfológicas de las plantas, que van desde la altura, tamaño de las espigas hasta distintos colores del grano en la mazorca (Figura 2).



Las poblaciones nativas de maíz son producto de la selección directa e indirecta realizada generación tras generación por los agricultores, de la selección natural en respuesta a las condiciones ambientales locales, así como al intercambio de semillas entre agricultores. Este proceso ha llevado a la identificación y formación de 59 razas de maíz, las cuales han mostrado distintas características agronómicas sobresalientes.



Figura 2.- Ejemplo de la diversidad morfológica de una población de maíces nativos crecidos en un campo experimental con fines de investigación. La población se realizó mediante cruza de maíces nativos. Se puede observar la diversidad genética entre cada familia y entre familias reflejada en las distintas alturas de las plantas (A), forma, tamaño y color de la mazorca (B-E).

El material nativo cobra relevancia debido a que en la mayoría de la superficie sembrada en condiciones de temporal se utiliza este tipo de materiales. Los maíces nativos, además de ser parte del patrimonio cultural, son el sustento de miles de familias en zonas rurales, por lo que su protección y conservación resulta fundamental.



Se han identificado una serie de ventajas para las variedades locales, entre las que destaca la diversidad genética que les permite responder a las condiciones ambientales que serían desfavorables para cualquier otro material, lo que proporciona mayor garantía en la producción. Por otro lado, los maíces nativos en la alimentación presentan características únicas que las hacen insustituibles para preparar una gran variedad de platillos tradicionales.



La diversidad genética de los maíces nativos se ve reflejada en las diferentes características morfológicas de las plantas, como la altura, tamaño de las espigas hasta distintos colores del grano en la mazorca.

¿De qué está compuesto el microbioma del suelo?

El microbioma del suelo, compuesto por bacterias, hongos, arqueas y otros microorganismos, forma una red bajo la superficie donde interactúa con las raíces de las plantas influyendo en el desarrollo y rendimiento de estas.

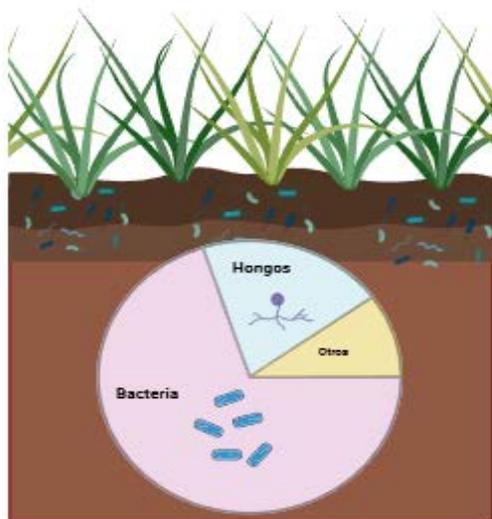


Figura 3. Composición del microbioma en los suelos de cultivo.

Las bacterias conforman más del 70 % de la biomasa del microbioma seguida por alrededor del 20 % de los hongos, y aproximadamente el 10 % de otros.

Aunque algunos microorganismos pueden causar enfermedades en los cultivos, muchos son esenciales para el desarrollo de las plantas, estableciendo diferentes tipos de relaciones biológicas como la simbiosis, el mutualismo y la cooperación.

Las comunidades microbianas del suelo, tiene una gran diversidad y es de las más abundantes de la naturaleza, se compone entre el 70 % y el 90 % por bacterias, seguidas por hongos (Figura 3). Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés) y los hongos micorrízicos arbusculares establecen relaciones simbióticas con las raíces, mejorando la disponibilidad de nutrientes como el fósforo, la tolerancia a la sequía y la resistencia a enfermedades. Las arqueas, aunque menos estudiadas, desempeñan un papel único en suelos extremos, contribuyendo a procesos como la metanogénesis y fijación de nitrógeno, influyendo en la sostenibilidad de los agroecosistemas.



Diversidad microbiana en el suelo y sus beneficios para el maíz nativo

La diversidad microbiana en la rizósfera del maíz es considerablemente mayor en las variedades nativas comparadas con los monocultivos modernos. La comunidad bacteriana en estos sistemas es crucial no solo para la salud general de las plantas, sino también para su capacidad de adaptarse a condiciones ambientales extremas, como las sequías prolongadas. Según estudios realizados en diversas regiones de México, las comunidades bacterianas de la rizósfera en zonas áridas muestran una mayor prevalencia de bacterias resistentes a la sequía, como *Firmicutes* y *Proteobacteria*. Estos microorganismos son capaces de tolerar la escasez de agua y, en muchos casos, facilitan la fijación de nitrógeno, lo que permite al maíz nativo prosperar en suelos con baja fertilidad.

En contraste, las variedades de maíz cultivadas en zonas tropicales, donde el acceso al agua es más constante, exhiben un microbioma diferente, dominada por géneros como *Bacillus* y *Pseudomonas*, conocidos por sus propiedades de promoción del crecimiento vegetal y su capacidad para degradar compuestos orgánicos. Este tipo de adaptaciones microbianas puede mejorar la eficiencia del uso de nutrientes y optimizar el crecimiento de las plantas en condiciones más favorables (Figura 4).

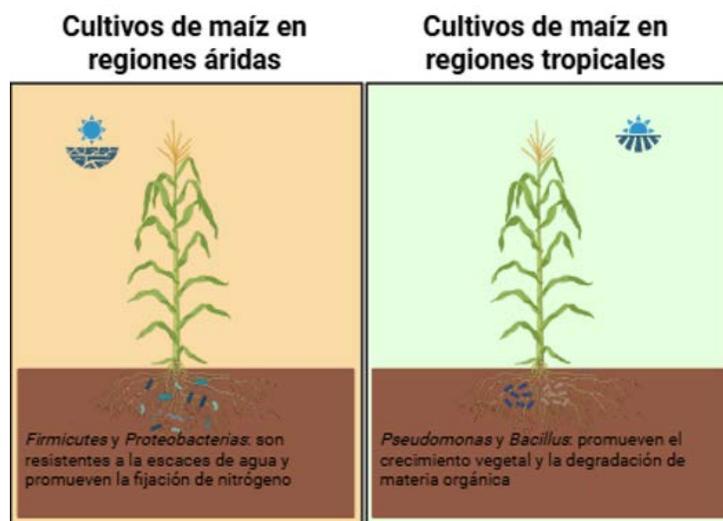


Figura 4. Diferencia en la abundancia de bacterias en relación al ambiente donde se desarrollan los cultivos de maíz.

Estudios recientes también han documentado que la interacción entre los microorganismos y las raíces de maíz afecta directamente la capacidad de la planta para resistir condiciones de estrés. Por ejemplo, la presencia de bacterias del género *Azospirillum* ha sido asociada con una mejor absorción de agua y nutrientes en condiciones de sequía. Este tipo de bacterias también tiene la capacidad de producir señales que estimulan el crecimiento de las raíces, lo que resulta en una mayor capacidad de las plantas para acceder al agua disponible en su entorno.



La rizósfera, es la región del suelo influenciada por las raíces de las plantas y es en dónde se encuentra la mayor diversidad de microorganismos.

Además, un estudio realizado sobre las comunidades bacterianas en la rizósfera de maíz nativo en diferentes regiones de México mostró que las bacterias con capacidad de tolerar condiciones de sequedad, como algunas especies de *Stenotrophomonas*, podrían ser clave para la adaptación del maíz nativo al cambio climático. Finalmente, uno de los ejemplos más sobresalientes en dónde se ha observado el

beneficio y el potencial de los microorganismos asociados a los maíces nativos, es el caso del maíz olotón. El maíz olotón tiene la capacidad de producir un mucílago, en unas raíces especiales llamadas raíces aéreas, en el cual se encontraron bacterias que son capaces de absorber el nitrógeno del aire y usarlo para satisfacer las necesidades del maíz ayudándolos a que puedan crecer en suelos pobres con bajo contenido de nitrógeno. A cambio, en el mucílago que produce el maíz, los microorganismos tienen disponible una gran cantidad de azúcares, los cuáles sirven como *alimento* para que las bacterias, que se encuentran en dichas raíces, continúen con su ciclo de vida.

El uso de la inteligencia artificial en la optimización agrícola

El uso de la IA en la agricultura contribuye al entendimiento de la respuesta al estrés abiótico en los cultivos, al integrar tecnologías para analizar microbiomas, condiciones ambientales y rendimientos en cultivos como el arroz, trigo, cebada, y maíz (Figura 5). Estos estudios han permitido desarrollar modelos predictivos para optimizar el uso de recursos limitantes para los cultivos como el agua y los nutrientes del suelo, y así sostener la productividad en climas adversos.

En el cultivo de arroz se logró mejorar la gestión agrícola y reducir los efectos negativos de la sequía mediante la integración de datos del microbioma y el uso de un algoritmo de bosque aleatorio (*random forest*), para identificar organismos relevantes en distintas etapas de desarrollo en plantas con diferentes niveles de sequía.



De forma similar, mediante el uso de modelos de clasificación basados en máquinas de vectores de soporte se ha logrado predecir 12 variables de la salud, labranza y textura del suelo

a partir de información metagenómica obtenida de amplicones de 16S rRNA. Además, se han utilizado algoritmos de aprendizaje automático, como *extreme random tree*, para analizar nutrientes del suelo y patrones de fertilización que han permitido incrementar cerca de un 24 % el rendimiento promedio de maíz, así como de arroz y soya en niveles similares.

Sin embargo, el estudio conjunto de microbioma, rendimiento y condiciones ambientales en maíces nativos aún son limitados. El uso de IA podría contribuir a optimizar el rendimiento y la resistencia del maíz a diferentes entornos, reforzando la necesidad de estudios que combinen metagenómica con modelos predictivos, como ya se hace en otros cultivos. Así, se impulsa la eficiencia agrícola y la preservación de las variedades nativas, un elemento esencial de la biodiversidad agrícola del país.

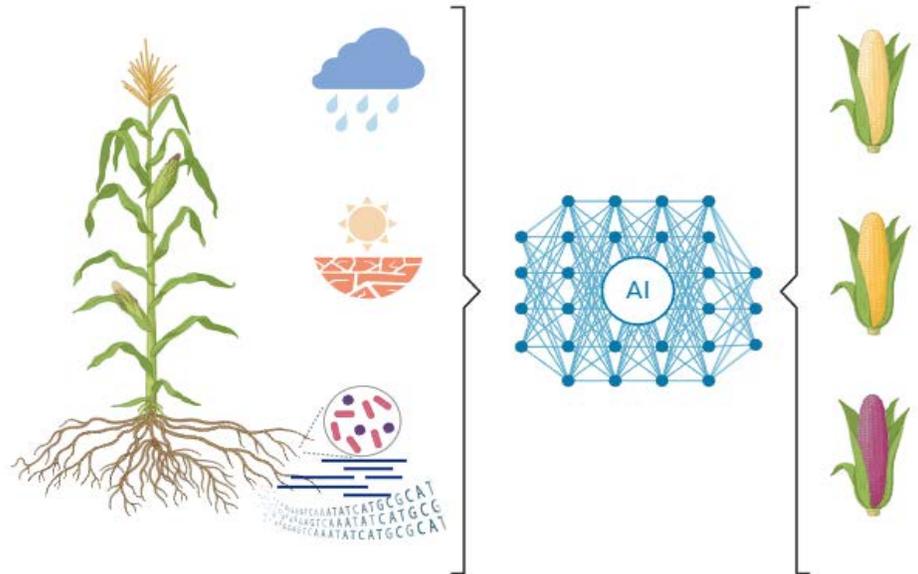
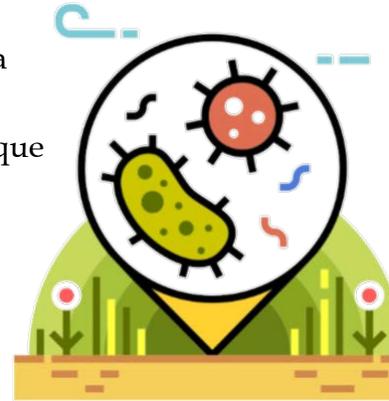


Figura 5. La inteligencia artificial integra datos del microbioma, rendimiento y ambiente para crear modelos predictivos que mejoren la producción de variedades de maíz.



Conclusiones

El microbioma del suelo juega un papel esencial en el desarrollo y adaptación del maíz nativo frente a condiciones ambientales adversas. Comprender las interacciones entre microorganismos y plantas es clave para fortalecer la agricultura sostenible. La diversidad microbiana en suelos asociados al maíz nativo no solo favorece su crecimiento y resistencia al estrés, sino que también representa una oportunidad invaluable para mejorar la productividad agrícola y enfrentar los desafíos del cambio climático. La integración de herramientas como la inteligencia artificial permitirá optimizar el aprovechamiento de estos conocimientos en beneficio de los agricultores y la seguridad alimentaria.



Literatura recomendada

Vásquez-Arroyo, J., López-Astudillo, M., Delgado-Castro, Y., Morales-Martínez, E. M., Blanco-Contreras, E., Zapata-Sifuentes, G., García-de la Peña, C. (2023). Rhizospheric Microbiome of Bacteria in Creole Grain Maize: Impact on Yield Under Agroecological Transition. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 41.
<https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1664>.

Gastélum, G., & Rocha, J. (2020). La milpa como modelo para el estudio de la biodiversidad e interacciones planta-bacteria. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23(1), 1-12.

Masasia, J., Ng'ombe, J. N., & Masasiba, B. (2025). Artificial Intelligence in Agriculture: Current Trends and Innovations.



Semblanzas de autores

Ana Laura Alonso-Nieves. Bióloga por la Universidad de Guadalajara. Realizó la Maestría y Doctorado en Ciencias en la especialidad de Biotecnología de plantas en el CINVESTAV. Actualmente es Profesora-Investigadora de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores. Sus líneas de investigación se enfocan estudiar la tolerancia a estrés abiótico y el microbioma de maíz nativo.

Cynthia Paola Rangel Chávez. Realizó un Doctorado en la especialidad de Biotecnología de plantas por el CINVESTAV. Actualmente es Docente de la carrera de Ingeniería Bioquímica en el Instituto Tecnológico Superior de Irapuato y miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores. Dentro de sus intereses en investigación se encuentra el estudio de los mecanismos de regulación genética y las interacciones ecológicas de diferentes organismos con la finalidad de desarrollar estrategias que ayuden a enfrentar diferentes problemáticas, entre ellas el cambio climático.



J. Noé García-Chávez. Doctor en Biotecnología de Plantas en la Unidad de Genómica Avanzada del CINVESTAV. Es experto en secuenciación de lecturas largas mediante tecnología de nanoporos, análisis de datos multiómicos y aprendizaje automático. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores e Investigadoras. Actualmente se enfoca en el estudio de bacterias relevantes para la agricultura y los recursos hídricos en el Laboratorio de Ciencias Agrogenómica de la UNAM.

Jimena Ortiz Laris. Pasante de la carrera de Ingeniería Química por el Instituto Tecnológico Superior de Irapuato con enfoque e interés en el estudio de microbiomas y sus efectos en el rendimiento de maíz nativo.

José Alfredo Mares Mora. Pasante de la carrera de Ingeniería Química por el Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, con gran interés por la ciencia y la tecnología. Actualmente colabora en EVERCAST-DRAXTON trabajando en la optimización de procesos y mejora continua en la producción de piezas de seguridad forjadas en hierro nodular.

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>



Bacterias Campesinas: Aliadas Naturales de la Agricultura Para Proteger

José Eduardo Vara-Pastrana¹
José Luis Rivera-Corona¹
Sergio de los Santos- Villalobos²
Brenda Román-Ponce^{1*}

¹Universidad Politécnica del Estado de Morelos, Boulevard Cuauhnáhuac 556, Lomas del Texcal, Jiutepec, Morelos, 62550, México.

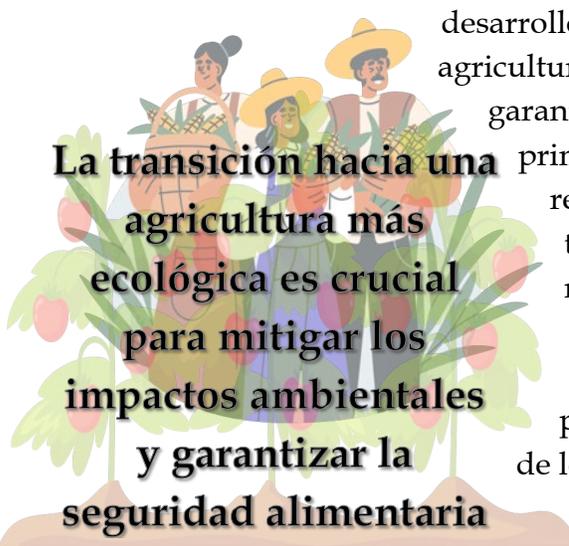
²Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de febrero 818 sur, 85000 Ciudad Obregón, México.

*Autor para correspondencia: Brenda Román-Ponce; E-mail: broman@upemor.edu.mx

El arte de cultivar la tierra ha sido clave para el desarrollo de la humanidad. Los microorganismos desempeñan un papel clave en la conservación de los ecosistemas y el desarrollo de una agricultura sostenible. Estas bacterias mejoran la fertilidad del suelo, facilitando la absorción de nutrientes por las plantas. Además, contribuyen al control natural de plagas y enfermedades, disminuyendo la necesidad de productos químicos. También ayudan en la restauración de suelos degradados y fomentan la biodiversidad al crear un ambiente más equilibrado. Su presencia es fundamental para mantener la salud del suelo y garantizar una producción agrícola más eficiente y ecológica. De esta manera las bacterias campesinas son una solución natural para lograr una agricultura fuerte y en armonía con la naturaleza.

Introducción

La agricultura, conocida como "el arte de cultivar la tierra", ha sido clave para el desarrollo de la humanidad. A lo largo de la historia, la agricultura ha permitido el crecimiento de las civilizaciones al garantizar el suministro de alimentos, fibras y materias primas necesarias para la vida. Además de proveer recursos esenciales, esta actividad ha moldeado culturas, tradiciones y economías en distintas regiones del mundo. Sin embargo, en la actualidad, la agricultura enfrenta diversos desafíos. Por ejemplo, la creciente demanda de alimentos debido al aumento de la población mundial, el cambio climático, la degradación de los suelos y la pérdida de biodiversidad.



La transición hacia una agricultura más ecológica es crucial para mitigar los impactos ambientales y garantizar la seguridad alimentaria



A esto se suma el uso intensivo de agroquímicos, que ha generado impactos negativos en los ecosistemas y en la salud humana. Por otra parte, la sobreexplotación de los recursos naturales y la contaminación de cuerpos de agua también agravan estos problemas, poniendo en riesgo la sostenibilidad agrícola.

Frente a estos desafíos, es urgente desarrollar alternativas sostenibles que permitan producir alimentos de manera eficiente y cuidar el medio ambiente. La transición hacia una agricultura más ecológica es crucial para mitigar los impactos ambientales y garantizar la seguridad alimentaria, la cual se define como garantizar que todas las personas tengan siempre acceso a alimentos suficientes, seguros y nutritivos para llevar una vida saludable. Una de estas soluciones proviene de la propia naturaleza: las bacterias campesinas. Estos organismos microscópicos ayudan a preservar los servicios que nos ofrece la naturaleza y fomentan una agricultura sostenible. Estas bacterias mejoran la fertilidad del suelo, facilitan la absorción de nutrientes por parte de las plantas y ayudan a controlar plagas y enfermedades de manera natural, reduciendo la dependencia de productos químicos. Además, contribuyen a la restauración de suelos degradados y promueven la biodiversidad al crear un ambiente más equilibrado.

Este artículo te invita a descubrir el papel de las bacterias campesinas en la agricultura, su papel para enfrentar los retos actuales y futuros de la producción de alimentos y relación con el cuidado del medio ambiente.

Además, su empleo beneficia a las comunidades rurales, al ofrecer métodos de cultivo más económicos y saludables. De esta manera, las bacterias campesinas son una solución natural para lograr una agricultura fuerte y en armonía con la naturaleza.

La importancia de los ecosistemas y los servicios ecosistémicos

Para entender cómo las bacterias campesinas contribuyen a la agricultura, primero debemos conocer que es el ecosistema, el cual es un conjunto de seres vivos, como plantas, animales y microorganismos, que interactúan entre sí y con su entorno, como el aire, el agua y el suelo. De estas interacciones surgen los servicios ecosistémicos, que son los beneficios que la naturaleza nos brinda para vivir y desarrollarnos.

Las bacterias campesinas mejoran la fertilidad del suelo, facilitan la absorción de nutrientes por parte de las plantas y ayudan a controlar plagas y enfermedades de manera natural





Por ejemplo, los árboles producen oxígeno y purifican el aire, los ríos nos proporcionan agua, y los suelos fértiles permiten cultivar alimentos. Además, los ecosistemas ayudan a regular el clima, controlar plagas y descomponer residuos. También nos ofrecen espacios para disfrutar,

relajarnos y conectar con la naturaleza. Sin estos servicios, la vida humana sería mucho más difícil, ya que dependemos de ellos para satisfacer nuestras necesidades básicas. Los servicios ecosistémicos se organizan en cuatro grandes categorías (Figura 1):

- a) **Servicios de provisión:** son los productos que la naturaleza nos ofrece directamente, como los alimentos que comemos, el agua que bebemos, la madera para construir o las plantas que se usan para hacer medicinas.
- b) **Servicios de regulación:** estos servicios ayudan a mantener el equilibrio del planeta. Incluyen el control natural del clima, la limpieza del aire, la regulación del agua y la protección contra plagas y enfermedades.
- c) **Servicios de soporte:** son los procesos que permiten que la vida exista y prospere. Aquí se incluyen la formación del suelo, el reciclaje de nutrientes y la fotosíntesis, el proceso mediante el cual las plantas producen oxígeno y alimento.
- d) **Servicios culturales:** la naturaleza también nos aporta bienestar emocional y espiritual. Disfrutar de un paseo por el bosque, practicar senderismo, encontrar inspiración en un paisaje o simplemente relajarse en un parque son ejemplos de cómo la naturaleza enriquece nuestras vidas.

Sin embargo, con la expansión de la agricultura industrial y el crecimiento urbano, muchos ecosistemas han sido transformados, afectando gravemente la provisión de estos servicios. La pérdida de biodiversidad y la degradación de los suelos han reducido la capacidad de los ecosistemas para sostener la producción de alimentos y mantener el equilibrio ambiental. Por eso, es esencial proteger y restaurar los ecosistemas, y reconocer el papel fundamental de organismos como las bacterias campesinas en el cuidado de la tierra y la producción sostenible de alimentos.



Servicios ecosistemáticos



Figura 1. Servicios ecosistemáticos, incluyendo **servicios de provisión** (madera, agua, alimentos, plantas medicinales), **servicios de regulación** (control del clima, polinización, control de la erosión, control de plagas), **servicios de soporte** (formación del suelo, fotosíntesis, reciclaje de nutrientes, recursos genéticos) y **servicios culturales** (diversidad cultural, inspiración para pintar un paisaje, disfrutar del senderismo).

La agroecología como respuesta a los desafíos agrícolas

Un ecosistema agrícola diverso es más resistente a enfermedades, plagas y cambios climáticos

La agroecología es una forma de cultivar que imita los procesos naturales. Su objetivo es producir alimentos cuidando el medio ambiente, aprovechando los recursos naturales y reduciendo el uso de químicos. Esta busca aprovechar los procesos naturales para mejorar la fertilidad del suelo, controlar plagas de manera natural y optimizar el uso del agua. En este enfoque, la biodiversidad juega un papel central, ya que un ecosistema agrícola diverso es más resistente a enfermedades, plagas y cambios climáticos. Aunque existen un gran número de prácticas agroecológicas, una de las más importantes es el uso de biofertilizantes y bionoculantes elaborados a partir de microorganismos benéficos, como las bacterias promotoras del crecimiento en plantas (BPCP), nuestras bacterias campesinas, estas bacterias tienen la capacidad de mejorar el crecimiento de las plantas, fortalecer su sistema inmunológico y aumentar la fertilidad del suelo, reduciendo la necesidad de agroquímicos y aumentando la productividad de los cultivos agrícolas.



Las bacterias campesinas: guardianas del suelo y las plantas

Las bacterias campesinas establecen relaciones benéficas con las plantas. La rizosfera, la zona del suelo que rodea las raíces de las plantas, alberga esta clase única de bacterias del suelo que son versátiles, diversas y fascinantes, estas bacterias pueden crecer con o sin oxígeno y pueden o no estar asociadas a los tejidos de la planta.

Estas bacterias benefician a las plantas mediante mecanismos directos, que les facilitan el acceso a los nutrientes necesarios para su desarrollo, como el fósforo, el nitrógeno o el hierro. También pueden producir fitohormonas (hormonas vegetales) y sustancias reguladoras que ayudan al desarrollo de las raíces y protegen a las plantas de microorganismos dañinos que causan enfermedades, además de algunas bacterias pueden descomponer sustancias tóxicas en el suelo, contribuyendo a la biorremediación de suelos contaminados, siendo estos tres últimos los conocidos como mecanismos indirectos.

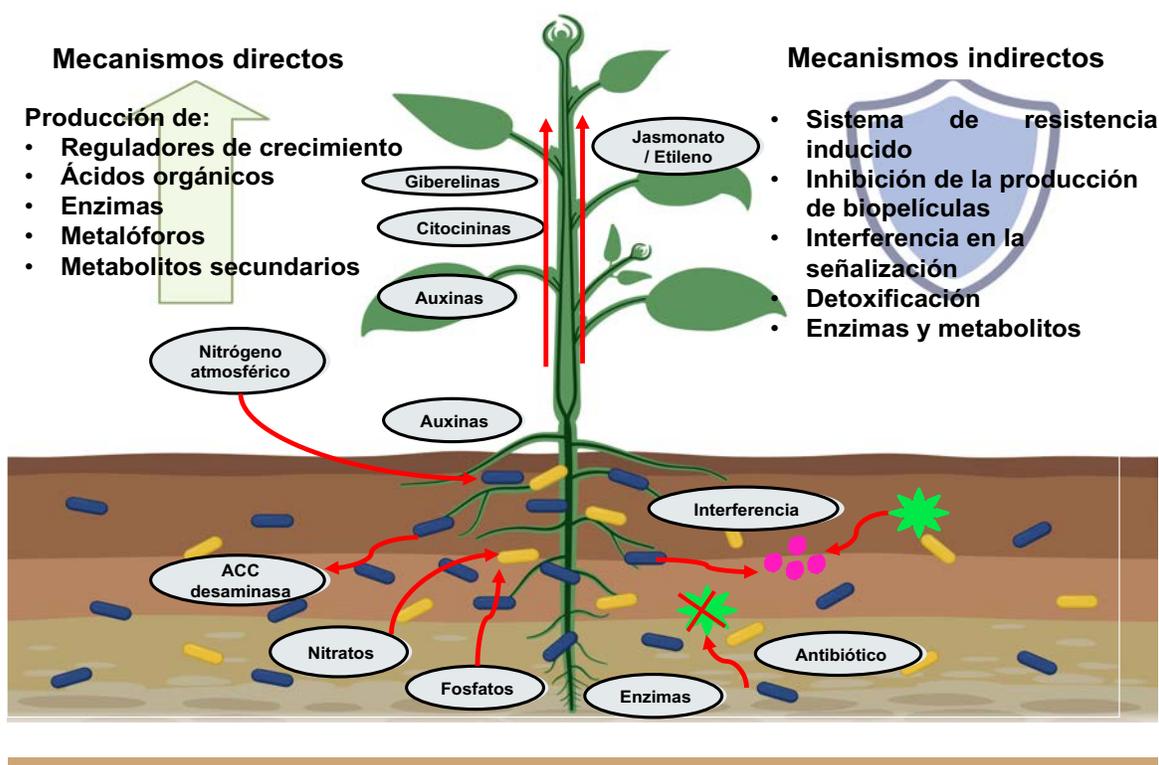


Figura 2. Mecanismos directos e indirectos presentes en las bacterias campesinas (bacterias promotoras de crecimiento vegetal) tomado de Chávez-Díaz et al. 2020.



Beneficios de las bacterias campesinas en los agroecosistemas

El uso de bacterias campesinas en la agricultura tiene múltiples beneficios que impactan positivamente tanto en la producción de alimentos como en la salud de los ecosistemas. Algunos de los beneficios más destacados son, **mejorar la fertilidad del suelo**, debido que aumenta la disponibilidad de nutrientes y mejora la estructura del suelo, incrementa su capacidad de retener agua y soportar el crecimiento de las plantas. Además, incrementan la producción agrícola, los cultivos tratados con bacterias campesinas suelen mostrar un mayor crecimiento, mayor rendimiento y mejor calidad de los productos. Favorecen la **reducción del uso de agroquímicos**, al mejorar la nutrición y la salud de las plantas de manera natural, se disminuye la necesidad de fertilizantes y pesticidas químicos, reduciendo la contaminación del suelo y el agua. Y no menos importante es que participan en la **protección de la biodiversidad**, la reducción de químicos tóxicos y la mejora del suelo favorece la biodiversidad microbiana y de otros organismos beneficiosos.

Los cultivos tratados con bacterias campesinas suelen mostrar un mayor crecimiento, mayor rendimiento y mejor calidad de los productos

Retos y perspectivas del uso de bacterias campesinas

Aunque el potencial de las bacterias campesinas es inmenso, su implementación a gran escala enfrenta varios desafíos. Es necesario continuar investigando para identificar las cepas más efectivas y desarrollar formulaciones estables y de fácil aplicación.

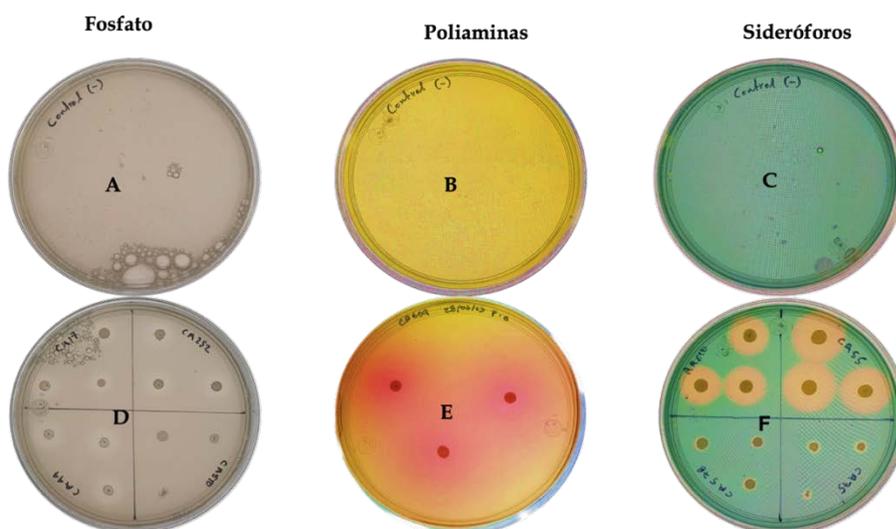


Figura 3. A) Medio de fosfatos, control (-), B) Medio LAD, control (-), C) Medio LB-CAS-AGAR, control (-), D) Medio de fosfatos, prueba en bacterias, E) Medio LAD, prueba en bacterias, F) Medio LB-CAS-AGAR, prueba en bacterias.



Además, se requiere un marco regulatorio que garantice la seguridad y eficacia de estos productos. Otro reto importante es la capacitación de los agricultores. Es fundamental que los productores conozcan los beneficios de las bacterias campesinas y cómo integrarlas correctamente en sus prácticas agrícolas. Esto implica esfuerzos de educación, difusión y acceso a tecnologías. Sin embargo, el mercado de biofertilizantes y bioinoculantes sigue creciendo, lo que abre oportunidades para innovar y desarrollar soluciones sostenibles que respondan a los desafíos ambientales y alimentarios.

Conclusiones

Las bacterias campesinas representan una herramienta poderosa para transformar la agricultura hacia un modelo más sostenible. Su capacidad para mejorar la fertilidad del suelo, aumentar la productividad y proteger el medio ambiente las convierte en aliadas clave en la lucha por la seguridad alimentaria y la conservación de los recursos naturales. Adoptar prácticas agroecológicas y promover el uso de estas bacterias no solo beneficia a los agricultores, sino que también contribuye al bienestar de toda la sociedad y del planeta. Es necesario continuar invirtiendo en investigación, educación y políticas que faciliten su integración en los sistemas agrícolas. El futuro de la agricultura sostenible depende de soluciones innovadoras y respetuosas con el medio ambiente. Las bacterias campesinas nos muestran que la naturaleza misma nos ofrece las herramientas para cultivar un mundo más sano y equilibrado.



Literatura recomendada

Chávez-Díaz, I. F., Zelaya Molina, L. X., Cruz Cárdenas, C. I., Rojas Anaya, E., Ruíz Ramírez, S., & Santos Villalobos, S. D. L. (2020). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro-biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(6), 1423-1436.

De los Santos Villalobos, S., Parra-Cota, F. I., Herrera Sepúlveda, A., Valenzuela-Aragon, B., & Estrada Mora, J. C. (2018). Colmena: colección de microorganismos edáficos y endófitos nativos, para contribuir a la seguridad alimentaria nacional. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(1), 191-202. <http://dx.doi.org/10.29312/remexca.v9 i1.858>

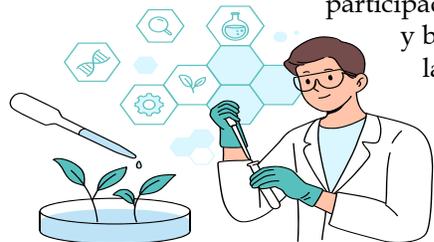
Gouda, S., Kerry, R. G., Das, G., Paramithiotis, S., Shin, H. S., & Patra, J. K. (2018). Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological Research*, 206, 131-140.





Semblanzas de autores

M en C. José Eduardo Vara-Pastrana. Maestro en Ciencias en Biotecnología e Ingeniero en Biotecnología, con un fuerte interés en la agricultura sostenible. Su experiencia abarca el desarrollo de tecnologías biotecnológicas para mejorar la productividad agrícola de manera ecológica. Ha participado en proyectos de innovación enfocados en el uso eficiente de recursos naturales y bioproductos. Su objetivo es contribuir al desarrollo de soluciones sostenibles para la seguridad alimentaria global.



Dr. José Luis Rivera Corona. Doctor en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos. Maestro en Ciencias Bioquímicas y Químico Industrial. Tutor o director de más de 40 tesis y tesinas de las carreras de IBT e ITA en la UPEMOR. Miembro del cuerpo académico "Biotecnología Aplicada". Sus áreas de interés son el desarrollo de materiales biodegradables a partir de mezclas de polímeros naturales o producidos por fermentación bacteriana. Tiene experiencia en el análisis de biomateriales y la reología de sus soluciones.

Dr. Sergio de los Santos Villalobos. Profesor Investigador del Instituto Tecnológico de Sonora. SNII nivel 3. Su equipo transdisciplinario se enfoca en la bioprospección, innovación y validación de inoculantes microbianos. Coordinador Nacional del Grupo de Técnicos y Científicos para la actualización de la NOM-077-FITO-2000, sobre bioinsumos de nutrición vegetal. Miembro del panel de expertos del Organismo Internacional de Energía Atómica, sobre fertilidad en los agroecosistemas. Asesor científico de empresas agro-biotecnológicas. Ha publicado más de 150 artículos indizados, 30 capítulos de libro, 6 libros editados

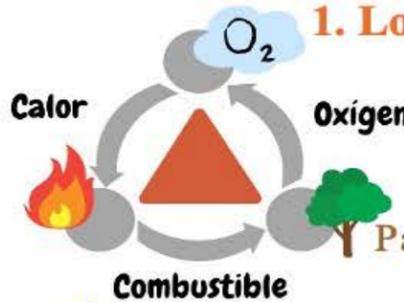
Dra. Brenda Román Ponce. Profesora de Tiempo Completo de la Universidad Politécnica del Estado de Morelos. SNII nivel 1. Desarrolla proyectos relacionados con la descripción taxonómica de nuevas especies bacterianas con potencial biotecnológico mediante el análisis de genomas completos y bacterias endófitas asociadas a diversos cultivos en el Estado de Morelos con potencial aplicación en la producción de biofertilizantes o bioestimulantes con la finalidad de migrar a prácticas agrícolas sustentables y recuperar la soberanía alimentaria nacional. Presidenta de la Sociedad Mexicana de Taxonomía Microbiana.





LOS INCENDIOS FORESTALES CAUSAN CAMBIOS EN EL SUELO

1. Los incendios forestales...



Suceden cuando el fuego se extiende de manera descontrolada y afecta los bosques, las selvas, o la vegetación de zonas áridas y semiáridas. Para que se produzcan se requieren tres elementos: calor, oxígeno y combustible.

El 99% de los incendios se inician por actividades humanas como fogatas mal apagadas y la quema de residuos de los cultivos.

2. Tipos de incendios forestales

Superficial Subterráneo Copa



← Severidad del fuego →

La severidad del fuego se define como la magnitud del efecto que provoca el incendio en el suelo y la vegetación. Los incendios de alta severidad suelen causar mayores cambios en el suelo.

3. Pueden ser benéficos o perjudiciales

La recuperación del ecosistema y de las propiedades del suelo dependen de la severidad del incendio, el tipo de vegetación, la temperatura que se alcance en el suelo y factores abióticos como el relieve y el clima.

4. Los cambios en las propiedades del suelo post-incendio...

En general el fuego afecta los primeros 10 cm de la superficie del suelo y de forma heterogénea en todos los ecosistemas. Sin embargo, los cambios más frecuentes son:

- Pérdida de la estabilidad de los agregados**
Al calcinarse la materia orgánica (principal floculante del suelo) los agregados pierden estabilidad.
- Erosión y disminución de la infiltración del agua**
El aporte de cenizas suele producir hidrofobicidad resultado del taponamiento de los poros, generando reducción de la infiltración del agua y mayor susceptibilidad a la erosión.
- Cambios en el pH**
el pH tiende a ser alcalino e incrementa la concentración de cationes como Ca^{2+} y Mg^{2+} .
- Disminución de la actividad biológica**
Pérdida del hábitat de microorganismos como hongos y bacterias, así como de la meso y microfauna del suelo.



Gabriel Alejandro Hernández Vallecillo y
Sandra Monserrat Barragán Maravilla



Los incendios forestales causan cambios en el suelo

Gabriel Alejandro Hernández-Vallecillo*
Sandra Monserrat Barragán-Maravilla

Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.

*Autor para correspondencia: gabovalle16@gmail.com/

Literatura recomendada

- Comisión Nacional Forestal. (2010). Incendios Forestales. Guía práctica para comunicadores. Tercera Edición. Zapopán, Jalisco. 56p.
- Elakiya, N., Keerthana, G., & Safiya, S. (2023). Effects of Forest Fire on Soil Properties. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(20): 8-17.
- Francos, M., Úbeda, X., Pereira, P., & Alcañiz, M. (2018). Long-term impact of wildfire on soils exposed to different fire severities. A case study in Cadiretes Massif (NE Iberian Peninsula). *Science of the Total Environment*, 615, 664–671.
- Juárez-Orozco, S. M., Correa-Metrio, A., & Siebe, C. (2024). Microtopographic effect on soil temperature during a burn by shifting cultivation in a tropical rain forest. *Catena*, 245, 108294.

| Sección III: La Arcilla |

Semblanzas de autores

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

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





¿Sustancias húmicas o moléculas pequeñas?

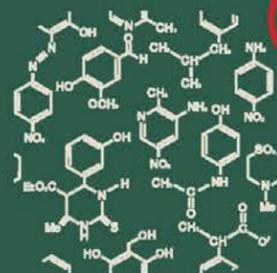
Bruno Chávez-Vergara

Durante décadas, se creyó que la formación de las sustancias húmicas era la única ruta para evitar que se descompusiera la materia orgánica del suelo
 ¡La ciencia revela que esto es un mito!

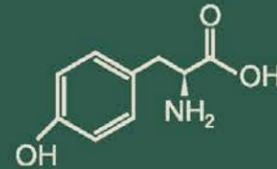
Estructura química

“El concepto de sustancias húmicas como polímeros estables es insostenible. La materia orgánica del suelo es un sistema dinámico de moléculas pequeñas (Lehman y Kleber, 2015)”

Sustancias húmicas



Moléculas pequeñas



- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Formados por reacciones espontáneas. • Alto peso molecular • Estabilidad por complejidad química. | <ul style="list-style-type: none"> • Producidas por plantas y microorganismos. • Bajo peso molecular. • Estabilidad por interacciones con los minerales del suelo. |
|---|---|

Evidencia de su existencia

“No hay evidencia espectroscópica o termodinámica que respalde la existencia de sustancias húmicas en suelos intactos (Schmidt et al., 2011)”

Sustancias húmicas



Moléculas pequeñas



- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Sólo observables mediante extracción en condiciones químicas poco probables en los suelos. • Los cambios de pH pueden ser la causa de la formación de grandes polímeros. | <ul style="list-style-type: none"> • Observables en suelos inalterados. • Múltiples evidencias (espectroscópicas y termodinámicas). |
|---|---|

Implicaciones prácticas de la estabilización de moléculas pequeñas

“El secuestro de carbono en suelos depende de la formación de complejos organo-minerales -con moléculas pequeñas-, no de acumular humus (Cotrufo et al., 2019)”

- Añadir residuos frescos es muy importante.
- Los microorganismos son clave.
- El secuestro de carbono depende de los agregados y la unión con los minerales.



Conclusión

El suelo no es un cementerio de grandes polímeros, sino un ecosistema vibrante donde moléculas pequeñas, microbios y minerales interactúan de forma dinámica





¿Sustancias húmicas o moléculas pequeñas?

Bruno M. Chávez Vergara*

Laboratorio de Biogeoquímica y Materia Orgánica del Suelo, Instituto de Geología, UNAM.

Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía.

*Autor para correspondencia: chavezvb@geologia.unam.mx

Literatura recomendada

- Lehmann, J., and M. Kleber. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature* 528,60-68. <http://doi.org/10.1038/nature16069>.
- Schmidt, M. W. I., et al. (2011). Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature* 478,49-56. <http://doi.org/10.1038/nature10386>.
- Cotrufo, M. F., et al. (2019). Soil carbon storage informed by particulate and mineral-associated organic matter. *Nature Geoscience* 12,989-994. <http://doi.org/10.1038/s41561-019-0484-6>.

Semblanzas de autores

Bruno M. Chávez Vergara. Biólogo por la UAM-Xochimilco, Maestro y Doctor en Ciencias por la UNAM. Investigador Titular y responsable académico del Laboratorio de Biogeoquímica y Materia Orgánica del Suelo del Instituto de Geología, UNAM. Especialista en biogeoquímica y materia orgánica en suelos naturales, manejados y tecnogénicos.





“Al nopal, agárrelo sin miedo, para que no se espine”

Verónica Elizabeth Niño-Villanueva¹
Rosalinda Mendoza-Villarreal^{2*}
Valentín Robledo Torres²

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

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

*Autor para correspondencia: rosalinda.mendoza@uaaan.edu.mx

El nopal, ¡una planta maravillosa!, es parte de la identidad de México. Representante destacado de nuestra vegetación que además ayuda al medio ambiente al aprovechar el agua de forma eficiente, porque puede obtenerla y almacenarla en sus pencas. Es un cultivo muy resistente, podemos aprovecharlo en regiones donde el agua es escasa, ya que requiere poco riego. Ahora bien, para mejorar el suelo donde se plantan los nopales es recomendable añadir estiércol que genera el ganado bovino o caprino, el cual se convertirá en materia orgánica, que requieren las bacterias benéficas que dejan disponible los elementos minerales para que se absorben por las raíces las cuales se desarrollan para encontrar los nutrientes que requiere el nopal. Y cuando los microorganismos benéficos no están presentes en cantidad suficiente, se pueden añadir en el agua de riego para producir los nutrientes que requiere el cultivo o también se pueden aplicar al suelo como biofertilizantes. Finalmente, cuando consumimos nopalitos estamos ingiriendo azúcares solubles, fibra, vitaminas, minerales antioxidantes y mucílago. Así el nopal no sólo llena nuestros platos, sino que también protege la tierra y forma parte de nuestras tradiciones culinarias.

Introducción

Vamos a recordar ¿Cuándo conocimos los nopales? ¿dónde los vemos todos los días?, pues en uno de nuestros símbolos patrios: en el Escudo Nacional; ¿conoces su historia?, demos un repaso a nuestras primeras enseñanzas sobre Ciencias Sociales y la historia de México, un pequeño viaje al pasado: los historiadores relatan que la Gran Tenochtitlán fue

“Los nopalitos son un tesoro nutritivo, llenos de azúcares, proteínas, vitaminas y minerales”.





fundada en el lugar donde el pueblo mexica encontró un águila parada sobre un nopal, devorando una serpiente, para los mexicas el cultivo era una planta sagrada, desde entonces ha sido un pilar en nuestra cultura. Desde entonces, ha sido un símbolo de resistencia y abundancia, reflejando el espíritu de quienes habitamos tierras áridas: ¡nos enseñó a sobrevivir y a prosperar, aun en los entornos más desafiantes!

Y en nuestra alimentación, ¿qué tiene de especial el nopal? ¡Mucho! Los nopalitos son un tesoro nutritivo, llenos de azúcares, proteínas, vitaminas y minerales.

Este vegetal, con sus tiernas pencas verdes, es ideal para quienes buscan cuidar su salud sin renunciar a los sabores tradicionales. Aunque parece modesto, el nopal es bajo en calorías, pero está lleno de fibra que te ayuda a mantener la sensación de saciedad y a cuidar tu digestión, ayuda a la pancita a trabajar bien. También contiene vitaminas esenciales como la A, que protege la vista; la C, que refuerza las defensas, es como un escudo que protege a tu cuerpo de los resfriados; y algunas del complejo B, que te llenan de energía. ¿Y los minerales?

Calcio para huesos fuertes, magnesio para tus músculos y potasio para un corazón sano.

Incluir los nopalitos en nuestra dieta es una forma deliciosa de cuidar nuestra salud.

Desarrollo

Yo también me acerqué al nopal buscando un cultivo que no necesitara mucha agua, ideal para mi región, donde la lluvia es escasa. Aquí, en el desierto Chihuahuense en el norte de México, las plantas como el maguey, los cactus y, claro, el nopal, están adaptadas para sobrevivir con poca agua. Las cactáceas, como el nopal, son expertas en aprovechar cada gota de agua disponible en estos climas tan secos.

Fue entonces cuando conocí a Don Antonio, un agricultor de más de 80 años que dedicó gran parte de su vida al cultivo de nopal verdura, en su rancho tenía varias melgas, me platicaba que cosechaba bastante y lo traía a la ciudad para venderlo, como nopalito, fresco y en cuadritos.

Con ese ánimo, empecé mi aventura con los nopales. Con su sabiduría, me dijo: “No les tengas miedo, háblales con cariño para que no te espines”.

“Las plantas como el nopal están adaptadas a sobrevivir con poca agua”.

“Su sistema radicular es superficial pero ampliamente ramificado”.



¿Y qué hacer cuando tienes tus primeras pencas de nopal? ¿Cómo se plantan? ¡Te lo cuento! Primero, prepara el suelo (Figura 1.): debe estar suelto y enriquecido con estiércol, que aporta los nutrientes esenciales para el crecimiento del nopal. ¿Recuerdas algo de Ciencias Naturales? La vida está hecha de unos pocos elementos especiales, como carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre. Con estos elementos se forman las biomoléculas que construyen todo ser vivo. Estos elementos vuelven al suelo y ayudan a las plantas a crecer.

Las raíces del nopal tienen características fantásticas que lo distinguen de otros cultivos y lo convierten en una planta excepcional para crecer en condiciones adversas, su sistema radicular es superficial pero ampliamente ramificado, lo que le permite aprovechar la mínima cantidad de agua disponible en el suelo, cuando encuentran humedad a mayor profundidad, desarrollan raíces más largas y resistentes para acceder a esa agua valiosa, tienen una capacidad única para "despertar" en respuesta a la lluvia: si el suelo permanece seco por mucho tiempo, las raíces reducen su actividad, pero tras la llegada del agua, vuelven a crecer rápidamente, como si hubieran estado esperando el momento perfecto.



Figura 1. Suelo de la localidad de La Encantada, región semiárida en el municipio Saltillo, Coahuila, México. (Fuente: Autoría propia, 2024).

“Cuando llueve les crecen raicillas secundarias que les permiten absorber más agua y almacenarla gracias a una sustancia gelatinosa llamada mucílago”.

Además, podemos añadir al suelo bacterias benéficas. ¿Qué hacen estas bacterias? Trabajan en equipo con las raíces del nopal: capturan el nitrógeno y lo transforman en proteínas, ayudan a que la planta absorba fósforo, mejoran la tierra para que las raíces crezcan fuertes y, además, protegen al nopal de microorganismos que podrían enfermarlo. ¡Son como guardianes invisibles que cuidan nuestras plantas!.

¿Cuándo es el mejor momento para plantar? Después del frío invernal, en marzo o abril, cuando el clima se vuelve más cálido. Y para plantar, necesitamos algo de matemáticas: enterramos un tercio de la penca y

dejamos unos 30 cm entre cada una y 40 cm entre hileras.



Así se logra una buena densidad de siembra: nueve pencas por metro cuadrado (Figura 2).

La luz del sol también es fundamental. Colocamos las pencas de este a oeste para que reciban luz en ambos lados, facilitando la fotosíntesis, el proceso que permite a las plantas transformar la luz en azúcares. ¡Incluso, al desenterrar una penca después de dos semanas de plantada, verás raíces de hasta 10 cm!

¿Y el agua? ¡Aquí es donde el nopal muestra su magia! Sólo necesita unos 20 litros por metro cuadrado cada 15 días. Además, cuando llueve les crecen raicillas secundarias que les permiten absorber más agua y almacenarla gracias a una sustancia gelatinosa llamada mucílago. Durante la temporada de lluvias, podemos aprovechar el agua de las nubes y sólo hacer surcos para guiarla hacia la parcela

¿Y cuándo podemos cosechar los primeros nopalitos? En un mes después de la plantación verás brotes rojos (Figura 3) que irán creciendo, luego de unas tres semanas se convierten en nopalitos listos para cortar. Para mantener una nopalera saludable, es importante limpiar la maleza que crece alrededor, ya que compite por agua, luz y nutrientes.



Figura 2. Densidad de siembra: nueve pencas por m². Cladodios tiernos de la parcela ubicada en La Encantada, municipio de Saltillo, Coahuila, México. (Fuente: Autoría propia, 2024).



Figura 3. Brote de nopal verdura en penca, La Encantada, Saltillo, Coahuila, México. (Fuente: Autoría propia, 2024).

“Preparamos el suelo: debe estar suelto y enriquecido con estiércol, que aporta nutrientes esenciales”.



“Colocamos las pencas de este a oeste para que reciban luz en ambos lados”.



¿Y cómo disfrutar los nopalitos? Pues, para resolver esta gran duda, fui a visitar a mi mejor amiga. Ella siempre tiene ideas geniales, y esta vez no fue la excepción. Me propuso algo creativo: cortamos en tiras (Figura 4.) y luego les ponemos chilito en polvo con sal o, si prefieres algo dulce, ¡un poquito de azúcar! “



Figura 4. Cladodios tiernos de nopal verdura, lavados y desespinaados, cortados en tiras. (Fuente: Autoría propia, 2024).

¿Qué tal si los ponemos al sol para que se deshidraten? Así tendríamos un bocadillo saludable y lleno de sabor”. Pero, si dejamos los nopalitos deshidratados tal cual, podemos molerlos en la licuadora hasta que se hagan polvo y obtener harina de nopal, la cual se puede mezclar con masa de nixtamal (Figura 5.) para preparar “tortillas bien especiales con más nutrientes!

Y eso no fue todo. “También podemos hacer mermelada”, me dijo con una sonrisa. Sólo necesitamos azúcar morena y un poco de paciencia para cocerlos, ¡y listo! Una mermelada de nopal deliciosa.

A mi amiga realmente no se le escapa nada. También me recordó que hay muchas maneras más de preparar nopalitos. Por ejemplo, se pueden agregar a una ensalada fresca, asarlos en el comal o en la parrilla para que queden con un toque ahumado, o cocinarlos con chile cascabel y huevo. ¡Ah, y no olvidemos la forma tradicional! Aquí en México, especialmente en Semana Santa, nos encantan los nopalitos con chile cascabel y cebollita.

Después de escuchar todas estas ideas, me quedé pensando en cuanto se puede hacer con el nopal. Al final, me fui a casa con muchas ganas de probar cada una de las recetas que me compartió. ¡Los nopalitos realmente son una maravilla!

“Podemos añadir al suelo bacterias benéficas”.



Aquí les comparto las recetas:

Nopal deshidratado:

Corta los nopalitos desde la base, los llevas a tu cocina para lavarlos y desespinarlos, luego los cortas a lo largo que sean de un centímetro de ancho ya que al deshidratarlo quedarán muy delgados. Déjalos secar al sol hasta que estén bien deshidratados. Puedes comerlos así, o añade chile en polvo y sal, o incluso un toque de azúcar con chile, si prefieres algo dulce.

Mermelada de nopal:

El procedimiento es similar al del nopal deshidratado (cortar nopalitos, lavarlos, y desespinarlos), después se cortan en tiras, las cuales se vacían en una sartén y se agrega agua hasta cubrirlos, entonces se coloca la sartén en estufa a fuego medio hasta que se ablanden y cambien de color, retira el agua, luego licúalos, vuelve a cocinarlos a fuego lento y añade azúcar (300 gramos por cada kilogramo de nopal). Cocina hasta que espese y guarda la mezcla en un frasco esterilizado con alcohol o esteriliza en baño de maría para que se conserve más tiempo la mermelada. ¡Una delicia dulce y diferente!



Figura 5. Tortillas de maíz con 10% de harina de nopal verdura. (Fuente: Autoría propia, 2024).

Conclusiones

El nopal más que una planta, es un tesoro mexicano que nutre y cuida la tierra. Gracias a su resistencia y a la ayuda de bacterias amigas en el suelo, crece fuerte sin necesitar mucha agua. Es un símbolo de vida que sigue acompañándonos generación tras generación.

Así que, ¿te animas a conocer más sobre el nopal? Esta planta tiene mucho que enseñarnos: desde su historia hasta los secretos para cultivarla. ¡Y cada nopalito que cosechamos es un pedacito de México que llevamos a la mesa!



Literatura recomendada

Aguilar, C. N.; Rodríguez, H. R.; Saucedo, P. S. y Jasso, C. D. (2008). Fitoquímicos Sobresalientes del Semidesierto Mexicano: de la planta a los químicos naturales y a la biotecnología. Ed. Path Design Saltillo, Coahuila, México. 579 p.

Bensadón, S.; Hervert-Hernández, D.; Sáyago-Ayerdi, S. G. and Goñi, I. (2010). By-products of *Opuntia ficus-indica* as a source of antioxidant dietary fiber. *Plant Food Hum. Nutr.* 65:210-216.

Feugang, J. M.; Konarski, P.; Zou, D.; Stintzing, F. C. and Zou, C. (2006). Nutritional and medicinal use of cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Front. Biosci.* 11:2574-2589.

Semblanzas de autores

M.C. Verónica Elizabeth Niño-Villanueva. Estudiante de Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Sede Saltillo. Líneas de investigación: Identificación Molecular de Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal y su Aplicación en Cultivos Hortícolas.



Dra. Rosalinda Mendoza-Villarreal. Profesora-Investigadora del Departamento de Horticultura; jefa del Programa Docente de la Maestría en Ciencias en Horticultura de la Subdirección de Postgrado de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, sede Saltillo. Miembro del SNII I. Conduce investigación en: Producción Hortícola Sustentable. Biofertilizantes

Dr. Valentín Robledo-Torres. Profesor-Investigador del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, sede Saltillo. Miembro del SNII I. Conduce investigación en: Producción Hortícola Sustentable. Mejoramiento Genético de Cultivos Hortícolas.

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





Conociendo el maravilloso mundo de las microalgas

José Antonio Huertos-Ramírez^{1*}
Marcia Morales-Ibarría²
Ana Fernanda García-Rodríguez³
Susana González-Morales⁴

¹Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Saltillo, Coahuila, México, C.P. 25350.

²Departamento de de Procesos y Tecnología. Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa, Av. Vasco de Quiroga 4871, Santa Fe Cuajimalpa, Cd. de México, México, C.P.05348.

³Estudiante de Ingeniería Biológica. Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa, Av. Vasco de Quiroga 4871, Santa Fe Cuajimalpa, Cd. de México, México, C.P.05348.

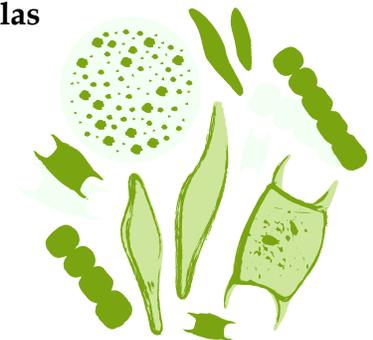
⁴SECIHTI- Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Saltillo, Coahuila, México, C.P. 25350.

*Autor de correspondencia. J.A. Huertos-Ramírez, Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Calzada Antonio Narro 1923, Saltillo, Coahuila, México, C.P. 25350. Tel.: +52 341 150 9346. E-mail: jose.huertos@cua.uam.mx

Las microalgas se encuentran presentes en nuestra vida diaria, aunque nosotros no las observemos están ahí, y son capaces de cumplir funciones más allá de nuestra imaginación. Es necesario conocer su fascinante existencia y las funciones que desempeñan en la mejora de los ecosistemas, para así dar paso una agricultura más sostenible y amigable con el medio ambiente.

Introducción

En los lugares más sorprendentes e inhóspitos del planeta, como los océanos, ríos, lagunas e incluso el suelo que pisamos todos los días, viven microorganismos verdaderamente fascinantes. Aunque son muy pequeños, y se requiere la ayuda de un microscopio para verlos, están presentes en casi todos los lugares, hablamos de las microalgas. Estas pueden parecer invisibles para nosotros, pero juegan un papel muy importante para la vida en la Tierra.





Las microalgas son más eficientes en la producción del oxígeno que las plantas y árboles, a pesar de su diminuto tamaño, son importantes para mitigar los efectos del cambio climático

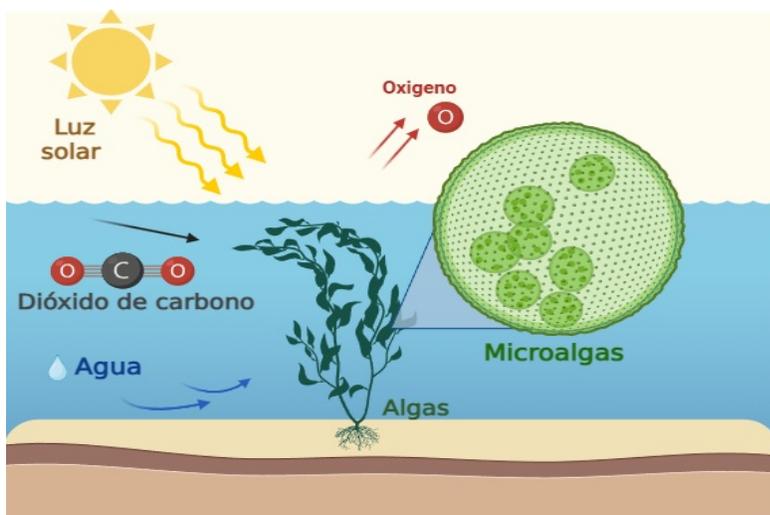
En alguno de tus viajes de vacaciones a la playa quizá te las has encontrado, pero no debes confundirlas con algunas de sus “primas”, las macroalgas. Pues a diferencia de sus primas, no necesitas viajar al mar para poder verlas, de hecho, están mucho más cerca de nosotros de lo que piensas. Las podemos encontrar en casi cualquier lugar al que vayamos, incluso hasta en los charcos de agua que puedas encontrar en casa. Ellas están allí, trabajando silenciosamente para limpiar el aire, agua y producir oxígeno, además, sirven como alimento para otros organismos.

Así que, la próxima vez que estés en la playa, o cerca de un río o simplemente caminando, recuerda que, aunque no las veas, están allí, esperando a ser descubiertas.

Desarrollo

¿Qué son las microalgas?

Son pequeños microorganismos que pueden medir de 2 a 200 micrómetros (μm), los podemos encontrar tanto en el agua, como en la tierra. Al igual que las plantas las microalgas hacen fotosíntesis, lo que significa que toman la luz del sol y el dióxido de carbono para transformarlo en materia orgánica y en oxígeno (Fig. 1).



Las microalgas son más eficientes en la producción del oxígeno que las plantas y árboles, a pesar de su diminuto tamaño, son importantes para mitigar los efectos del cambio climático, pudiendo considerar a las microalgas como aliadas para reducir considerablemente la contaminación del planeta.

Figura 1. Proceso de fotosíntesis por parte de las microalgas.



¿Cuántos tipos de microalgas existen?

Existen muchos tipos de microalgas en el mundo pudiéndolas encontrar en todo tipo de ambientes, aunque todas son muy pequeñas, tienen formas y características diferentes que las hacen únicas. Algunas de las más comunes y utilizadas son *Chlorella*, *Spirulina* y *Dunaliella* (Fig. 2).

Aunque todas son muy pequeñas, tienen formas y características diferentes que las hacen únicas.

Chlorella: es de color verde, es usada como suplemento alimenticio, por el alto contenido de vitaminas y minerales.

Spirulina: presenta un color azul-verde y es utilizada también como suplemento nutricional por su alto contenido de proteínas y colorante en diversos alimentos.

Dunaliella: está presente en aguas saladas, tiene un alto contenido de betacarotenos, que son buenos para la piel y la vista, además es utilizada en cosméticos y en la producción de suplementos alimenticios.

A pesar de que existe un gran número de microalgas, estas tres son algunas de las más conocidas comercialmente y utilizadas por su capacidad de crecimiento y su alto contenido de nutrientes que las han convertido en una alternativa valiosa en los sectores de alimentos, medicina y otros campos importantes para los seres humanos.

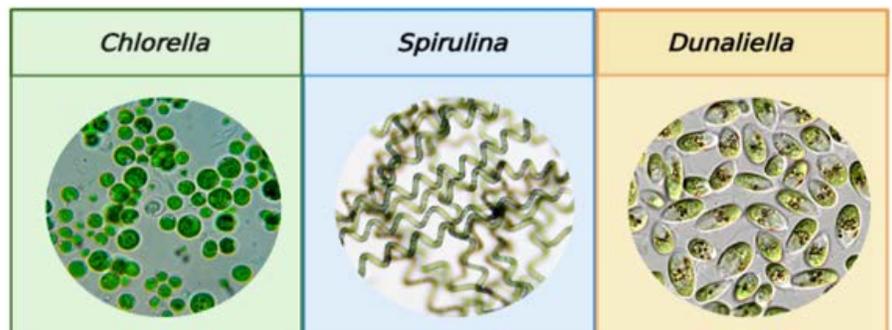


Figura 2. Microalgas más utilizadas y conocidas.

Dentro de las aplicaciones ambientales y agronómicas, las microalgas pueden ser usadas en diferentes áreas como:

Uso de microalgas para el tratamiento del agua

Son muy importantes, debido a que son muy útiles para el tratamiento de aguas residuales de comunidades rurales y de pequeñas ciudades. Dentro de sus bondades pueden absorber contaminantes en el agua como el plomo, el dióxido de carbono, el cadmio y otros metales pesados. Lo que es especialmente útil, ayudando a limpiar de una manera más eficiente y en menor tiempo el agua contaminada.



Entre sus bondades pueden absorber contaminantes en el agua como el plomo, el dióxido de carbono, el cadmio y otros metales pesados

Ya que es importante purificar el agua antes de ser utilizada en campos de riego o ser devuelta en ríos y mares, siendo así una opción natural y sostenible, en comparación a otros métodos que requieren el uso de productos químicos costosos o tecnologías complejas.

Microalgas para la mejora de los suelos

Son grandes aliadas para la mejora del suelo, presentando así, una solución muy efectiva y natural para mejorar la calidad del suelo en el cual crecen las plantas y viven una gran cantidad de organismos. Al agregarlas al suelo se puede aumentar el contenido de materia orgánica y la actividad de los organismos del suelo. Ayudando así a que éste sea más fértil, lo que se traduce en un mejor crecimiento de las plantas. Además, las microalgas son ricas en nutrientes como el nitrógeno, el fósforo y el potasio, que son esenciales para el crecimiento y el desarrollo de las plantas. Si mezclamos a las microalgas con el suelo, los nutrientes se liberan de una manera más lenta, lo que permitirá que las plantas absorban de manera más controlada. Lo que ayuda a estimular el desarrollo y esto es especialmente importante en suelos degradados o pobres de nutrientes, donde las plantas tienen problemas para crecer. Además del aporte de nutrientes que se obtienen de las microalgas también mejoran la estructura del suelo, debido que al mezclarse con la tierra aumentan su capacidad para retener agua y mejoran la aeración. Lo que es crucial para el desarrollo de las raíces de las plantas, ayudando además a que las plantas crezcan de una manera más fuertes, vigorosas y saludables, especialmente en zonas donde el suelo es muy seco o arenoso. Las microalgas son una opción más ecológica, a diferencia de los productos químicos, debido que el uso de las microalgas no contamina el medio ambiente y son completamente biodegradables, promoviendo así a una agricultura más sostenible y amigable con el medio ambiente.



Además del aporte de nutrientes que se obtienen de las microalgas también mejoran la estructura del suelo, debido que al mezclarse con la tierra aumentan su capacidad para retener agua y mejoran la aeración

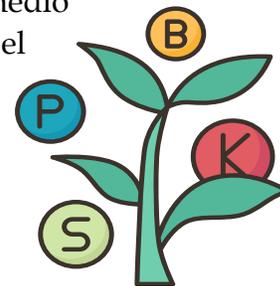


Microalgas como biofertilizantes



Otra de las formas en la que nosotros podemos emplear las microalgas es utilizándolas como un biofertilizante para nuestras plantas. Estas se encargarán de proporcionarles alimento, ¿pero sabes por qué?, te explico, un biofertilizante es un producto que ayuda a las plantas a crecer más fuertes y saludables, disminuyendo así el uso de fertilizantes químicos. Los biofertilizantes son una fuente de nutrientes que nos ayuda a cuidar al medio ambiente. Estos aportarán a las plantas nutrientes esenciales, como lo es el nitrógeno, fósforo, potasio y aminoácidos, que son muy importantes para el crecimiento y desarrollo.

¿Sabes cómo las podemos aplicar?, te explico, las microalgas se pueden agregar directamente al suelo o con la ayuda de un atomizador aplicándolas a las hojas de las plantas, proporcionando estos nutrientes de una manera natural.



Microalgas como biopesticida

Las microalgas no solo aportan nutrientes a las plantas, sino que también pueden ayudar a combatir bacterias, hongos e incluso insectos, los cuales generan mucho daño a las plantas. Pero al aplicar las microalgas, podemos disminuir las poblaciones de éstos, debido que cuentan con una gran cantidad de compuestos naturales, los cuales actúan como una fungicidas, bactericidas e incluso insecticidas, capaces de contrarlar o eliminar sin necesidad de emplear pesticidas sintéticos. Los cuales contaminan de gran manera al medio ambiente y pueden causar daños a nuestra salud por el consumo de estos sin nosotros saberlo.

El uso de microalgas como biopesticidas es una alternativa más sana y segura, tanto para que nosotros al momento de aplicarlas, como para proteger al ecosistema. Otro de los grandes beneficios de utilizar microalgas es que son biodegradables, eso quiere decir que, una vez cumplida su misión de proteger a las plantas, no nos harán daño al consumirlas.

Retos y perspectivas del uso de microalgas

A pesar de su potencial por sus diversos usos, la aplicación de las microalgas tiene grandes retos por delante, debido a que se pueden utilizar en múltiples campos de la ciencia y la tecnología, beneficiándonos considerablemente. Uno de los grandes problemas que aún se presenta es poder concientizar a la sociedad que las microalgas no son malas, sino, que son nuestras grandes aliadas para enfrentar los problemas causados por el calentamiento global.





Además, hace falta el desarrollo de tecnologías para su producción a gran escala. Esto es debido que las microalgas a pesar de crecer de manera muy acelerada presentan problemas, debido que necesita condiciones específicas para poder crecer. Además, se necesitan instalaciones adecuadas para su producción, así mismo, disminuir los costos que pueden ser muy elevados, dejando así una gran ventana para los científicos en la búsqueda de encontrar formas más eficientes y baratas para la producción de microalgas.

A pesar de estos desafíos, las perspectivas para el uso de microalgas son muy prometedoras. Además, cada vez más personas están interesadas en soluciones ecológicas para problemas como la contaminación o el cambio climático, lo que aumenta el interés en las microalgas como una alternativa sostenible, para la producción de energías limpias, el tratamiento del agua residual, como biopesticida y en la mejora de suelos agrícolas (Fig. 3).



Figura 3. Principales aplicaciones de las microalgas.

Conclusión

Este texto nos invita a conocer las bondades de las microalgas, que a pesar de que no podemos verlas a simple vista, están a nuestro alrededor, desde el agua hasta el



suelo, trabajando silenciosamente para mejorar nuestro entorno, produciendo oxígeno y ayudando a reducir la contaminación. Para su utilización aún se presentan grandes desafíos que necesitamos superar, pero a pesar de estas dificultades que se encuentren en el camino, las microalgas mostrarán su gran potencial y serán claves para mejorar la vida de las personas y del planeta.



Literatura recomendada

Sartori, R.B., Padrón, R.A.R., & Mérida, L.G.R. (2023). Current status of the microalgae application in agriculture and aquaculture. In: *Microalgae-Current and Potential Applications*. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.1002278

Hernández-Pérez, A., & Labbé, José I. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 49(2), 157-173. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572014000200001>

Sangeetha, J., Codreanu, S., & Thangadurai, D. (2023). *Microalgal Biotechnology: Bioprospecting Microalgae for Functional Metabolites towards Commercial and Sustainable Applications* (1st ed.). Apple Academic Press. <https://doi.org/10.1201/9781003332251>



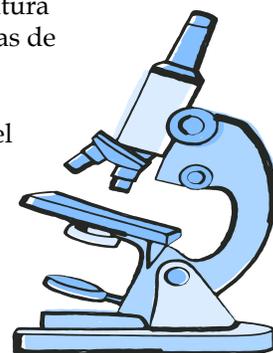
Semblanzas de autores

M. en C. José Antonio Huertos Ramírez. Estudiante de doctorado en ciencias en agricultura protegida en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Sus líneas de investigación se centran en la aplicación de nanotecnología en la agricultura, manejo agroecológico de cultivos hortícolas y biotecnología agrícola. Actualmente sus estudios se enfocan en el aprovechamiento de microalgas como bioestimulantes en hortalizas.

Dra. Marcia Guadalupe Morales Ibarría. Investigadora científica en el Instituto Mexicano del Petróleo como y profesora fundadora de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa del Departamento de Procesos y Tecnología. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNII). Su interés en investigación versa sobre tratamiento biológico de corrientes gaseosas contaminadas, gases de combustión y de efecto invernadero específicamente en la captura de CO₂ con microalgas para la obtención de biocombustibles y otros compuestos de interés.

Ana Fernanda García Rodríguez. Estudiante de la licenciatura en Ingeniería Biológica de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa, CDMX. Su interés se enfoca en el estudio y aprovechamiento de microalgas para la producción de bioproductos de alto valor agregado. Además, trabaja en la optimización de procesos y el desarrollo de alternativas sostenibles dentro del campo de la biotecnología.

Dra. Susana González Morales. Investigadora por México CONAHCYT comisionada a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) en el nivel 2. Su línea de investigación está relacionada con la búsqueda de estrategias de protección de cultivos de diferentes tipos de estrés.





Biofortificación: enriqueciendo nuestros alimentos para un futuro saludable

Sánchez-Portillo Steffanny¹
Juárez-Maldonado Antonio¹
Benavides-Mendoza Adalberto²
Rodríguez-Herrera Raúl³
Martínez-Hernández Ginés B⁴
Pérez-Labrada Fabián^{1*}

¹ Departamento de Botánica. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México

² Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.

³ Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ciencias Químicas. Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.

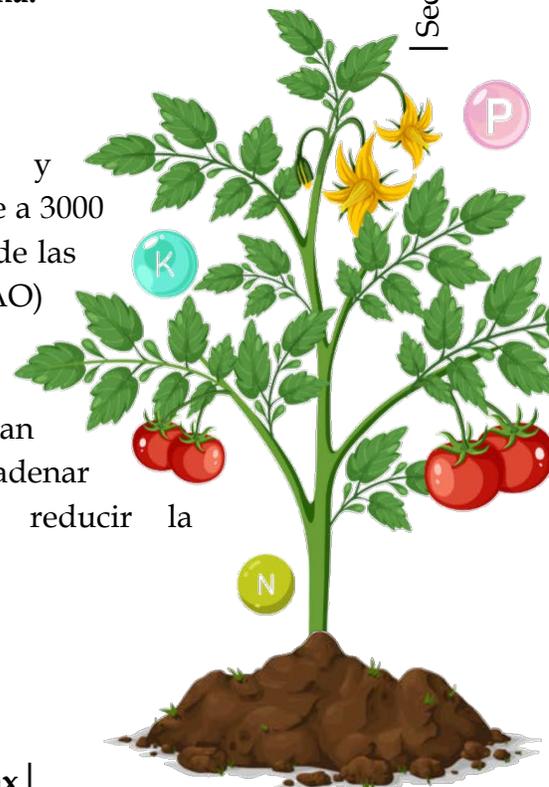
⁴ Departamento de Ingeniería Agrícola. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, Región de Murcia, España.

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

La biofortificación busca incrementar el contenido nutricional de los cultivos (minerales esenciales y biocompuestos) por lo que es una alternativa viable, sostenible y provechosa para plantas y para la salud humana.

Introducción

Las deficiencias de macronutrientes, micronutrientes y elementos traza ("hambre oculta") afectan aproximadamente a 3000 millones de personas en el mundo. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) esto puede deberse a que no se tiene acceso a una dieta adecuada en nutrientes como hierro (Fe), zinc (Zn), selenio (Se), yodo (I) y que sean ricos en carotenoides que promuevan la síntesis de vitamina A. Esta carencia puede desencadenar enfermedades, afectar el rendimiento académico y reducir la productividad económica.





Ante este desafío, la biofortificación surge como una herramienta práctica, accesible y sostenible con el potencial de mejorar la salud de millones de personas, fortalecer la seguridad alimentaria y contribuir a la lucha contra la malnutrición en comunidades vulnerables.

Así la biofortificación de cultivos es una alternativa para mejorar el contenido de nutrientes (Figura 1) ayudando a paliar el problema de deficiencias. Esta técnica genera una reacción en cadena ya que al impactar en las plantas, los animales que se alimentan de esos cultivos y el consumo directo de estos alimentos por la población mejoran la seguridad alimentaria global.

Antes de continuar es necesario establecer una definición de biofortificación. ¡Los invitamos a comprender este concepto!

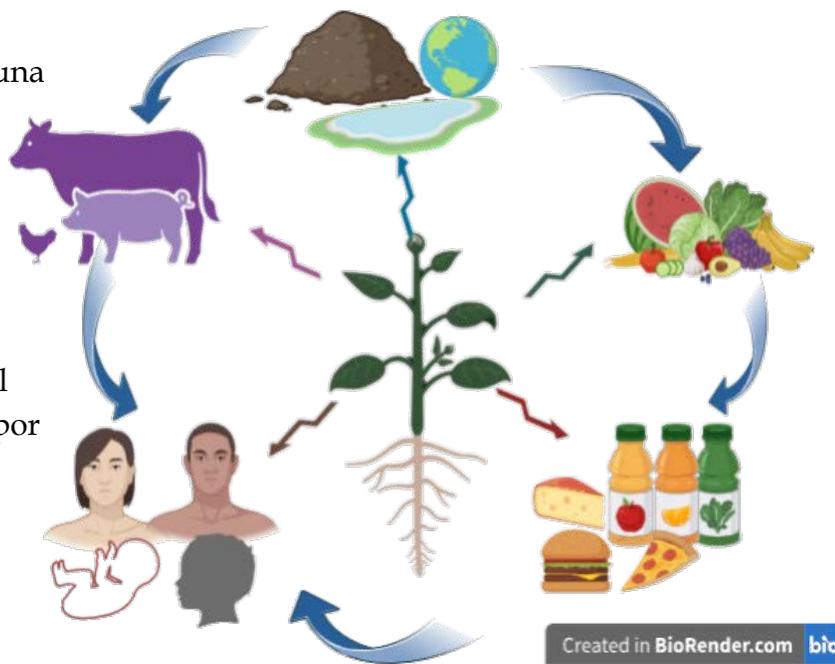


Figura 1. Contribución de la biofortificación en la seguridad alimentaria.

¿Qué es la biofortificación de cultivos?

La biofortificación puede entenderse como una serie de técnicas que buscan incrementar el contenido de nutrientes y las cualidades de los cultivos, esto puede lograrse por medio de técnicas precosecha, por ejemplo, aplicando minerales como Fe, Zn, I, Se o bien por la inducción de metabolitos como β -caroteno, α -caroteno y β -criptoxantina que promueven la síntesis de vitamina A, algunas vitaminas del complejo B (B_6 , B_9 y B_{12}) y vitamina C. Así, al consumir estos alimentos con elevado contenido nutrimental los compuestos son "transferidos" al consumidor.



La biofortificación transforma alimentos básicos en fuentes de nutrientes esenciales.

En este punto es necesario diferenciar entre fortificación y biofortificación, la fortificación es un proceso donde se adicionan minerales y/o metabolitos, posterior a la cosecha. Por ejemplo, la adición de vitaminas y minerales a la harina, al momento de cocinar (ollas de hierro en Camboya) o bien ingerir suplementos directamente. En cambio, la biofortificación es una práctica donde se adicionan minerales y/o promueven biocompuestos antes de la cosecha. Así, la planta se enriquece de nutrientes y/o compuestos porque se le dio un "impulso" durante su desarrollo en campo.

La ciencia detrás de la biofortificación

Los científicos utilizan diversas técnicas para lograr incrementar el contenido de minerales y biocompuestos en los cultivos (Figura 2), vayamos a explorarlos:

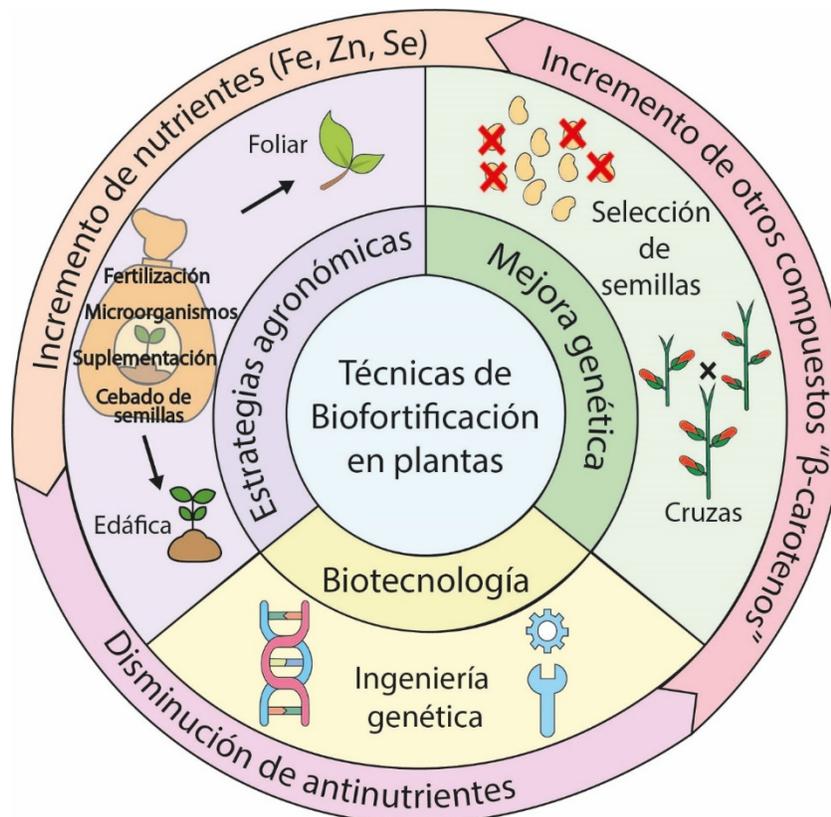


Figura 2. La ciencia detrás de la biofortificación.



Mejoramiento genético. En esta técnica se busca exacerbar los rasgos genéticos de los propios cultivos por medios convencionales (donde las plantas se cruzan en función a ciertas características) o bien por ingeniería genética; que consiste en la inserción de genes o variantes genéticas para que las plantas incrementen su concentración de nutrientes y/o biocompuestos en cantidades significativas. Esta alternativa ha tenido gran interés en los últimos años a raíz de la técnica Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente Interespaciadas (CRISPR).

Microorganismos. Son seres aliados en la biofortificación ya que promueven biodisponibilidad, absorción y asimilación de nutrientes esenciales permitiendo incrementar la concentración en la planta. Alrededor del mundo los científicos exploran el uso de bacterias u hongos benéficos como las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPB) y los hongos que pertenecen a las micorrizas arbusculares (AMF) que ayudan a absorber más nutrientes del suelo y por ende aumentar su concentración en los tejidos de importancia económica.

Fertilización. Esta es la técnica más usada debido a su relación costo - beneficio ya que el nutriente de interés se puede aplicar directamente al suelo o al tejido foliar. Aquí el nutriente se aplica en su forma iónica, como quelato o bien en su forma nanométrica.

Cebado de semillas. En este proceso las semillas se sumergen en soluciones con minerales o compuestos beneficiosos, así la semilla se "prepara" o "fortalece" antes de la siembra con el objetivo de incrementar los niveles de nutrientes o algunos biocompuestos en los cultivos durante su desarrollo posterior en campo.

Suplementación. Esta técnica aplicada a biofortificación se puede entender como "alimentar" a las plantas mientras crecen, dándoles nutrientes adicionales para que sus frutos o granos sean más ricos en vitaminas o minerales, se les agrega algo extra durante el cultivo, como fertilizantes especiales que contienen Fe, Zn, I, Se u otros nutrientes importantes.



Los cultivos biofortificados presentan o no alteraciones en su apariencia, sabor o aroma. En algunos casos estos cambios son bajos o altamente perceptibles. Por ejemplo, el camote biofortificado con β -caroteno muestra una tonalidad naranja más intensa. Se debe recordar que uno de los objetivos secundarios de la biofortificación es que el alimento mantenga su sabor y apariencia original para que las personas lo sigan consumiendo normalmente pero ahora proveyendo mayor contenido de nutrientes.

Biofortificación y Salud Global

Los beneficios de la biofortificación para la salud global son enormes, ya que al aumentar el contenido de minerales se desencadena un incremento paralelo de vitaminas y algunos otros metabolitos los cuales ayudan a prevenir problemas de salud al actuar como antioxidantes y protectores contra diversas enfermedades.

Al mejorar la calidad de vida de las personas también se aligera la presión sobre los sistemas de salud derivado de la prevención y/o reducción de ciertas enfermedades como la malnutrición-anemia (a consecuencia de falta de Fe), alteraciones oculares (por deficiencias de vitamina A), desequilibrio en hormonas tiroideas (déficit de I), enfermedades del corazón (bajo aporte de Se) así como problemas de crecimiento, desarrollo y sistemas inmunológicos débiles (debido a la falta de Zn), entre otros.

De igual forma la ingesta de cultivos biofortificados (frutas, verduras o alimentos procesados) fortalece el sistema inmunológico, digestivo, cardiovascular y óseo mejorando el desarrollo cognitivo (Figura 3), promoviendo poblaciones más saludables y productivas.



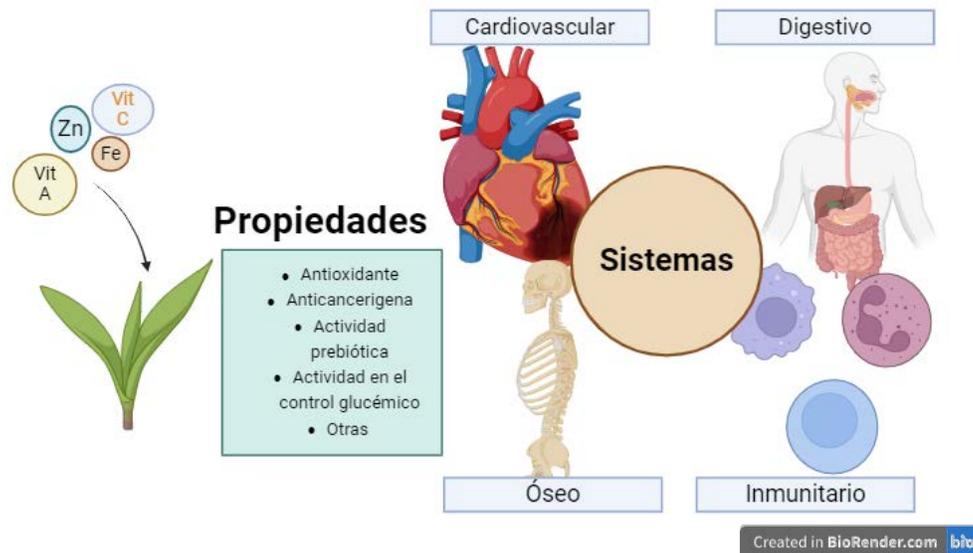


Figura 3. Impacto de la biofortificación en la salud.

Biofortificación: herramienta contra deficiencia de Fe y Zn

Particularmente el Fe y Zn son nutrientes altamente importantes para los humanos sin embargo su deficiencia está ampliamente diseminada a nivel mundial. El Fe es clave para prevenir la anemia mientras que el Zn es vital para el crecimiento y el sistema inmunológico. Con la biofortificación los científicos trabajan en cultivos como maíz, trigo, arroz o frijol para que contengan naturalmente más Fe y Zn (Figura 4). Así, las personas que consumen estos alimentos obtienen esos nutrientes importantes de manera fácil y constante, sin tener que cambiar su dieta o tomar suplementos. Esta solución es especialmente útil en áreas rurales o de

bajos ingresos, donde el acceso a una dieta variada o a tratamientos médicos es limitado.

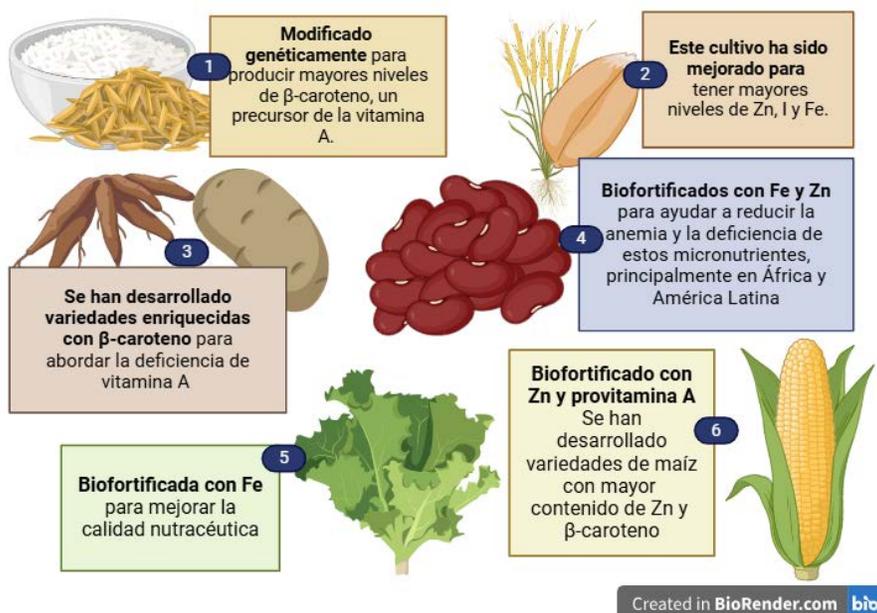


Figura 4. Cultivos biofortificados por diferentes estrategias.



Biofortificación y sostenibilidad de cultivos

La biofortificación es una solución sostenible para mejorar la calidad nutricional de diversos cultivos sin necesidad de cambiar drásticamente las prácticas agrícolas o la dieta de las personas. A diferencia de los suplementos o los alimentos fortificados industrialmente, que requieren una intervención constante y costosa, la biofortificación se realiza a todos los cultivos, directamente en las semillas, plántulas o planta en plena producción, lo que significa que los nutrientes adicionales están presentes en cada nueva cosecha, año tras año. Las técnicas de biofortificación son compatibles con prácticas agrícolas tradicionales, esto facilita su adopción en todos los sistemas de producción. Por ejemplo, el uso de semillas biofortificadas permite que los agricultores pueden cultivarlas sin necesidad de insumos especiales, garantizando que las personas sigan obteniendo alimentos más nutritivos de forma continua y accesible.

Al fortalecer la salud de las personas, la biofortificación ayuda a crear comunidades más resilientes y productivas, promoviendo el desarrollo económico y reduciendo la dependencia de soluciones temporales. Algunos ejemplos de cultivos biofortificados son: arroz dorado (enriquecido con β -caroteno), maíz (biofortificado con Zn y provitamina A), frijol (enriquecido con Fe y Zn), trigo (biofortificado con Fe, Zn y aminoácidos), mijo perlado (biofortificado con Fe), camote de pulpa anaranjada (biofortificado con provitamina A), mandioca (yuca, biofortificada con provitamina A), plátano (biofortificado con provitamina A), lechuga y tomate (biofortificado con Fe), los cuales se desarrollaron para combatir la deficiencia de vitamina A, anemia ferropénica, deficiencia de Zn y mejorar la salud ocular, fortalecer el sistema inmunológico y prevenir la anemia.



La biofortificación
combate la
malnutrición desde
la agricultura.



Retos y controversias: un camino por recorrer.

Aunque la biofortificación tiene muchos beneficios, también enfrenta algunos retos y controversias. Un desafío es asegurarse de que las semillas biofortificadas lleguen a los agricultores y se adopten ampliamente, esto puede ser difícil porque ciertas comunidades están acostumbradas a sembrar las mismas semillas durante generaciones. Para contrarrestar este problema se puede implementar el cebado de las semillas que conduzca a la biofortificación.

Otro reto es que no todos los cultivos responden homogéneamente al incremento en los niveles nutrimentales como Fe (en espinaca) o Zn (en sorgo), esto se debe a que en algunas plantas los nutrientes y/o biocompuestos tienden a acumularse en partes que no son de interés comercial o que no son consumidas, por ello en ciertos alimentos puede ser complicada la biofortificación. Ante este reto se requiere de personas entusiastas y altamente especializadas en el área que ayuden a discernir este reto.

En cuanto a las controversias, algunos críticos señalan que la biofortificación no aborda el problema de fondo: la falta de acceso a una dieta diversa y equilibrada debido al costo que esto representa (\$3.69 dólares por día). También hay quienes se preocupan por el uso

de biotecnología en algunos cultivos, aunque la mayoría de las variedades biofortificadas se desarrollan a través de técnicas tradicionales de cría de plantas. En la Figura 5, se presentan los factores que aún representan un desafío y oportunidades de la biofortificación de cultivos.



Figura 5. Factores que intervienen en la biofortificación de cultivos.



Conclusiones

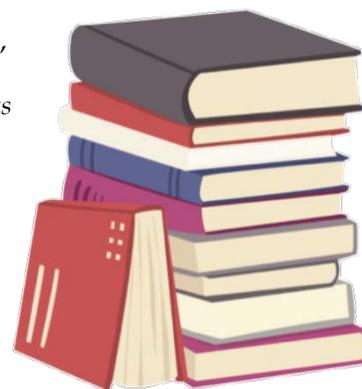
La biofortificación es una estrategia sostenible con el potencial de mejorar la salud global, especialmente en regiones donde la malnutrición y las deficiencias de nutrientes son problemas críticos. Al enriquecer cultivos con diferentes minerales esenciales se ofrece una solución accesible y a largo plazo para combatir el "hambre oculta" que afecta a millones de personas. Aunque enfrenta retos y controversias, la biofortificación integrada con otras iniciativas de seguridad alimentaria y educación nutricional es una herramienta poderosa para reducir la malnutrición y fortalecer la salud nutrimental de las comunidades en todo el mundo.

Literatura recomendada

León, L.A.N., Cabrera, A.C., Díaz, P.C.P., Valencia, F.E., Hoyos, A.E.M., León, T.P.N., & Villanueva, R. O. (2024). Maíces con alto contenido de antocianina, biofortificados con zinc, provitamina A y de alta calidad de proteína en Perú. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 16(2), 1-27. <https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3277>

Macías, J.M., Espinoza, I.D.C.M., & Mendoza, A.B. (2023). Suelos y nutrición humana-énfasis en I, Se, Zn y Fe. *Revista Agraria*, 20(3), 17-27. <https://doi.org/10.59741/agraria.v20i3.36>

Trujillo, J.A.G., López, C.J.A., López, N.A.P., Alejo, J.C., & Ramírez, A.R. (2022). Perspectivas futuras de la biofortificación de alimentos: la asociación con microorganismos del suelo. *Revista Ra Ximhai*, 18(4 Especial), 175-199. <https://doi.org/10.35197/rx.18.04.2022.08.jg>



Semblanzas de autores

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

Antonio Juárez-Maldonado. Profesor Investigador del Departamento de Botánica de la UAAAN. Su línea de investigación abarca la ecofisiología vegetal, bioestimulación de cultivos, inducción de tolerancia a estrés biótico y abiótico, producción de cultivos en invernadero, uso de nanomateriales en cultivos, uso de tecnologías para mejorar la producción de cultivos.

Adalberto Benavides-Mendoza. Profesor Investigador en el Departamento de Horticultura de la UAAAN desde 1998. Anteriormente trabajó en el Grupo Industrial Bimbo en investigación y desarrollo; fue Investigador Asociado el Centro de Investigación en Química Aplicada y Profesor del Centro de Educación y Capacitación Forestal número 3 de la SARH.



Raúl Rodríguez-Herrera. Profesor de Genética y Biología Molecular. Sus reconocimientos: premio PCCMCA 1988 en Costa Rica y Salvador 1990. Premio CONACYT-Coca Cola 2003. Premio AgroBIO 2005, Premio COECYT 2005, Medallas Miguel Ramos Arizpe 2016 y Mariano Narváez 2018 - UAdeC, host of Honour Kannur University India 2017, Investigador del año-UAdeC 2021.

Ginés B Martínez-Hernández. Ingeniero Agrónomo y Doctor por la Universidad Politécnica de Cartagena (España). Es profesor titular y su investigación trata sobre el efecto de factores pre cosecha sobre la calidad postcosecha de frutas y hortalizas, así como el uso de tecnologías sostenibles postcosecha para extender su vida útil.

Fabián Pérez-Labrada. Profesor Investigador de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el Departamento de Botánica. Su línea de investigación es el estudio de enmiendas-moléculas orgánicas en la producción de cultivos bajo condiciones de estrés.

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



“Una Sola Salud”: la nueva frontera de la ganadería tropical en México

César Augusto de la Cruz López^{1*}
José Armando Alayón Gamboa²

¹ Grupo Académico de Ganadería Sustentable y Cambio Climático, El Colegio de la Frontera Sur- Unidad Villahermosa.

² Grupo Académico de Ganadería Sustentable y Cambio Climático, El Colegio de la Frontera Sur- Unidad Campeche.

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



La ganadería en las regiones tropicales de México enfrenta grandes desafíos que requieren soluciones sostenibles. La transdisciplina aplicada a la ganadería propone un enfoque integrador que vincula la salud humana, animal y ambiental, ofreciendo soluciones fundamentadas en una perspectiva holística. Este modelo busca enfrentar desafíos clave del sector, como el incremento de la huella ecológica y la propagación de enfermedades, mediante estrategias que beneficien tanto a los productores como al ecosistema. Al fomentar prácticas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, este enfoque transdisciplinario mejora simultáneamente el bienestar humano y animal, mientras contribuye a la conservación del entorno natural.

Introducción

La ganadería en las zonas tropicales de México es clave para la economía rural, pero enfrenta retos considerables debido a los climas cálidos y húmedos, lo que demanda soluciones sostenibles. Aquí es donde el enfoque de “Una Sola Salud” se vuelve vital debido a que este reconoce la conexión entre la salud humana, animal y ambiental. Las condiciones en estas regiones pueden favorecer la propagación de enfermedades zoonóticas (enfermedades que se transmiten entre los animales y el hombre), causar problemas como la deforestación y promover las emisiones de gases a la atmósfera.



“Una Sola Salud” aborda de manera integral los desafíos de la ganadería al considerar las conexiones entre la salud humana, animal y ambiental. Este modelo holístico permite entender cómo estos elementos están interrelacionados, lo que facilita el desarrollo de soluciones que benefician a todo el sistema. Al promover prácticas ganaderas respetuosas con el medio ambiente, no solo se protege la salud de las personas y los animales, sino que también se fomenta la sostenibilidad del planeta. Además, este enfoque resalta la importancia de trabajar de manera colaborativa entre sectores para enfrentar problemas como el cambio climático, la propagación de enfermedades y la creciente huella ambiental de la industria (Fig. 1).

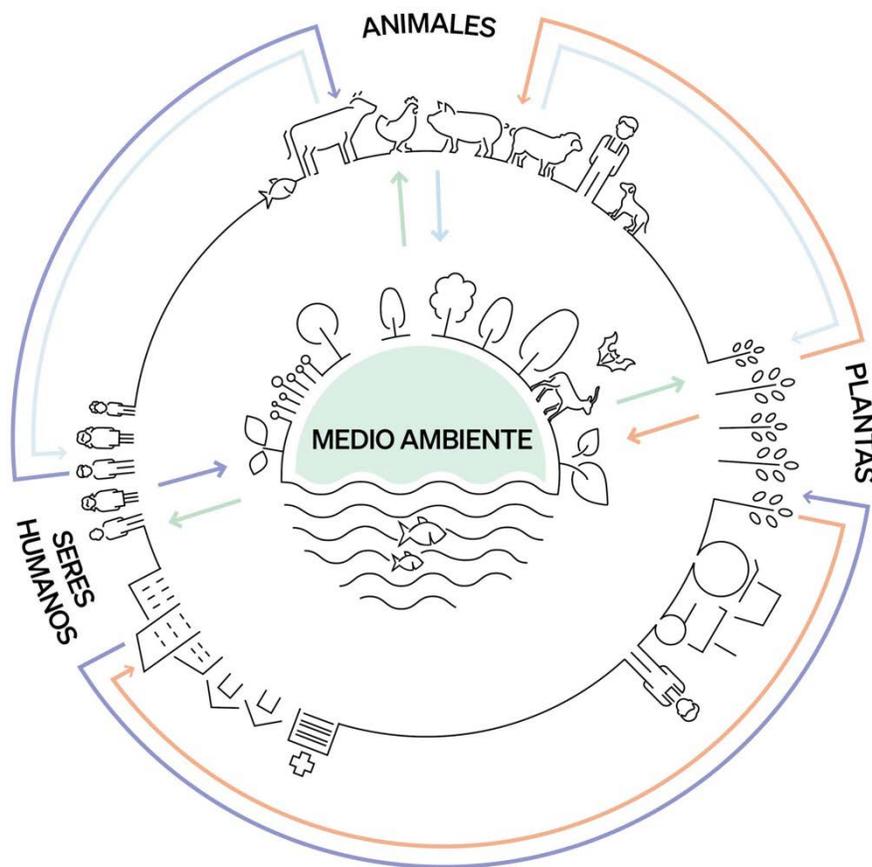


Figura 1. Esquema que muestra la conexión colaborativa entre diferentes sectores para enfrentar problemas globales como medidas de mitigación y adaptación al cambio climático.

(Fuente: <https://www.woah.org/es/que-hacemos/iniciativas-mundiales/una-sola-salud/>).

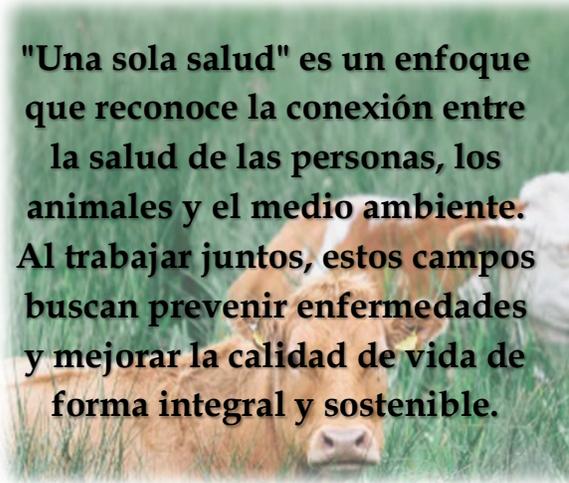


La ganadería es una actividad económica importante en las regiones tropicales de México, especialmente en los estados que conforman la frontera sur de México. Sin embargo, esta actividad de producción enfrenta desafíos en términos ambientales y de salud.

Para comprender y abordar los desafíos complejos que afectan a los animales, las personas y el medio ambiente, es fundamental cambiar nuestra perspectiva y las estrategias de atención actuales. En este contexto, el enfoque de “Una Sola Salud” se destaca como una estrategia integral y prometedora para enfrentar estos problemas. Este enfoque parte del reconocimiento de la interdependencia entre la salud humana, la salud animal y la salud ambiental, tres pilares que están íntimamente conectados. Propone que cualquier intervención o cambio en uno de estos ejes inevitablemente impactará a los otros, lo que exige una visión colaborativa y multidimensional. Adoptar este enfoque no solo ayuda a prevenir y mitigar problemas como la propagación de enfermedades o el deterioro ambiental, sino que también fomenta prácticas más sostenibles y armoniosas que beneficien a todos los sectores involucrados, promoviendo un futuro más equilibrado y saludable.

En el ámbito de la producción animal, los sistemas de producción que coadyuven a mejorar los tres ejes antes señalados tendrán una repercusión positiva sobre los animales, las personas que viven de la actividad, y el ecosistema donde se desarrolla la producción. Entre estos sistemas destacan los sistemas silvopastoriles y agrosilvopastoriles, que integran componentes animales, arbóreos y pastos. Estos sistemas están socialmente acoplados y mejoran la sostenibilidad de la ganadería en las regiones tropicales.

Desde el punto de vista de la sostenibilidad, las prácticas mencionadas anteriormente ofrecen importantes beneficios ambientales y sociales. Por un lado, contribuyen a reducir la huella ecológica al funcionar como almacenes de carbono, ayudando a mitigar los efectos del cambio climático. Por otro lado, mejoran la calidad y cantidad de los forrajes, proporcionando alimentos altamente nutritivos para el ganado. Además, estas prácticas diversifican los recursos disponibles para las familias que dependen completamente de las actividades pecuarias, ya que los árboles integrados en estos sistemas pueden ofrecer alimentos, madera, y otros productos que fortalecen tanto su economía como su calidad de vida.



"Una sola salud" es un enfoque que reconoce la conexión entre la salud de las personas, los animales y el medio ambiente. Al trabajar juntos, estos campos buscan prevenir enfermedades y mejorar la calidad de vida de forma integral y sostenible.



La ganadería es una actividad económica importante en las regiones tropicales de México, especialmente en los estados que conforman la frontera sur de México. Sin embargo, esta actividad de producción enfrenta desafíos en términos ambientales y de salud.

Adicionalmente, estos sistemas tienen el potencial de incrementar la productividad ganadera, restaurar áreas degradadas y garantizar el bienestar animal. Además, los sistemas silvopastoriles y agrosilvopastoriles permiten tener más animales en pastoreo en menos espacio, lo que contribuye a la eficiencia de la producción.

No obstante, “Una Sola Salud” en la ganadería tropical enfrenta desafíos significativos. Uno de ellos es la necesidad de establecer mejores e integrados sistemas de acción coordinada entre diferentes sectores para proteger la salud y evitar perturbaciones en los sistemas alimentarios. Esto requiere que muchas disciplinas interactúen (transdisciplina) y trabajen en conjunto con múltiples actores, desde agricultores hasta científicos y responsables de políticas públicas, para diseñar, establecer y fortalecer nuevos sistemas de producción ganaderos.

La ganadería tropical en México

La ganadería tropical en México es un área fascinante que abarca una variedad de aspectos, desde la biología y el comportamiento animal hasta la economía y la sostenibilidad. Aquí se explora la ganadería tropical en México con un enfoque en las especies más comunes, los desafíos que enfrentan los agricultores y cómo este sector contribuyen a la economía del país.

La ganadería tropical se refiere a la cría de animales en regiones con climas cálidos y húmedos. En el Sureste de México, estas regiones incluyen los estados de Campeche, Chiapas, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán. En estas regiones, la ganadería contribuye significativamente a la seguridad alimentaria de la población y juega un papel crucial en el desarrollo rural y el progreso socioeconómico de las familias rurales. Las especies más comunes criadas en estas áreas incluyen el ganado bovino (Fig. 2).



Figura 2. Sistemas de producción de bovinos en Quintana Roo (Fotografía: José Isidro Pucheta).



El ganado bovino se refiere a la crianza, domesticación y comercialización de toros y vacas que conviven en un mismo espacio, es quizás el más prominente en la ganadería tropical mexicana. Estos animales se crían para obtener carne y leche, principalmente. La carne de res es un alimento básico en la dieta mexicana, mientras que la leche se utiliza para producir una variedad de productos (queso, yogurt, suero, entre otros).

La cría de cerdos también es común en la ganadería tropical. Los cerdos son animales versátiles que se adaptan a diversas condiciones climáticas. Se crían principalmente por su carne, pero también se utilizan en la producción de cuero y otros productos alimenticios como los embutidos. Las cabras y las aves de corral también juegan un papel importante en la economía campesina. Las cabras se crían por su leche y carne, y las aves de corral para obtener huevo y carne.

Desafíos de la ganadería tropical



Figura 3. Enfermedades de zoonóticas en México.

(Texto tomado y adaptado de:

<https://www.gob.mx/pronabive/articulos/las-enfermedades-zoonoticas-en-mexico?idiom=es>).

La cría de los animales antes señalados no está exenta de desafíos. Los agricultores a menudo tienen que lidiar con altos precios de mercado y condiciones climáticas extremas, como sequías prolongadas e inundaciones. Además, las enfermedades en los animales se están volviendo cada vez más comunes, lo que representa un problema significativo, ya que pueden transmitirse a las personas y afectar su salud (Fig. 3).

Estas enfermedades pueden tener graves consecuencias para la salud humana, animal y ambiental. Por ello, su atención requiere una estrecha colaboración entre los sectores involucrados para conservar y gestionar eficazmente los recursos naturales.



Por otro lado, la ganadería intensiva ha tenido impactos ambientales considerables. La deforestación de las selvas y la siembra de pastos para el ganado amenaza a la gran diversidad biológica (biodiversidad) que posee el trópico mexicano. Además, la ganadería contribuye con el cambio climático mediante la emisión de gases a la atmósfera, un factor clave en el calentamiento global.

Estos desafíos pueden abordarse de manera integral (holística) bajo el enfoque de “Una Sola Salud”, mediante la implementación de prácticas de gestión de enfermedades zoonóticas para proteger la salud humana y animal. Además, se pueden adoptar prácticas ganaderas sostenibles (por ejemplo: rotación de cultivos, pastos con alto valor nutricional, seguimiento, control y manejo de las enfermedades en el ganado) para minimizar el impacto ambiental.

A pesar de lo anterior, la ganadería tropical tiene un papel fundamental en la economía de México, pues brinda empleo a millones de personas y contribuye significativamente al Producto Interno Bruto (PIB) del país, con casi cerca del 40% del total en México. Además, los productos derivados de la ganadería, como la carne y los lácteos, son una fuente importante de alimento para la población local, particularmente para la población rural del Sur de México.

La ganadería tropical en México es un área fascinante que abarca una variedad de aspectos, desde la biología y el comportamiento animal hasta la economía y la sostenibilidad.

Enfoque “Una Sola Salud” en la Ganadería Tropical

Con base en el Panel de Expertos de Alto Nivel en Una Salud (OHHLEP, por sus siglas en inglés), “Una Sola Salud” es un enfoque integrado que busca equilibrar y optimizar la salud. Se entiende que existe un estrecho vínculo e interdependencia de la salud de quienes habitan los ecosistemas (Fig. 4).

Esto obliga a trabajar juntos de forma colaborativa para fomentar el bienestar y abordar las amenazas a la salud y a los ecosistemas, con enfoque en la necesidad colectiva de agua, energía, aire limpio, y alimentos nutritivos, asequibles y seguros. Además, de tomar medidas sobre el cambio climático y contribuir a la sostenibilidad.

En este enfoque, la visión integrada de la salud y el bienestar busca abordar los desafíos desde lo local y con escalas de impacto global a lo largo del tiempo. Esto es especialmente relevante en la ganadería tropical, donde los desafíos en salud animal y humana y la sostenibilidad del ambiente son ya apremiantes, por la pérdida rápida de la biodiversidad de los ecosistemas y la emergencia o reemergencia de enfermedades que amenazan la salud de las poblaciones de animales domésticos o silvestres y de personas.



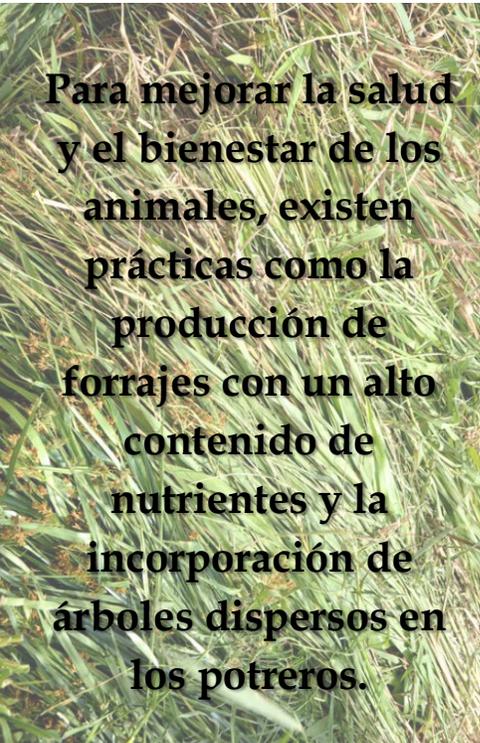


Figura 4. Representación de Una Sola Salud, Organización Mundial de la Salud (OMS) (2023). (Modificado de: <https://www.who.int/es/multi-media/details/one-health-definition>).

“Una Sola Salud”, plantea que nuestra salud está estrechamente ligada a la salud de los animales y al entorno en el que convivimos. Por ejemplo, las enfermedades que pueden transmitirse de animales a humanos son un claro ejemplo de esta interconexión y suponen una amenaza importante para la salud humana.



Al mismo tiempo, actividades humanas como la deforestación y la contaminación también pueden tener impactos negativos en la salud animal y ambiental. Esto implica ir más allá de los síntomas individuales y considerar un panorama más amplio. Por ejemplo, en lugar de tratar una enfermedad zoonótica simplemente como un problema médico humano, “Una Sola Salud” reconoce que también es un problema de salud animal y ambiental.



Para mejorar la salud y el bienestar de los animales, existen prácticas como la producción de forrajes con un alto contenido de nutrientes y la incorporación de árboles dispersos en los potreros.

Parte de la solución a estos problemas se basan en realizar buenas prácticas para la ganadería tropical, que promuevan un manejo sostenible de los recursos tropicales con que sustenta la ganadería, tratando de encontrar soluciones lo más apegadas a la naturaleza y con un uso racional y eficiente de los recursos.

Entre estas prácticas, están el manejo del pastoreo mediante técnicas de pastoreo rotativo, el uso racional de alimentos y medicamentos para animales que no dañen el medio ambiente, el manejo integral de recursos en los sistemas mediante técnicas de ganadería regenerativa, la incorporación de prácticas culturales para el control biológico, entre otras. Estas prácticas no solo benefician al medioambiente, sino que también mejoran la salud y el bienestar de los animales.

Para mejorar la salud y el bienestar de los animales, existen prácticas como la producción de forrajes con un alto contenido de nutrientes y la incorporación de árboles dispersos en los potreros. Estos árboles no solo ofrecen sombra a los animales durante el pastoreo, sino que también crean un microclima que

ayuda a mantener temperaturas más confortables. Este entorno contribuye al bienestar de los animales, lo que, a su vez, se refleja en la obtención de carne y leche de calidad superior.

Las buenas prácticas ganaderas son parte de las actividades que se contemplan dentro del enfoque de “Una Sola Salud”, ya que implica necesariamente trabajar colaborativamente con todos los sectores por ejemplo el sector salud, productores ganaderos y la académica para que en conjunto puedan compartir información y recursos, coordinar esfuerzos de investigación y trabajar con los actores involucrados para desarrollar políticas y regulaciones que promuevan la salud y la sostenibilidad (Fig. 5).

Al reconocer las interconexiones entre la salud humana, animal y ambiental, se trabaja en soluciones que benefician a todos los aspectos del sistema. Este enfoque integrado permite abordar estos desafíos de manera más efectiva y sostenible.



Figura 5. Reunión de trabajo académico sobre los avances y perspectivas del enfoque “Una Sola Salud” en la Frontera Sur de México en el cual participaron miembros del grupo académico de ganadería sustentable y cambio climático (GANSUS) de El Colegio de Frontera Sur.

Conclusiones

La ganadería tropical en México enfrenta grandes desafíos que afectan la salud humana, animal y ambiental. Para abordarlos, el enfoque de “Una Sola Salud” resulta clave, ya que propone soluciones integrales y promueve prácticas sostenibles y responsables con el medioambiente. Este enfoque considera de manera conjunta los aspectos ambientales, sociales y de salud animal, en lugar de tratar los problemas de forma aislada. Al implementar estas estrategias, se puede mejorar la salud global, proteger el medioambiente y fomentar el desarrollo sostenible de la ganadería tropical. Además, este enfoque tiene el potencial de transformar el sector, contribuyendo a la seguridad alimentaria, el desarrollo rural y la preservación de los ecosistemas.



Literatura recomendada

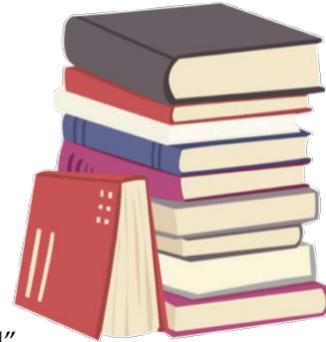
Adisasmito W.B., Almuhairi S., Behravesch C.B., Bilivogui P., Bukachi S.A. (2022) One Health: A new definition for a sustainable and healthy future. PLOS Pathogens 18(6), e1010537. DOI: 10.1371/journal.ppat.1010537

Coghlan S, Coghlan BJ, Capon A and Singer P (2021). A bolder One Health: expanding the moral circle to optimize health for all. One Health Outlook, 3(1), 21.
<https://doi.org/10.1186/s42522-021-00053-8>

Harrison S, Baker MG, Benschop J, Death RG, French NP, Harmsworth G, Lake RJ, Lamont IL, Priest PC, Ussher JE and Murdoch DR (2020). One Health Aotearoa: a transdisciplinary initiative to improve human, animal and environmental health in New Zealand. One Health Outlook, 2(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s42522-020-0011-0>

Organización Mundial de la Salud (OMS) (2023). Infografía. Definición de “Una Sola Salud”.
<https://www.who.int/es/multi-media/details/one-health-definition>

Otu A, Effa E, Meseko C, Cadmus S, Ochu C, Athingo R, Namisango E, Ogoina D, Okonofua F and Ebenso B (2021). Africa needs to prioritize One Health approaches that focus on the environment, animal health and human health. Nature Medicine, 27(6), 943–946.
<https://doi.org/10.1038/s41591-021-01375-w>



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, Ganadería y Cambio Climático en Sistemas Tropicales. Estudiante del Doctorado en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable. Grupo Académico de Ganadería Sustentable y Cambio Climático.

José Armando Alayón Gamboa. Doctor en Ciencias Agropecuarias, El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Campeche. Investigador Titular. Grupo Académico de Ganadería Sustentable y Cambio Climático.

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





International Union of Soil Sciences®

Para los niños del mundo celebrando el Centenario de la IUSS



El Suelo: Fuente de Vida, Agua y Alimentos



EDITORS:
Laura Bertha Reyes-Sánchez
Rainer Horn


International
Decade of Soils
2015-2024
ISBN: 979-8-9895344-4-9

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

| Sección VI: Entisol |



Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México, México

| 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