







# ¡ Tenemos Sede !



Enseñar la explotación de la tierra,  
no la del hombre

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

**¡ Separa la fecha y participa !  
Texcoco, Estado de México, México  
Octubre 13-17, 2025**





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

**Dr. Fabián Fernández-Luqueño**  
Presidente  
Cinvestav Saltillo

**Dra. Dámaris Leopoldina Ojeda Barrios**  
Vicepresidente  
Universidad Autónoma de Chihuahua

**Dr. Hermes Pérez Hernández**  
Secretaría General  
INIFAP

**Dra. Dulce Yaahid Flores Rentería**  
Tesorera  
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. Rosalia 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 Mondragon**  
Cinvestav Zacatenco

**Dr. Julián Delgadillo Martínez**  
Colegio de Postgraduados

**Dra. Mariana Miranda Arámbula**  
CIBA-IPN

**Dra. Rosalia Castelán Vega**  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

**Dr. Fabián Fernández-Luqueño**  
Cinvestav Saltillo

**Dra. Susana González Morales**  
Investigadora por México-UAAAN

**Dra. Yunuen Tapia Torres**  
UNAM/ENES Morelia

**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

**Lic. Naomi Shimizu**  
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. Carmina Gámez Barajas**  
FES-Zaragoza-UNAM

**Dra. Gabriela Guillén-Cruz**  
Cinvestav Saltillo

**M.C. Andrés Torres-Gómez**  
Cinvestav Saltillo

**Dr. Ricardo Aarón González Aldana**  
Universidad Autónoma de Chihuahua

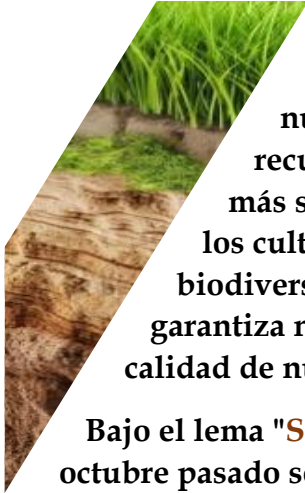
Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente; Año 2, Número 4, octubre 2024 a diciembre 2024, es una publicación trimestral editada por la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (SMCS), Dom. Con. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, Estado de México, Tel. 595-95-21721, <https://smcsmx.org/index.php>, [smcsissn@gmail.com](mailto: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, diciembre 31 de 2024.

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

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



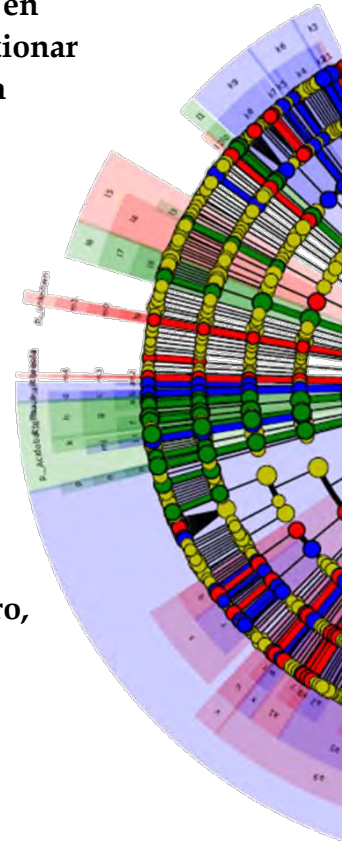
## Editorial




El suelo es uno de los pilares fundamentales, en un mundo que enfrenta desafíos ambientales sin precedentes para nuestra supervivencia. Sin embargo, a menudo es uno de los recursos menos valorados, incluso cuando buscamos un futuro más sostenible. El suelo es mucho más que un simple sustrato para los cultivos; es un sistema vivo, complejo y dinámico que sustenta la biodiversidad, regula el agua, captura carbono y, en última instancia, garantiza nuestra alimentación. Su salud refleja de manera directa la calidad de nuestra relación con el medioambiente y la tierra.

Bajo el lema "**Suelos Sanos y Resilientes para el Desarrollo Sostenible**", en octubre pasado se celebró la 48<sup>a</sup> edición del Congreso Mexicano de la Ciencia del Suelo en ExpoChihuahua, Chihuahua. Durante este evento, se presentaron alrededor de 200 ponencias organizadas en seis divisiones, provenientes de 50 universidades e instituciones de todo el país. Una de las conferencias magistrales la impartió el Dr. Ismail Cakmak, de la Universidad Sabanci en Estambul, Turquía. En su intervención, el Dr. Cakmak nos invitó a reflexionar sobre el fenómeno del "hambre oculta", que afecta al 25% de la población mundial debido a la desnutrición y malnutrición por deficiencias de micronutrientes esenciales para el ser humano, como el hierro (Fe), zinc (Zn), selenio (Se) y yodo (I). Este problema, especialmente crítico en los países en desarrollo, afecta principalmente a lactantes, niños en edad preescolar y mujeres en etapa reproductiva, lo que subraya la urgente necesidad de mejorar la calidad nutricional de los alimentos.

En este contexto, el Dr. Cakmak destacó que la baja disponibilidad de micronutrientes en el suelo, y la consiguiente deficiente absorción de estos nutrientes por las plantas, podría ser una de las principales causas de las deficiencias nutricionales en los seres humanos. Además, señaló que los sistemas de producción agrícola han estado enfocados en optimizar la nutrición de las plantas para aumentar los rendimientos, pero, en muchos casos, esto ha ocurrido a expensas de la salud humana. Esta situación, advirtió, sigue siendo una asignatura pendiente que puede corregirse mediante la biofortificación de cultivos básicos.







Diversos países han adoptado ya esta estrategia, regulando la aportación de micronutrientes como Fe, Zn, I y Se, junto con la aplicación de macronutrientes (NPK), lo que ha permitido mejorar significativamente la ingesta de estos nutrientes esenciales en poblaciones vulnerables. Este es un desafío urgente que debe ser abordado para mejorar la nutrición y la calidad de vida de las personas en el mundo y de manera especial en México.

Con este panorama en mente, *Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente* tiene el propósito de visibilizar y amplificar las voces de quienes investigan, cuidan y protegen el suelo, reconociendo su papel vital en la agricultura y el bienestar planetario. A través de sus páginas, exploramos la intersección entre la agricultura, el medioambiente y la sostenibilidad, invitando a una reflexión profunda sobre cómo las prácticas agrícolas pueden transformarse para garantizar la salud del suelo y el futuro de las generaciones venideras.

Desde las experiencias de agricultores comprometidos con la regeneración de los suelos hasta las investigaciones científicas que nos brindan nuevas perspectivas sobre la biodiversidad en los suelos, Voces del Suelo se convierte en un espacio de intercambio de ideas, conocimientos y soluciones. Cada artículo, cada relato, infografía es una llamada a la acción, un recordatorio de que el futuro de la agricultura debe ser un camino de regeneración, no de destrucción, y que el respeto al entorno natural es esencial.

A través de esta propuesta de divulgación, se busca promover la educación y sensibilización sobre la importancia de una agricultura y ganadería regenerativa, que no solo minimice los daños al medioambiente, sino que también revitalice los ecosistemas de los que dependemos. En cada número, abordamos temas actuales como la gestión sostenible de los suelos, la relación entre el cambio climático y la agricultura, las políticas públicas que impactan la salud del suelo y las innovaciones tecnológicas que están permitiendo prácticas productivas más responsables, como la biofortificación para mitigar el “hambre oculta”.





Un medio de divulgación abierto a todos aquellos interesados en enseñar, aprender, compartir, discutir, analizar y reflexionar sobre el suelo, la agricultura y el medioambiente es la publicación de divulgación *Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente*. Los invitamos a sumar sus contribuciones con su participación, en esta revista de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (SMCS), la cual tiene presencia en el país, desde hace 62 años con trabajo conjunto entre especialistas del suelo y diversas áreas del conocimiento, promoviendo un desarrollo sostenible del suelo en México.

Se invita a todos los actores del sector, desde pequeños agricultores hasta grandes instituciones y académicos, a unirse a esta conversación global. El futuro de nuestros suelos, y por ende el de nuestra agricultura y medioambiente, depende de la acción colectiva y de un compromiso firme hacia un manejo sostenible.

Esperamos que disfruten este número, bienvenidos siempre a *Voces del Suelo, Agricultura y Medioambiente*.

### Editores en Jefe

Dr. Fabián Fernández-Luqueño  
Cinvestav Saltillo

Dra. Dámaris Leopoldina Ojeda-Barríos  
Universidad Autónoma de Chihuahua

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







## Contenido

SECCIÓN, SUBSECCIÓN, TÍTULO Y AUTORES	Páginas
<b>SECCIÓN I. FACTORES DE FORMACIÓN DEL SUELO</b>	
<b>Subsección IA: Material Parental</b>	
¿Oro negro? Uso de biocarbón en suelos calcáreos Mari Carmen López-Pérez; Elizabeth García-León; Fabián Pérez-Labrada	1
<b>Manejos regenerativos: productividad y sostenibilidad de los sistemas ganaderos</b> Manuel Alejandro Meléndez-Aldana; Dulce Flores-Rentería; Eduardo Salcedo-Pérez	12
<b>Lactosuero: un residuo con oportunidad biotecnológica en la agricultura</b> Jorge Álvarez-Cervantes; Edna María Hernández-Domínguez; Virginia Mandujano-González	22
<b>Las rizobacterias y su interacción con el fósforo del suelo</b> Marco Polo Carballo Sánchez; Juan José Almaraz Suárez; Sara Monzerrat Ramírez Olvera	30
<b>Subsección IB: Clima</b>	Sin contribuciones aceptadas
<b>Subsección IC: Topografía</b>	
¿Metales pesados en su mesa? Origen y consecuencias María del Pilar Herrera-Mendoza; Laura Sanchez-Castillo; Edmar Meléndez Jaramillo	44
<b>Subsección ID: Organismos</b>	
<b>Cuerpos de agua purificados por bacteriófagos</b> Juan Pablo Cabral-Miramontes; Gerardo Alfonso Anguiano Vega; Estela Ruiz-Baca; Rene Homero Lara Castro	52
<b>La importancia de las herramientas genómicas para el sector agrícola</b> J.L. Ávila-Oviedo; S.G. Adame-Garnica; OV. Montejano-Ramírez	57
<b>Subsección IE: Tiempo</b>	
<b>Revisión de sistemas cerrados y abiertos para producir composta</b> Dulce Jazmín Hernández-Melchor; Ronald Ferrera-Cerrato; Alejandro Alarcón	66
<b>n.a.= No aplica</b>	

| Diciembre 2024 |



Continúa en la siguiente página.



## Contenido

...continuación.

SECCIÓN, SUBSECCIÓN, TÍTULO Y AUTORES		Páginas
<b>SECCIÓN II. PROCESOS DE FORMACIÓN DEL SUELO</b>		
Subsección IIA: Adición		
Micronutrientes: combatir el hambre oculta con la biofortificación Marco Antonio Piñón Balderrama; Geraldine Reyes Barreno; Joel Uber Calzadillas Pinedo; Orlanda T. García-González		73
Subsección IIB: Transformación	Sin contribuciones aceptadas	n.a.
Subsección IIC: Translocación	Sin contribuciones aceptadas	n.a.
Subsección IID: Pérdida	Sin contribuciones aceptadas	n.a.
<b>SECCIÓN III. LA ARCILLA</b>		
Impacto del sistema de pastoreo sobre el suelo Karla Liliana López-García; Dulce Y. Flores-Rentería		30
<b>SECCIÓN IV: HORIZONTES GENÉTICOS MAYORES Y CAPAS</b>		
Subsección IVA: Horizonte O	Sin contribuciones aceptadas	n.a.
Subsección IVB: Horizonte L	Sin contribuciones aceptadas	n.a.
Subsección IVC: Horizonte A	Sin contribuciones aceptadas	n.a.
Subsección IVD: Horizonte E	Sin contribuciones aceptadas	n.a.
Subsección IVE: Horizonte B	Sin contribuciones aceptadas	n.a.
Subsección IVF: Horizonte C	Sin contribuciones aceptadas	n.a.
Subsección IVG: Capa R	Sin contribuciones aceptadas	n.a.
Subsección IVH: Capa M	Sin contribuciones aceptadas	n.a.
Subsección IVI: Capa W	Sin contribuciones aceptadas	n.a.
Sección V. Ciclos del Suelo	Sin contribuciones aceptadas	n.a.
Sección VI. Entisol	Sin contribuciones aceptadas	n.a.

n.a.= No aplica







# 49 CONGRESO MEXICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO

*Departamento de Suelos  
Octubre 13-17, 2025*



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





MESA DIRECTIVA 2023-2025

¡Sigue nuestras  
redes sociales!



**Sociedad Mexicana de la Ciencia  
del Suelo**



Sitio web



Facebook



**Congreso Mexicano de la Ciencia  
del Suelo**



Sitio web



Facebook





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

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

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

**TERRA**  
Latinoamericana



ISSN Electrónico 2395 - 8030

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



## ¿Oro negro? Uso de biocarbón en suelos calcáreos

Mari Carmen López-Pérez<sup>1</sup>,  
Elizabeth García-León<sup>2</sup>,  
Fabián Pérez-Labrada<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Unidad Académica Navojoa. Universidad Estatal de Sonora. Navojoa, Sonora, México.

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle del Fuerte, Guasave, Sinaloa, México.

<sup>3</sup>Departamento de Botánica. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.

\*Autor de correspondencia: fabian.perezl@uaaan.edu.mx Tel.: 844-4647-582

**El biocarbón, un redescubierto oro negro, se vislumbra como una enmienda orgánica para potenciar la producción de cultivos. Su uso puede mejorar el desarrollo de la planta ya que actúa como mediador entre el suelo y los nutrientes, mejora el ambiente edáfico y en condiciones de estrés puede fortalecer las plantas mitigando el daño. Sin embargo, ya que el pH típico del biocarbón suele ser alcalino, su aplicación en suelos calcáreos puede generar dudas y ser descartado como una estrategia en el manejo de este tipo de suelos. Es por ello que vamos a sumergirnos en un corto viaje que nos permita conocer en primera instancia cómo elaborar biocarbón, cuáles son sus principales características, qué funciones puede llevar a cabo en el suelo y finalmente qué estrategias de acondicionamiento pueden aplicarse para ser utilizado en suelos calcáreos.**

### Introducción

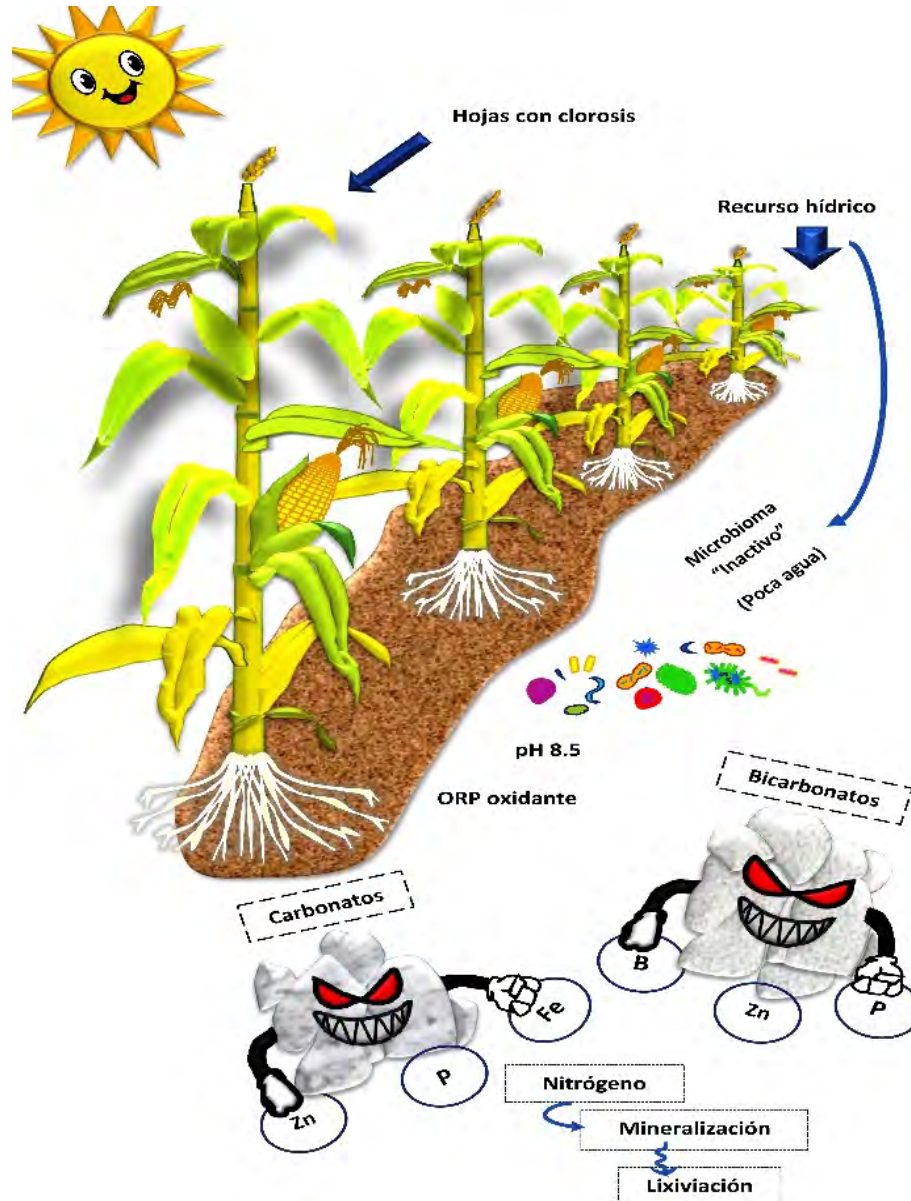
Las plantas están sometidas a una diversidad de factores de estrés bióticos y abióticos que pueden reducir y/o mermar su productividad. Dentro de la gran diversidad de suelos, los suelos calcáreos son uno de los factores abióticos que supone un gran reto para la producción alimentaria a nivel mundial debido a sus características poco favorables para el desarrollo vegetal (elevado pH, potencial de óxido-reducción oxidante, alto contenido de carbonatos-bicarbonatos, poca disponibilidad-movilidad de algunos nutrientes).







Además, este tipo de suelos suele estar asociado con regiones áridas y/o semiáridas por lo que las plantas también pueden estar sometidas a condiciones de alta radiación solar y poca oferta hídrica, lo cual agrava el problema (Figura 1).

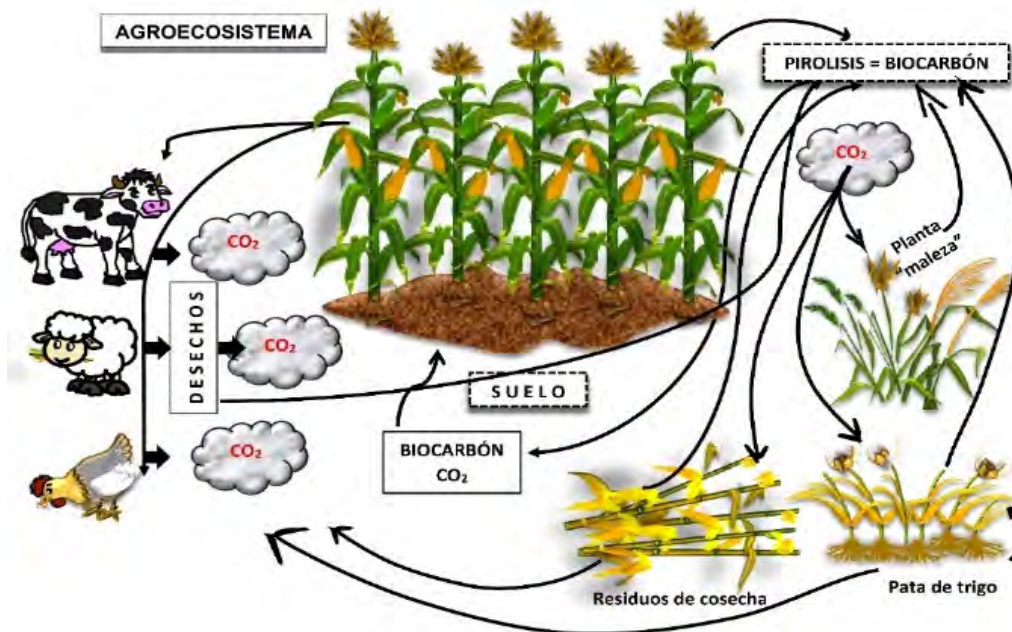


**Figura 1.** Suelo calcáreo como estrés abiótico. Los suelos calcáreos asociados típicamente con climas áridos y semiáridos presentan una serie de desafíos: limitaciones hídricas, intensa radiación solar, alto contenido de carbonatos y bicarbonatos, pH elevado (> 7.5), baja disponibilidad de nutrientes como el hierro, zinc, fósforo, restringida tasa de mineralización de nitrógeno, ambientes edáficos oxidantes y actividad microbiológica mermada.



## Desarrollo

Si bien diversas estrategias han sido estudiadas e implementadas, frente a nosotros y en todas partes puede estar otra solución: ¡las propias plantas! Pero ¿a qué nos referimos? Como sabemos las plantas actúan como una caja fuerte que almacena carbón, por lo tanto, es factible utilizar los residuos de cualquier planta para elaborar biocarbón. En ese sentido, la elaboración de biocarbón implica una agricultura circular sostenible ya que pueden reutilizarse los desechos de cosechas anteriores o bien, la biomasa asociada al agroecosistema. Esta técnica (cuyo origen parece ser en las civilizaciones amazónicas) puede ser usada para manejar el suelo (particularmente suelos calcáreos) a mediano - largo plazo mejorando su calidad fisicoquímica y biológica (Figura 2).



**Figura 2.** Biocarbón como práctica sostenible en el uso de residuos producidos dentro del agroecosistema. Los desechos de cosechas anteriores, rastrojos, estiércoles, plantas maleza, etc. pueden ser utilizados como materia prima en la elaboración de biocarbón permitiendo reintegrar el material dentro del propio sistema.

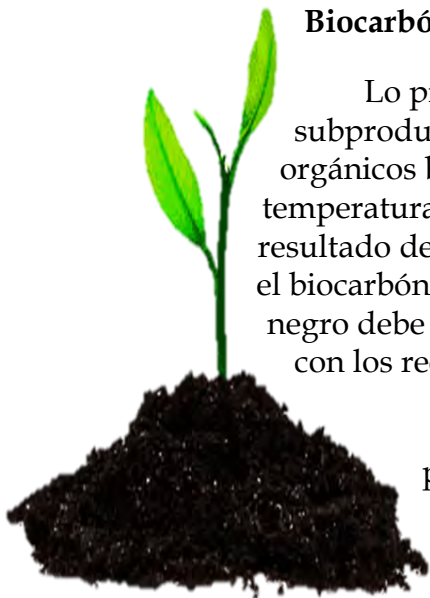




Este 'oro negro' actúa como un pequeño banco que brinda réditos a los cultivos para mejorar su desarrollo. Así una serie de cuestiones salen a flote ¿Qué es el biocarbón? ¿Cómo se produce? ¿Cuáles son sus principales características? ¿Se puede utilizar en suelos calcáreos? Vamos a resolver estas preguntas.

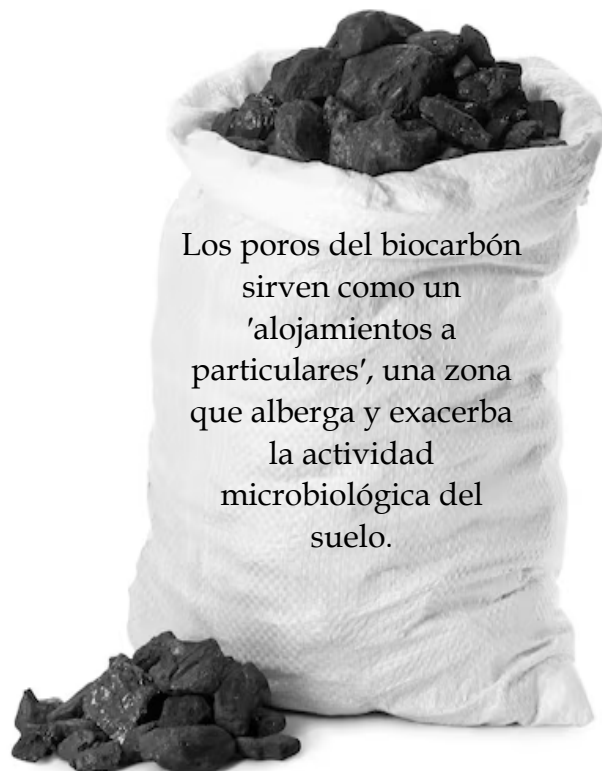
### **Biocarbón a la carta: proceso de elaboración.**

Lo primero que debemos saber es que el biocarbón es un subproducto obtenido de la descomposición térmica de materiales orgánicos bajo condiciones limitantes de oxígeno (pirolisis) y expuestas a temperaturas entre los 250 y 900 °C sin producir combustión; como resultado del proceso se liberan gases (humo), líquidos y residuos sólidos, el biocarbón. El material vegetal o residuo orgánico para elaborar este oro negro debe ser acondicionado (secado y trozado) y enseguida, de acuerdo con los recursos disponibles, sometido a pirolisis (Figura 3).

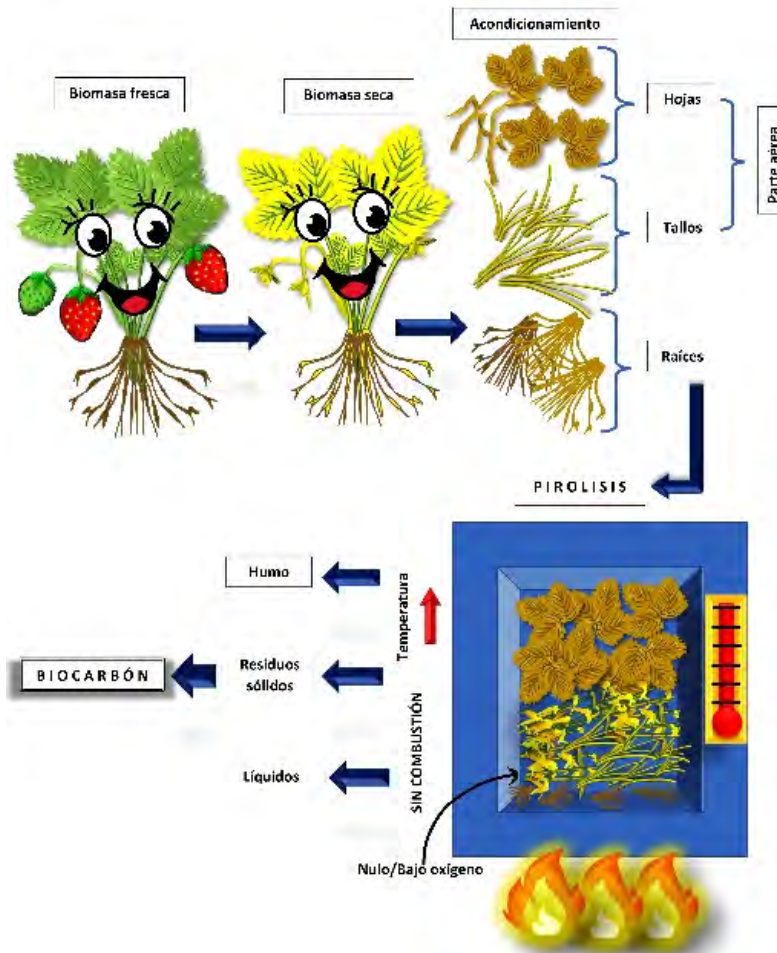


Diversos métodos son propuestos para elaborar biocarbón, sin embargo, una forma sencilla y práctica es utilizar un

contenedor donde agregaremos los residuos vegetales prender fuego para enseguida colocar en la parte superior una tapa con un pequeño escape (limitando el flujo de aire). Otra alternativa es usar dos contenedores: en el contenedor A se coloca el insumo que servirá como fuente de calor y el contenedor B almacenará el material vegetal que dará origen al biocarbón, en este caso el recipiente B se sella y se perfora ligeramente en parte superior y se coloca dentro del contenedor A. También se puede usar una muffla pero limitando el oxígeno. Los métodos antes citados difieren en el nivel del control de la temperatura, en cualquiera de ellos lo importante es limitar el oxígeno evitando la combustión.



Los poros del biocarbón sirven como un 'alojamientos a particulares', una zona que alberga y exagera la actividad microbiológica del suelo.



**Figura 3.** Elaboración de biocarbón. Inicialmente los residuos del agroecosistema (rastrajo, estiércol de ganado, paja, etc.) se colectan, secan y seccionan para someterse a pirolisis a temperatura y tiempo requerido. Trascurrido el tiempo de exposición los residuos sólidos (biocarbón) se enfrían a temperatura ambiente, pudiendo molerse nuevamente, para finalmente almacenarse hasta su uso.

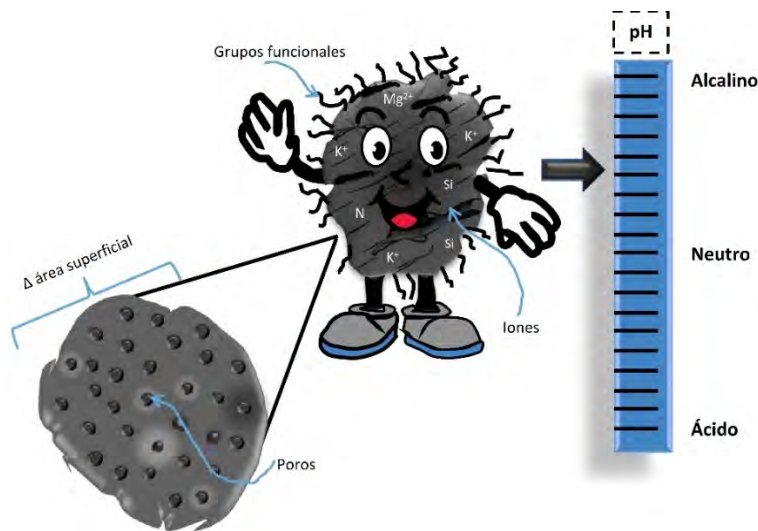
Es importante señalar que durante la descomposición térmica se debe tener especial atención en el incremento de temperatura, la temperatura máxima y el tiempo de permanencia del material a la temperatura máxima. Es decir, exponer los residuos vegetales a un incremento paulatino y controlado de temperatura hasta llegar a la temperatura máxima donde debe estabilizarse y mantenerse por un tiempo determinado. El monitoreo de la temperatura es fundamental, lo cual puede lograrse con el uso de un termopar. Una vez elaborado el biocarbón (sólido bruto) este se expone a temperatura ambiente y se almacena hasta su uso, pudiendo molerse para tener un tamaño de partícula más pequeño.





### pH alcalino: la marca del biocarbón.

El material vegetal, el incremento de la temperatura y el tiempo de exposición del material vegetal a la máxima temperatura provocan que una gran cantidad de moléculas se transformen en gases, líquidos, moléculas más pequeñas y 'cadenas' o grupos funcionales, las cuales son específicas para cada biocarbón. Estas pequeñas 'cadenas' tienen un papel vital porque aseguran al biocarbón su capacidad de retener, adsorber, absorber o liberar iones, atraer agua o reaccionar con los componentes del suelo. Así mismo, algunos nutrientes del material vegetal se concentran en mayor proporción en el sólido pirolizado, principalmente el potasio ( $K^+$ ). Lo anterior establece el pH típico del biocarbón, un pH alcalino (inclusive hasta valores de 12). Aunado a lo anterior el biocarbón presenta una gran cantidad de 'pequeñas cavernas' en su superficie (micro, macro y mesoporos). Igualmente, esta enmienda, además de ser rica en carbón (>90%), presenta elevada área superficial, buena capacidad de intercambio catiónico y presencia de iones minerales (Figura 4).



**Figura 4.** Características especiales del biocarbón.

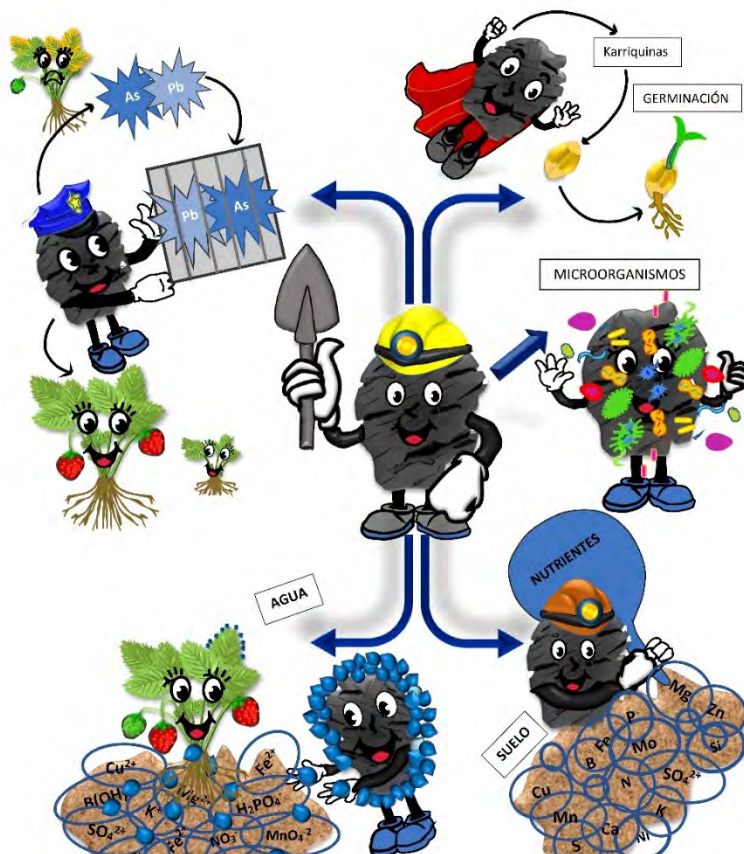
### Biocarbón trabajando.

El biocarbón puede llevar a cabo múltiples funciones (Figura 5). Una de ellas es la promoción de la germinación de las semillas debido a que las 'cadenas' al unirse al carbón originan nuevos compuestos con un carácter parecido al ácido giberélico, llamados karriquinas. El impacto positivo en varias semillas ha sido documentado en diversos estudios, únicamente debemos cuidar la dosis a utilizar.



Imaginemos ahora que en el suelo existiera una pequeña red que pudiera brindar nutrientes a la planta cuando esta los requiera, pues este sólido negruzco, además de aportar sus nutrientes al suelo y a la planta puede actuar como una esponja que atrae y pone disponibles iones para la planta, lo cual es un aliciente muy interesante para cultivos desarrollados en suelos calcáreos.

Al tener una gran cantidad de pequeños poros, el biocarbón, puede retener con mayor facilidad moléculas de agua, lo cual resulta de vital interés en el manejo de las condiciones hídricas del suelo; evitando o reduciendo los daños por déficit hídrico que pueden exacerbarse en suelos calcáreos. Se ha documentado que estos mismos poros sirven como 'alojamientos a particulares', una zona que alberga y exagera la actividad microbiológica del suelo, mejorando las condiciones de la rizósfera y por ende las condiciones de desarrollo de la planta y, en mayor medida, en suelos calcáreos.



En suelos contaminados con metales pesados o con algunos compuestos nocivos, el biocarbón actúa como un 'detective' que atrae y logra retener estos compuestos protegiendo o reduciendo el daño potencial a la planta; esto se debe a la capacidad de intercambio catiónico y grupos funcionales presentes en el biocarbón que al interactuar electrostáticamente con el metal pesado logra 'amarrarlo y pegarlo' sobre su superficie o bien pueden cambiar la forma del metal a una menos móvil y peligrosa para la planta.

Figura 5. Funciones del biocarbón en suelos.

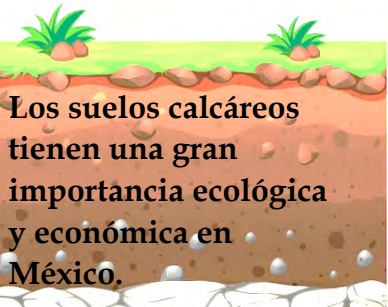




## Un poco de color en suelos calcáreos.

El impacto positivo del biocarbón en la producción de cultivos en suelo ha sido demostrado de acuerdo con la literatura científica, sin embargo, en suelos calcáreos su uso puede acarrear dudas. Antes de continuar es necesario mencionar que este

tipo de suelos tiene una gran importancia ecológica y económica en México, pues abarca gran extensión del territorio nacional, principalmente zonas productoras de cultivos como uva, nogal, melón, sandía, sorgo, espárrago, frijol, dátil, tomate, maíz, papa, etc.



Los suelos calcáreos tienen una gran importancia ecológica y económica en México.

Este tipo de suelos presentan un gran reto para la producción de alimentos, ya que, además de los estreses hídricos y lumínicos, su elevado pH puede inducir en la planta deficiencias de hierro (Fe), boro (B), zinc (Zn), manganeso (Mn), fósforo (P) e inclusive nitrógeno (N). Bajo este panorama poco alentador, el biocarbón aparece como una alternativa sostenible. Además de dar color negro, literalmente, a estos suelos (Figura 6), veamos ahora cómo el biocarbón brinda sus beneficios.

Estudios demuestran que el biocarbón con pH elevado no induce un aumento significativo del pH del suelo e inclusive puede reducir ligeramente este parámetro en un mediano - largo plazo debido a su 'maduración' y a los grupos funcionales presentes en la superficie del biocarbón. De igual manera, esta enmienda por una parte permite liberar nutrientes hacia el agua de los poros del suelo y por otra minimiza la lixiviación de ciertos iones. Igualmente, este material altamente estable mejora la actividad microbiológica y enzimática del suelo calcáreo permitiendo el desarrollo de la planta. Así mismo, por su estructura porosa puede promover una mayor retención de humedad, parámetro muy adecuado para suelos calcáreos.

La concatenación de estos parámetros mejora las condiciones rizosféricas de las plantas cultivadas en suelo calcáreo, promoviendo un crecimiento más adecuado.

Persistencia de biocarbón en suelo calcáreo 1 año después de su aplicación.



Figura 6. Cambio de coloración en suelos calcáreos por efecto del biocarbón.



Si la preocupación aún persiste en el usar biocarbón en suelos calcáreos, este sólido puede ser i) sometido a un proceso de acidificación previo o posterior a la pirolisis ya sea con ácidos fuertes y/u orgánicos o bien ii) funcionalizar con algún elemento en particular, es decir 'pegar' algún ion en la superficie del biocarbón; lo cual se logra embebiendo el biocarbón en una solución del ion de interés.



El biocarbón se vislumbra como una enmienda ecológica en el sistema de producción de cultivos.

Estas dos estrategias permiten que el biocarbón modificado (-acidificado y/o -funcionalizado) presente un pH menos alcalino y/o esté enriquecido con algún ion de interés, por ejemplo, fósforo, hierro o zinc.

Este 'biocarbón recargado' al ser aplicado en suelos calcáreos puede provocar micrositios de pH ácido que pueden promover un ambiente más idóneo para el desarrollo del sistema radicular o bien puede liberar paulatina y sostenidamente iones hacia la solución de poros del suelo.

### Conclusión

El biocarbón es un recurso de fácil elaboración que puede mejorar la producción de alimentos. En suelos calcáreos su uso puede mejorar el ambiente rizosférico permitiendo un desarrollo adecuado de la planta. Sin embargo, aún existe un gran vacío de información respecto del uso del biocarbón en este tipo de suelos, por lo que es necesario trabajar y comprender más sobre el papel que juega este recurso en suelos calcáreos al aplicarse en diferentes dosis y en distintos cultivos con miras en estandarizar su uso.





### Literatura recomendada

Escobar, T. C. P., & Carlosama, A. R. (2021). Impacto del biocarbón en el suelo agrícola. *Avances Investigación en Ingeniería*, 18(2).

Pérez-Cabrera, C. A., Juárez-Lopez, P., Anzaldo-Hernández, J., Alia-Tejacal, I., Salcedo-Pérez, E., & Balois-Morales, R. (2021). Beneficios potenciales del biocarbón en la productividad de cultivos agrícolas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(4), 713-725.  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v12i4.2542>

Vilca, K., Rodríguez, S., Atarama, U., Cueva, C., Concha, W. J., Atausupa, M. A., & Gosgot, W. (2022). Pirólisis: una revisión de conceptos y aplicaciones en la gestión de residuos sólidos. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 6(1), 43-56. DOI:  
<https://doi.org/10.25127/aps.20221.854>:

### Semblanzas de autores

**Mari Carmen López-Pérez.** Ingeniero en Agrobiología, con Maestría en Ciencias en Horticultura y Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida. Actualmente desempeña funciones de profesor – investigador PTC en la Universidad Estatal de Sonora, Unidad Académica Navojoa. Su línea de investigación corresponde a Fisiología y Nutrición Vegetal y postcosecha.

**Elizabeth García-León.** Ingeniero Agrónomo Especialista en Parasitología Agrícola, cuenta con Maestría en Ciencias en Protección Vegetal y Doctorado en Ciencias en Fitopatología. Actualmente es investigadora titular del área de Fitopatología del Campo Experimental Valle del Fuerte (INIFAP) y profesora investigadora externa de la Maestría en Fitopatología y Medio Ambiente (UADEO Unidad Los Mochis).

**Fabián Pérez-Labrada.** Cuenta con Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida. 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 abiótico (suelos calcáreos, alcalinidad, salinidad, irradiación) y biótico (patógenos).

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>



MESA DIRECTIVA 2023-2025

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



# La Universidad Autónoma Chapingo será sede del 49 Congreso Mexicano de la Ciencia del Suelo!

**Muchas gracias al Departamento  
de Suelos por su propuesta.**



#49cmcsChapingo2025

Más información







# Manejos regenerativos: productividad y sostenibilidad de los sistemas ganaderos

Manuel Alejandro Meléndez-Aldana<sup>1\*</sup>  
Dulce Flores-Rentería<sup>2</sup>  
Eduardo Salcedo-Pérez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Doctorado en Ciencias en Biosistemática, Ecología y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas-Universidad de Guadalajara.

<sup>2</sup>Conahcyt-Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Cinvestav Saltillo. Posgrado en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía.

<sup>3</sup>Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias-Universidad de Guadalajara. Carretera a Nogales, km 15.5, Predio Las Agujas, Zapopan, Jalisco, México.

\*Autor para correspondencia: manuel.melendez7621@alumnos.udg.mx.

**La ganadería es cuestionada constantemente por ser generadora de aspectos ambientales negativos, sin embargo, un nuevo enfoque de producción denominado regenerativo, surge como una posible respuesta a la problemática del deterioro ambiental provocado por esta actividad agropecuaria. Ya que propone un cambio de paradigma en la forma en que manejamos nuestros sistemas de producción animal. El tipo de manejo ganadero regenerativo, los años de implementación de estas prácticas, la ecorregión y el tipo de suelo son fundamentales para explotar al máximo el potencial productivo de los potreros, así como para garantizar la sostenibilidad de los sistemas ganaderos.**

## Introducción

La degradación del suelo es una amenaza creciente para la seguridad alimentaria global y la estabilidad de los ecosistemas. En respuesta a este desafío, emerge la ganadería regenerativa: un enfoque holístico que no solo busca producir alimento, si no, también restaurar y mejorar el suelo.





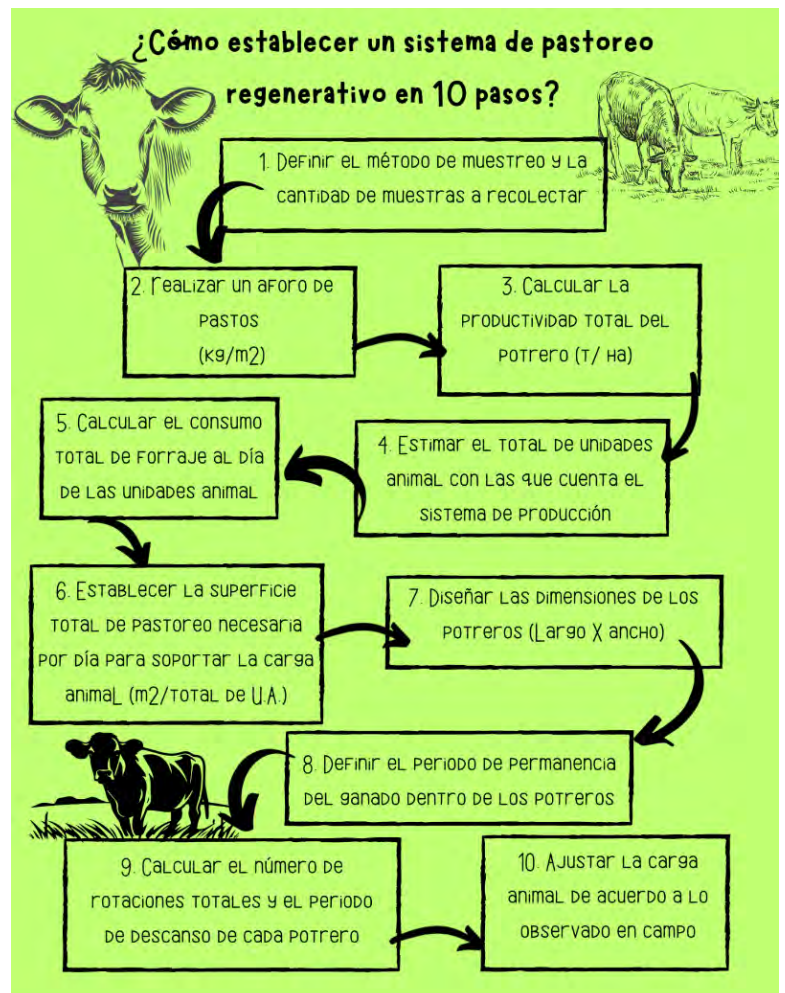
Este tipo de manejo ganadero propone un enfoque que imita los procesos naturales de los ecosistemas de pastizales, donde grandes herbívoros jugaron históricamente un papel crucial en el mantenimiento de suelos fértiles y biodiversos. A diferencia de las prácticas ganaderas convencionales, que a menudo generan impactos ambientales negativos como; compactación, erosión y desertificación, así como, pérdida de materia orgánica y alteración de la estructura y biodiversidad del suelo, este enfoque busca aumentar la capacidad de secuestrar carbono, mejorar la retención de agua y fomentar la biodiversidad microbiana del suelo.



Por otro lado, Jalisco es el principal productor pecuario a nivel nacional con un 20.9% de la producción total, cuenta con más de 3.4 millones de cabezas de ganado que generan más de 249 mil toneladas anuales de carne de bovino, adicionalmente el estado cuenta con seis de las ocho ecorregiones de México que van desde los pastizales y matorrales xerófilos, hasta bosque templado subhúmedo, pasando

por la selva baja caducifolia, las cuales representan una gran variedad de características ecológicas. Esta variedad genera una compleja interacción entre los factores climáticos, edáficos y prácticas de manejo productivo.

A pesar de lo anterior, en la actualidad existe poca información científica que demuestre el efecto de las prácticas de manejo regenerativo, la ecorregión y la época del año en la productividad del potrero, la tasa de almacenamiento de carbono y las mejoras en los parámetros de salud del suelo. Es por ello, que este trabajo busca brindar evidencias que demuestren los beneficios productivos y ambientales de implementar dichas prácticas ganaderas.







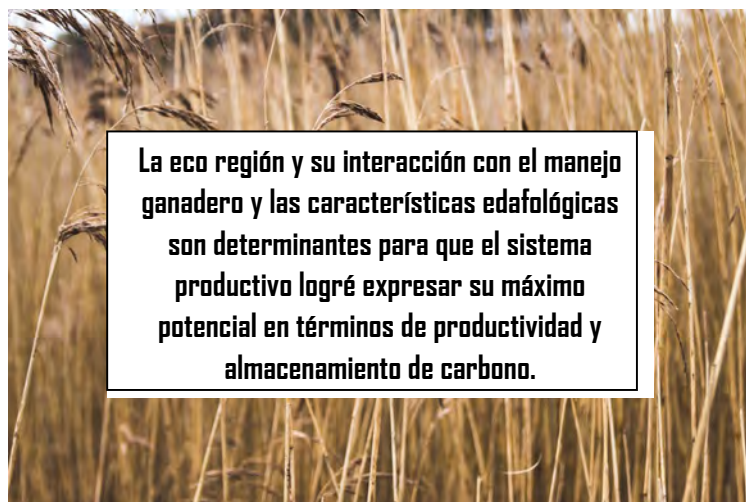
## Desarrollo



Recientemente, se ha generado el interés de buscar alternativas de manejos ganaderos, que además de incrementar la productividad, también contribuyan a reducir los impactos al ambiente, o, inclusive, logren recuperar los recursos naturales degradados y que coadyuven a revertir los efectos del calentamiento global y cambio climático. Debido a lo anterior, la ganadería regenerativa surge como una respuesta a los desafíos ambientales y productivos globales, proponiendo un cambio de paradigma en la producción animal. Al integrar conceptos como la carga animal óptima, el periodo de ocupación y descanso de los potreros, y diversos métodos de pastoreo intensivo, este enfoque parece no solo mitigar los impactos negativos de la ganadería, sino también revertir activamente la degradación del suelo.

## Ecorregiones de estudio

Este estudio se circunscribe en tres ecorregiones de Jalisco (Pastizales y matorrales Xerófilos, Selva baja caducifolia y Bosque templado subhúmedo), en un gradiente climático que incluye las regiones árida-semiárida (municipio de Tepatitlán de Morelos), templada (Tlajomulco de Zúñiga) y cálida (El Limón); donde se describen diversos manejos de ganadería regenerativa y su relación con la capacidad de almacenamiento de carbono en el suelo y la productividad forrajera de los potreros. Los datos de productividad, contenido de carbono, densidad aparente y materia orgánica del suelo, se tomaron directamente en campo en dos épocas del año (seca y húmeda) siguiendo el protocolo de evaluación de manejo sostenible del suelo de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).



**La eco región y su interacción con el manejo ganadero y las características edafológicas son determinantes para que el sistema productivo logre expresar su máximo potencial en términos de productividad y almacenamiento de carbono.**

## Pastoreo racional Voisin y la alta productividad forrajera

En la región árida-semiárida se encuentra el rancho Pueblo Viejo, en el cual se ha implementado un sistema de pastoreo intensivo no selectivo en combinación con pastoreo racional Voisin por más de seis años.



La base de su manejo es permitir periodos de descanso de hasta 216 días, realizar rotaciones rápidas (cada seis horas) y mantener una alta carga animal instantánea, de hasta 1184 UA ha<sup>-1</sup>. Esto es posible, ya que, logran obtener una productividad de 3 t ha<sup>-1</sup> de biomasa forrajera durante la época seca del año y de 53 t ha<sup>-1</sup> en la época húmeda. Este manejo les da como resultado una tasa de almacenamiento de carbono de 31 t C

ha<sup>-1</sup>. Las características del suelo dominante en este rancho son el luvisol férrico y feozem háplico, con una textura franco-arcillosa, la densidad aparente del suelo es de 0.98 g cm<sup>3</sup> y un contenido de materia orgánica del 4 %.

### **Pastoreo de ultra alta densidad y su impacto en la tasa de almacenamiento de carbono**

Por otro lado, el rancho el Centro de Investigación Agropecuaria y del Medio Ambiente de Tlajomulco (CIAMAT) se ubica en la región templada. En este caso, este sitio lleva dos años implementando prácticas de manejo regenerativo; sin embargo, es el que presenta una mayor tasa de almacenamiento de carbono alcanzando un total de 46t C ha<sup>-1</sup>.



El tipo de manejo regenerativo que desarrollan en el CIAMAT es un pastoreo de ultra alta densidad, el cual llevan a cabo a través de una alta carga animal instantánea de hasta 504 U.A. ha<sup>-1</sup>, con rotaciones rápidas cada ocho horas y periodos de descanso cortos de hasta 60 días.

La productividad que alcanzan los potreros en este rancho bajo este tipo de manejo es de 22t ha<sup>-1</sup> en época húmeda y de 6t ha<sup>-1</sup> en secas.





Los tipos de suelos más comunes en este rancho es el vertisol y el feozem, y se lograron identificar dos tipos diferentes de texturas; franco arcilloso y franco arenoso. La densidad aparente de este sitio es de  $1.00 \text{ g cm}^3$  y la materia orgánica es de 4.4 %.

**Figura 1.** División de potreros de acuerdo con el sistema de pastoreo de ultra alta densidad en el rancho CIAMAT.

### Sistema silvopastoril y pastoreo intensivo no selectivo en la región Cálida

Finalmente, en la región Cálida se encuentra el rancho Las piletas, el cual ha implementado manejo regenerativo como lo es el pastoreo intensivo no selectivo y el sistema silvopastoril por aproximadamente 5 años. En este caso, es el rancho que maneja una carga animal instantánea más baja con  $195 \text{ U.A ha}^{-1}$ ; además, es el que muestra una menor productividad de los potreros con casi  $9 \text{ t ha}^{-1}$  en época húmeda y  $7 \text{ t ha}^{-1}$  en época seca. Sin embargo, cabe resaltar que la diferencia en productividad entre épocas del año no es muy grande, lo que permite implementar los sistemas de pastoreo regenerativo de una forma más uniforme durante todo el año. Los periodos de descanso que manejan son de alrededor de 105 días y a través de este tipo de manejo logran obtener una tasa de almacenamiento de carbono de  $42 \text{ t C ha}^{-1}$ . Las características del suelo dominante en los predios del rancho “Las piletas” son el litosol y regosol eútrico, con una textura franco-arcillo-arenosa, una densidad aparente de  $0.89 \text{ g cm}^3$  y una materia orgánica del 4.6 %.



**Al integrar conceptos como la carga animal óptima, la capacidad de carga de los potreros, y diversos métodos de pastoreo intensivo, este enfoque promete no solo mitigar los impactos negativos de la ganadería, sino también revertir activamente la degradación del suelo.**



## Efecto de los factores ecorregión y manejo regenerativo en la productividad y salud del suelo

De acuerdo con lo observado en cada uno de los sitios, la ecorregión y su interacción con el manejo ganadero y las características edafológicas son determinantes para que el sistema productivo pueda expresar su máximo potencial en términos de productividad y almacenamiento de carbono.



**En un mundo donde la degradación del suelo amenaza la seguridad alimentaria global y la estabilidad de los ecosistemas, emerge un enfoque innovador que promete no solo mantener, sino regenerar nuestros preciados recursos edáficos: la ganadería regenerativa.**

Cabe resaltar que la ecorregión templada, con un manejo de pastoreo de ultra alta densidad, pero con menos años de implementación es la que mostró tener una mayor tasa de almacenamiento de carbono en el suelo, probablemente, debido a sus características edafológicas. Por el contrario, la región Cálida, con manejos pastoreo intensivo no selectivo y silvopastoril, es la que obtuvo menores parámetros de productividad y de almacenamiento de carbono, esto puede ser debido a que es el rancho que maneja una menor intensidad de carga animal, derivado de las propias características de topografía del potrero. Finalmente, el rancho Pueblo viejo que se encuentra en la región árida-semiárida es el que lleva

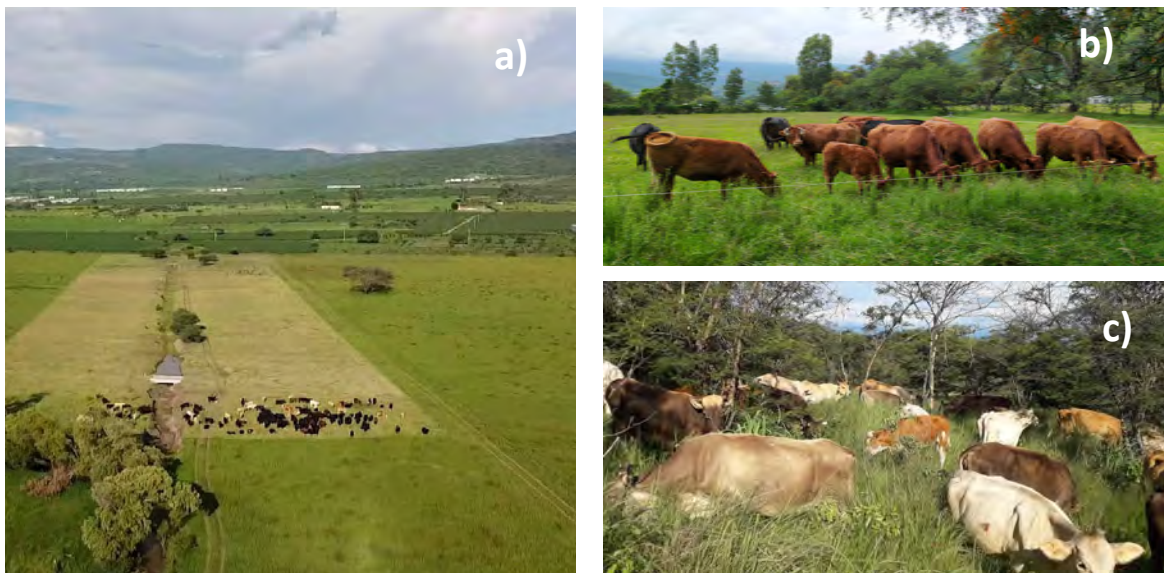


más años implementando el manejo de pastoreo regenerativo, es el que aplica una mayor intensidad de carga animal y obtuvo el mayor nivel de productividad del potrero, solamente durante la época húmeda.

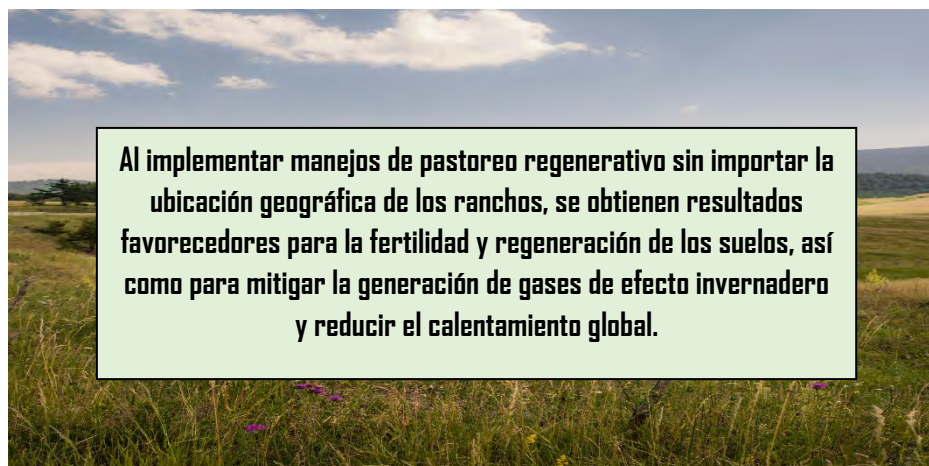




Sin embargo, es el rancho que muestra una menor tasa de almacenamiento de carbono, esto puede deberse a que este sitio es el que presenta condiciones de precipitación, temperatura y humedad ambiental más adversas, aun así, el manejo implementado en este rancho ha permitido una mayor cantidad de producción de biomasa forrajera de los tres ranchos evaluados, sin embargo, es fundamental contar con humedad en el suelo para que esto puede llevarse a cabo.



**Figura 2.** a) Rancho Pueblo viejo implementando pastoreo intensivo no selectivo. b) Centro de investigación agropecuaria y del medio ambiente de Tlajomulco (Rancho CIAMAT) con un manejo de pastoreo de ultra alta densidad. c) Rancho Las piletas con sistema silvopastoril.





**Tabla 1.** Descripción de los manejos regenerativos por ecorregión.

	Ecorregión		
	Árida-semiárida	Templada	Cálida
<b>Tipo de manejo regenerativo</b>	Pastoreo intensivo no selectivo- Pastoreo racional Voisin	Pastoreo de ultra alta densidad	Pastoreo intensivo no selectivo- Silvopastoril
<b>Años de implementación</b>	6	2	5
<b>Periodo de descanso (días)</b>	216	60	105
<b>Periodo de ocupación (horas)</b>	6	8	8
<b>Carga animal instantánea (UA ha<sup>-1</sup>)</b>	1184	504	195
<b>Productividad forrajera (t ha<sup>-1</sup>)</b>	53	22	9
<b>Tasa de almacenamiento de carbono (t C ha<sup>-1</sup>)</b>	31	46	42
<b>Densidad aparente (g cm<sup>3</sup>)</b>	0.98	1	0.89
<b>Materia orgánica (‰)</b>	4	4.4	4.6

### Conclusiones

La investigación realizada, confirmó que los tres ranchos ganaderos mostraron una alta tasa de almacenamiento de carbono en el suelo. De igual forma, los parámetros de densidad aparente y de materia orgánica encontrado en los tres sitios están dentro de lo que se considerarían indicadores óptimos de salud del suelo, esto conforme al protocolo de evaluación de manejo sostenible del suelo de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).





Por lo que podemos inferir que, al implementar manejos de pastoreo regenerativo, independientemente de la región en la que se lleve a cabo la actividad ganadera, se obtienen resultados favorecedores para la fertilidad y regeneración de los suelos, así como el propiciar un balance positivo entre emisiones y almacenes de CO<sup>2</sup> derivados de las actividades ganaderas.



Por otro lado, se observa una alta productividad primaria de los potreros, sobre todo durante la época húmeda del año. Esto se traduce en mayor cantidad de alimento para el ganado. En consecuencia, se confirma que el manejo regenerativo sirve como una herramienta para incrementar la productividad, así como para reducir la degradación de los suelos y el impacto ambiental generados por las actividades ganaderas, lo que mejora la sostenibilidad de los sistemas productivos. Finalmente, el presente trabajo brinda información relevante para la toma de decisiones de los ganaderos que buscan implementar prácticas productivas más

sustentables, así mismo, sirve como base para seguir evaluando los factores productivos más relevantes que influyen sobre los parámetros de salud del suelo de sistemas ganaderos.

### Literatura recomendada

Bautista-García, G., López-Ortiz, S., Murillo-Cuevas, F. D., Pérez-Hernández, P., Ortega-Jiménez, E., & López-Collado, C. J. (2022). Estudio preliminar del pastoreo racional Voisin como herramienta para mejorar las condiciones del suelo después del pastoreo extensivo. *Terra Latinoamericana*, 40.

Hernández, A. P., Arellano, A. M. G., Olgún, T. R. S., Martínez, D. A. C., & Velázquez, J. D. (2023). Sistema de pastoreo de ultra alta densidad como alternativa en la mejora de los sistemas productivos. *Brazilian Journal of Development*, 9(11), 29465-29480.

Teague, R., & Kreuter, U. (2020). Managing grazing to restore soil health, ecosystem function, and ecosystem services. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 534187.





## Semblanzas de autores

**Manuel Alejandro Meléndez Aldana.** Médico Veterinario Zootecnista por el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara y Maestro en Ciencias en Agronegocios Internacionales y Desarrollo Rural por la Universidad de Talca (Chile) y la Universidad de Göttingen (Alemania). Estudia la dinámica del C en diversos sistemas de pastoreo de ganado y su relación con eco regiones.

**Dulce Yaahid Flores Rentería.** Doctora en Ecología por la Universidad Autónoma de Madrid. Investigadora por México comisionada al Cinvestav Saltillo. Autora de reportes del Panel Intergubernamental de Cambio Climático y del Programa Ambiental de las Naciones Unidas, especialista en degradación de la tierra. Estudia el efecto antropogénico sobre el estado de salud del suelo.

**Eduardo Salcedo Pérez.** Doctor en Edafología por el Colegio de Postgraduados. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel 1. Ha realizado investigaciones referentes al manejo de residuos orgánicos para mejorar la fertilidad del suelo y el estado orgánico del mismo.







# Lactosuero: un residuo con oportunidad biotecnológica en la agricultura

Jorge Álvarez-Cervantes<sup>1\*</sup>  
Edna María Hernández-Domínguez<sup>1</sup>  
Virginia Mandujano-González<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ingeniería en Biotecnología, Cuerpo Académico Manejo de Sistemas Agrobiotecnológicos Sustentables, Universidad Politécnica de Pachuca, Zempoala 43830, Hidalgo, México

<sup>2</sup>Ingeniería en Biotecnología, Laboratorio Biotecnología, Universidad Tecnológica de Corregidora, Santiago de Querétaro 76900, Querétaro, México

\*Autor para correspondencia: 85acjorge@gmail.com, jorge\_ac85@upp.edu.mx, +52 791 1000 209

**El lactosuero se obtiene durante la elaboración de diferentes quesos. Por su composición química, es necesario realizar un tratamiento para que, al momento de ser descargado, no cause daños al medio ambiente. Una alternativa de su uso es en la agricultura, ya que representa una fuente de nutrientes para los microorganismos del suelo, así como para las plantas durante su crecimiento.**

## Introducción

La industria láctea genera una gama de productos a partir de la transformación de la leche. Entre los productos que se obtienen, se destacan: leche, queso, mantequilla, yogur y bebidas fermentadas. El gusto por estos alimentos se debe a su sabor, consistencia, aporte nutricional y beneficios en la salud. Para atender la alta demanda de estos productos a nivel mundial por el aumento de la población, se ha incrementado la producción en la industria láctea y, por lo tanto, la generación de subproductos o residuos agroindustriales; siendo el lactosuero, un residuo de la industria alimentaria que se produce en altas cantidades a nivel mundial y que es altamente contaminante si no se le realiza un tratamiento adecuado. Por ello, hoy te vamos a presentar un poco acerca de este residuo y cómo podemos valorizar su recuperación para su posible uso en la agricultura mediante procesos biotecnológicos, amigables con el medio ambiente.





La industria quesera a nivel mundial, utiliza como principal materia prima la leche, la cual, se puede obtener de cabra, oveja y vaca; siendo el ganado vacuno, a nivel comercial, el de mayor uso y aporte. Dependiendo del proceso que se realice en la obtención de los derivados de la leche, siempre se obtendrá un líquido amarillento comúnmente conocido como lactosuero, suero de leche o suero de queso el cual, es considerado como el principal residuo de la industria quesera; se ha reportado que por cada 10 L de leche se obtienen de 1 a 2 kg de queso y de 8 a 9 L de lactosuero.

### Pero ¿sabes cómo se obtiene?

Durante la elaboración del queso, una proteína presente en la leche llamada caseína se coagula y se separa del agua dando origen al lactosuero (Figura 1), por su composición, contiene agua, azúcar (lactosa), proteína, grasa y sales minerales. Las altas cantidades de estos componentes hacen que este residuo sea altamente contaminante para cuerpos de agua, suelo, flora y fauna. Es decir, por la falta de tecnología para su recuperación, el lactosuero es descargado en cuerpos de agua como ríos, lagunas, drenaje o alcantarillado sin algún tratamiento (Figura 2). La falta de conciencia por las industrias y el poco aporte económico de las mismas para implementar estrategias de tratamiento del lactosuero, han originado severos problemas ambientales en las regiones que se utilizan para su descarga.



**Figura 1.** Elaboración de queso Oaxaca y obtención de lactosuero, el cual se muestra en la imagen como un líquido amarillento y de consistencia acuosa.



**Figura 2.** Efectos del lactosuero en el medio ambiente. a) Descarga y contaminación en ríos. b) Problemas de erosión del suelo. c) Filtración de lactosuero en suelo y contaminación de agua subterránea. d) Muerte de flora y fauna por contaminación de agua. Y e) daño en cultivos por uso de agua contaminada con lactosuero.



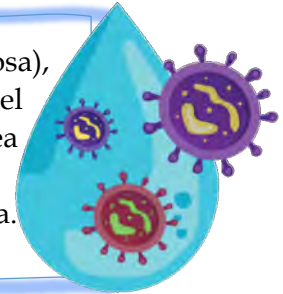


## Impacto del lactosuero en el medio ambiente

Su impacto en cuerpos de agua se debe principalmente a la alta cantidad de nitrógeno y fósforo, así como de elementos orgánicos, que provocan un incremento en los nutrientes y, por lo tanto, la proliferación descontrolada de algas, así como de otros microorganismos.

Su descarga en el suelo incrementa la cantidad de minerales y, por lo tanto, un aumento en la salinidad, provocando un desequilibrio en la conductividad eléctrica del suelo, lo que conlleva a una mala calidad y un bajo desarrollo de plantas, debido a que limita el adecuado transporte de nutrientes.

Las altas cantidades de azúcar (lactosa), proteína, grasa y sales minerales en el lactosuero hacen que este residuo sea altamente contaminante para cuerpos de agua, suelo, flora y fauna.



Pero no solo afecta a estos sistemas, también podemos observar una alteración en el aire. ¿Pero cómo es esto posible? Cuando el lactosuero se descarga sin ningún tratamiento, desprende malos olores que impactan en la calidad del aire y en el

ambiente en el que se encuentra. Puede pasar por un proceso fermentativo que produce gases de efecto invernadero como: metano y dióxido de carbono.

No obstante, todos estos sistemas al ser alterados por la contaminación de este residuo al final impactan directamente en la

biodiversidad de ecosistemas acuáticos y disminución o hasta la pérdida de hábitats de flora y fauna, por el desequilibrio en los diferentes niveles nutricionales de agua y suelo antes mencionados, que no pueden soportar tanto plantas como animales.



El lactosuero, es un residuo de la industria alimentaria que se produce en altas cantidades a nivel mundial y que es altamente contaminante si no se realiza un tratamiento adecuado.



### ¿Cómo podemos ocupar el lactosuero?

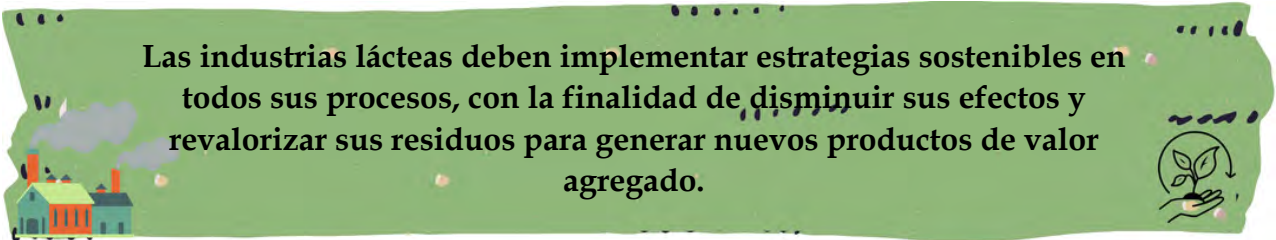
Como ya hemos visto, este residuo contiene elementos nutricionales (proteínas, carbohidratos y minerales) que pueden ser aprovechados para generar otros beneficios. Pero muy pocas veces se recupera para obtener otros productos de valor agregado como: confitería, bebidas funcionales, energéticas y fermentadas, mantequilla de suero, ácido láctico, fórmulas lácteas, cultivos iniciadores o biomasa microbiana. Su valorización dependerá del tipo de industria y tecnología con la que se cuente, pero es importante tener en cuenta que es necesario realizar un tratamiento adecuado, buscar formas para su reutilización, disminuir la producción de lactosuero por medio de prácticas sostenibles, así como generar conciencia ambiental mediante una educación que difunda los impactos negativos del lactosuero en nuestro planeta.



Por lo tanto, las industrias lácteas deben implementar estrategias sostenibles en todos sus procesos, con la finalidad de disminuir sus efectos y revalorizar sus residuos para generar nuevos productos de valor agregado.

Uno de ellos, puede ser en la agricultura, en donde se están buscando nuevos productos que sean amigables con el medio ambiente. Por ejemplo, los bioestimulantes, se elaboran a partir de sustratos o microorganismos o sus metabolitos para favorecer el crecimiento y desarrollo de plantas, así como, de mejorar el estado de salud de estas.

**Las industrias lácteas deben implementar estrategias sostenibles en todos sus procesos, con la finalidad de disminuir sus efectos y revalorizar sus residuos para generar nuevos productos de valor agregado.**

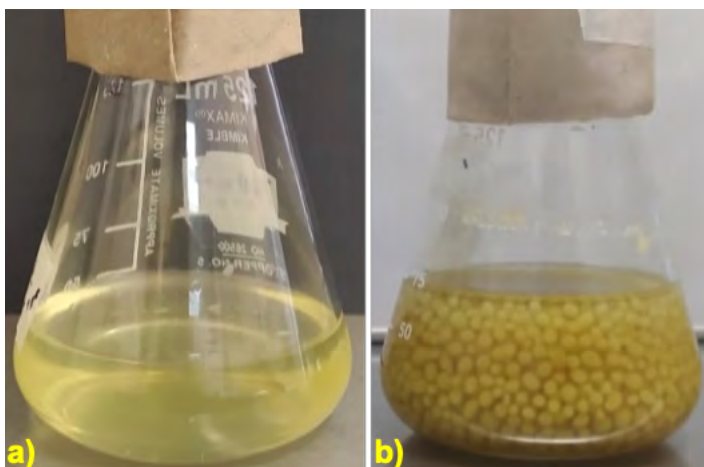






### Uso del lactosuero en la agricultura

Para su uso en este sector es necesario realizar un tratamiento biológico previo (Figura 3) con el uso de microorganismos que utilicen los nutrientes del residuo y generen un producto para su aprovechamiento en el campo. Estos microorganismos emplean los azúcares como fuente de energía, las proteínas en el aporte de nitrógeno y los minerales como el calcio, fósforo y potasio para su crecimiento y desarrollo. Es importante mencionar que la capacidad de un microorganismo para crecer en lactosuero dependerá de su capacidad para utilizar los nutrientes presentes en el medio y de su tolerancia a las condiciones de crecimiento.

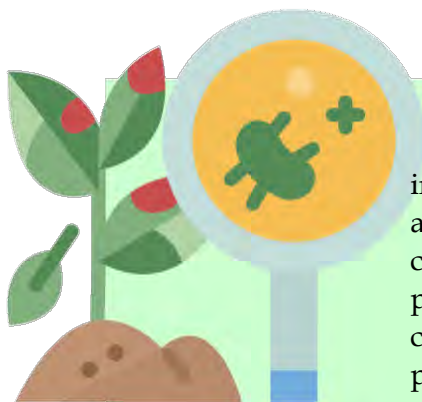


**Figura 3.** a) Lactosuero con aspecto traslúcido debido a la reducción de proteína en un tratamiento ácido-térmico. b) Crecimiento de un hongo en forma de pellet (pelotas), el cual aprovechó los nutrientes del lactosuero y ha logrado disminuir la carga de nutrientes, obteniendo un biofermento para su aplicación como biofertilizante en la agricultura.

Algunos microorganismos que pueden crecer en el lactosuero son: bacterias fijadoras de nitrógeno en suelo y atmosférico (*Rhizobium*, *Azotobacter*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*), promotoras de crecimiento vegetal, y productoras de compuestos para resistencia a enfermedades. Por otro lado, tenemos hongos

(Micorrizas, *Trichoderma harzianum*) que generan simbiosis en

la raíz de las plantas, ayudan en la asimilación de nutrientes y además funcionan como agente de biocontrol contra hongos fitopatógenos.



El lactosuero puede ser incorporado a suelos agrícolas y aumentar los rendimientos en cuanto a producción y calidad de los productos, así como, en general, al crecimiento y desarrollo de las plantas.



Una vez disminuida la materia orgánica en el lactosuero por los microorganismos, los cuales han modificado la composición química del residuo, por medio de excreción de metabolitos al lactosuero, se transforma en un biofermento con actividad bioestimulante que puede ser aplicado de forma foliar (diluido directamente en las hojas de las plantas), radicular (diluido en el suelo para estimular el crecimiento de las raíces), y mediante fertirrigación (mezcla con otros nutrientes).

Otras formas en las cuales se puede emplear en la agricultura el lactosuero tratado biológicamente son:

- 1) Biofertilizantes (los microorganismos cultivados en lactosuero se agregan directamente en el suelo).
- 2) Biopesticidas (los microorganismos cultivados en lactosuero se usan para controlar plagas y enfermedades).
- 3) Bioremediación (los microorganismos cultivados en lactosuero se adicionan en suelos contaminados con la finalidad de remover contaminantes).

Si bien, el lactosuero puede ser incorporado a suelos agrícolas y aumentar los rendimientos en cuanto a producción y calidad de los productos, así como mejorar el crecimiento y desarrollo de las plantas. Las investigaciones y reportes que comprueben su efectividad son pocas.

Por ejemplo, algunas de las aplicaciones del lactosuero realizadas a nivel mundial destacan países como: Australia (uso como bioestimulante en cultivos de trigo y cebada para mejorar la resistencia a enfermedades), Brasil (sustrato para cultivar microorganismos benéficos que controlan plagas en cultivos de soja y maíz), China (fertilizante orgánico en cultivos de arroz y verduras), Estados Unidos (sustrato para producir bioplaguicidas que controlan plagas en cultivos de frutas y verduras), India (bioestimulante en cultivos de algodón y cereales para mejorar la productividad), y México (bioestimulante en cultivos de maíz y trigo, desarrollo de biofertilizantes a partir de lactosuero para cultivos de frutas y verduras, producción de bioestimulantes y bioplaguicidas.



Es necesario seguir investigando con la finalidad de generar un proceso biológico que recupere el lactosuero de las industrias queseras y se establezca un protocolo que pueda ser empleado por las industrias de forma sostenible y sustentable.





De igual manera, algunas empresas en México que han implementado estrategias para la reutilización del lactosuero para su aplicación en la agricultura se encuentran: grupo Lala (produce bioestimulantes y bioplaguicidas a partir de lactosuero), Danone (sustrato para producir probióticos para animales y plantas), y Grupen (desarrolla biofertilizantes y bioplaguicidas).

## Conclusión

Como hemos visto la industria láctea genera grandes cantidades de lactosuero, un residuo que puede causar daños al medio ambiente si no se trata adecuadamente. Sin embargo, puede ser reutilizado en la agricultura como bioestimulante, biofertilizante o bioplaguicida, después de un tratamiento biológico previo. Esto no solo reduce su impacto ambiental, sino que también puede mejorar la sostenibilidad de la producción agrícola. Pero para lograr esto, es necesario que las industrias lácteas y agrícolas trabajen juntas para desarrollar estrategias sostenibles para la reutilización del lactosuero.

Esto puede incluir la implementación de tecnologías para su tratamiento y procesamiento, así como la creación de mercados para los productos derivados del lactosuero.

Además, es fundamental que se realicen investigaciones y estudios para determinar la viabilidad y eficacia de su reutilización en la agricultura, así como para identificar posibles riesgos y desafíos asociados con esta práctica.

## Agradecimientos

Al Gobierno del Estado de Hidalgo, a través del Consejo de Ciencia y Tecnología e Innovación de Hidalgo, por la beca otorgada para la realización de una estancia postdoctoral.

A la Universidad Politécnica de Pachuca y la Universidad Tecnológica de Corregidora por las facilidades y apoyo otorgado para llevar a cabo la investigación, así como de una estancia postdoctoral.



### Literatura recomendada

Asas, C., Llanos, C., Matavaca, J., & Verdezoto, D. (2021). El lactosuero: impacto ambiental, usos y aplicaciones vía mecanismos de la biotecnología. *Agroindustrial science*, 11(1), 105-116.

Quille, L. Q., Vilca, O. M. L., & Ordoñez, F. P. A. (2021). Potencialidades del lactosuero generado por la industria quesera y su valorización. *Revista científica I+ D aswan science*, 1(2), 16-24.

Sirmacekic, E., Atilgan, A., Rolbiecki, R., Jagosz, B., Rolbiecki, S., Gokdogan, O., & Kocięcka, J. (2022). Possibilities of using whey wastes in agriculture: Case of Turkey. *Energies*, 15(24), 9636.



### Semblanzas de autores

**Dr. Jorge Álvarez Cervantes.** Ciencias en Biotecnología, actualmente profesor investigador, adscrito al Programa de Ingeniería en Biotecnología de la Universidad Politécnica de Pachuca. Pertenece al Cuerpo Académico Manejo de Sistemas Agrobiotecnológicos Sustentables. Miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores nivel 1.

**Dra. Edna María Hernández-Domínguez.** Ciencias en Biotecnología, actualmente profesora investigadora, adscrita al Programa de Ingeniería en Biotecnología de la Universidad Politécnica de Pachuca. Pertenece al Cuerpo Académico Manejo de Sistemas Agrobiotecnológicos Sustentables. Miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores nivel 1.

**Dra. Virginia Mandujano-González.** Ciencias en Biotecnología, actualmente profesora investigadora, adscrita al Programa de Ingeniería en Biotecnología de la Universidad Tecnológica de Corregidora. Miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores nivel 1.



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

**TERRA**  
Latinoamericana



ISSN Electrónico 2395 - 8030

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





# Impacto del sistema de pastoreo sobre el suelo

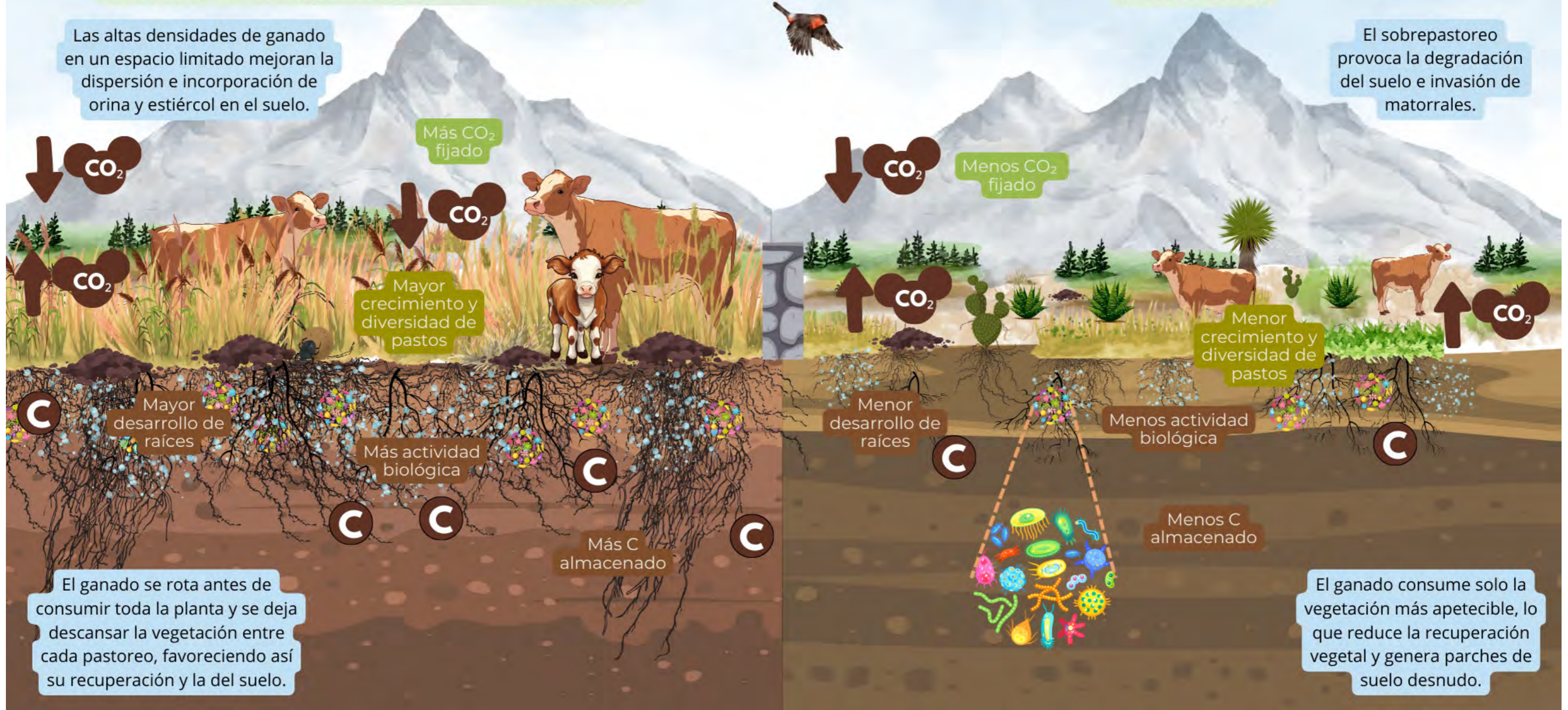
Karla Liliana López García  
Dulce Y. Flores Rentería\*

## Pastoreo no selectivo (rotativo con altas densidades de ganado)

## Pastoreo convencional (extensivo)

Las altas densidades de ganado en un espacio limitado mejoran la dispersión e incorporación de orina y estiércol en el suelo.

El sobrepastoreo provoca la degradación del suelo e invasión de matorrales.



| Sección III: La Arcilla |





# Impacto del sistema de pastoreo sobre el suelo

Karla Liliana López-García<sup>1</sup>  
Dulce Y. Flores-Rentería<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Cinvestav Saltillo. Posgrado en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía.

<sup>2</sup>Conahcyt-Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Cinvestav Saltillo.

\*Autor para correspondencia: [yaahid.flores@cinvestav.edu.mx](mailto:yaahid.flores@cinvestav.edu.mx)

## Literatura recomendada

- López-García KL. Evaluación del manejo sostenible de pastizales ganaderos de zonas áridas como indicador de su re-carbonización. Tesis de Maestría en Ciencias en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía. CINVESTAV Saltillo, Ramos Arizpe, Coahuila, 2023, pp. 67
- FAO 1993. Condición de los pastizales en relación con la desertificación y la producción ganadera. En: Papel del ganado doméstico en el control de la desertificación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Santiago, Chile. <http://www.fao.org/3/X5320S/x5320s00.htm>.
- Savory Institute. Holistic vs conventionally managed land. Recuperado el 25 de noviembre de 2024, de [https://savory.global/science\\_library/holistic-vs-conventionally-managed-land/](https://savory.global/science_library/holistic-vs-conventionally-managed-land/)

## Semblanzas de autores

**Karla Liliana López García.** Maestra en Ciencias en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía por el Cinvestav. Licenciada Químico Farmacobiólogo por la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila. Estudia los flujos de C a través del sistema planta-suelo-microorganismos en pastizales ganaderos del desierto Chihuahuense.

**Dulce Yaahid Flores Rentería.** Doctora en Ecología por la Universidad Autónoma de Madrid. Investigadora por México comisionada al Cinvestav Saltillo. Autora de reportes del Panel Intergubernamental de Cambio Climático y del Programa ambiental de las Naciones Unidas, especialista en degradación de la tierra. Estudia el efecto antropogénico sobre el estado de salud del suelo.





## Las rizobacterias y su interacción con el fósforo del suelo

Marco Polo Carballo Sánchez\*  
Juan José Almaraz Suárez  
Sara Monzerrat Ramírez Olvera

Posgrado en Edafología. Colegio de Postgraduados, campus Montecillo. Texcoco, Estado de México.

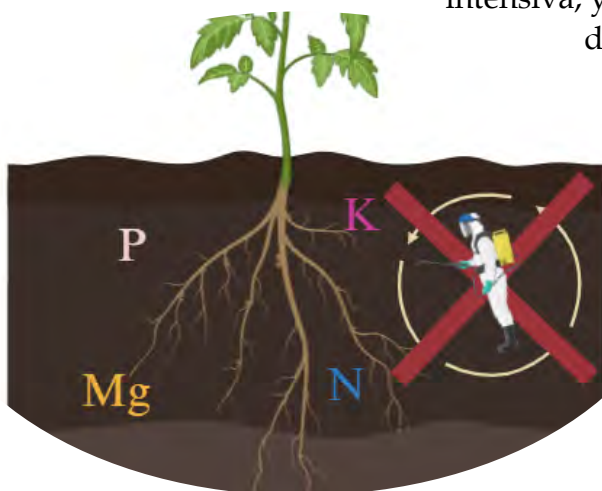
\*Autor para correspondencia: carballo.marco@colpos.mx

**Las plantas, al igual que todos los seres vivos, requieren nutrirse para tener un desarrollo óptimo. Entre todos los elementos minerales esenciales que necesitan, el fósforo es importante debido a que forma parte de muchas moléculas necesarias para la vida. Cuando la planta tiene dificultades para aprovecharlo del suelo, estas se asocian con rizobacterias que le facilitan esta tarea.**



### Introducción

El fósforo es un elemento necesario para el desarrollo de las plantas, ya que forma parte de diversas macromoléculas esenciales. Por esta razón, en las actividades agrícolas es prioridad incorporarlo a los cultivos mediante la aplicación de fertilizantes químicos u otras fuentes utilizadas en la agricultura orgánica, como es la roca fosfórica. A pesar de que el fósforo es abundante en el suelo, ¿por qué es necesario suplementar los cultivos con él? Una de las razones es la agricultura intensiva, ya que la demanda es elevada y agota las reservas disponibles rápidamente. Otro aspecto importante es la perturbación de los ciclos naturales, ya que un ecosistema el fósforo regresa al suelo mediante la descomposición de la materia orgánica; en el manejo agronómico no sostenible las plantas producidas y los productos cosechados no son reincorporados de nuevo al sistema y de esta manera se interrumpe el ciclo.







Finalmente, una razón fundamental es porque las plantas solo pueden absorber el fósforo en forma de fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  o  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) y se estima que sólo el 0.1% del fósforo está disponible para ser aprovechado por ellas. El resto se encuentra inmovilizado en la materia orgánica en una proporción del 20 al 80% del fósforo total o en formas inorgánicas insolubles, por lo que la fracción soluble debe renovarse a través de ciclos biogeoquímicos que ocurren de manera lenta.



La importancia de conocer los factores que contribuyen al aprovechamiento del fósforo para la agricultura implica el estudio de factores bióticos y abióticos del suelo, en este caso hablamos de los microorganismos del suelo. Este es un factor biológico fundamental, ya que forman parte de las interacciones ecológicas entre organismos de diferentes reinos, ya que en el suelo se puede encontrar macrofauna (insectos y pequeños mamíferos), mesofauna (ácaros, colémbolos, tardígrados y nemátodos), microfauna (bacterias, hongos, protozoarios y virus). En la actualidad, muchos estudios que hablan del efecto de rizobacterias y hongos micorrízicos en promover el crecimiento vegetal y favorecer la disponibilidad del fósforo para las plantas, esto es debido a que ambos organismos tienen la capacidad para solubilizarlo para el aprovechamiento propio y de la planta. Algunas bacterias contribuyen a la colonización micorrízica, los hongos micorrízicos son simbioses obligados a la planta y no pueden sobrevivir si no están asociados a ella. En este trabajo, nos enfocaremos en los mecanismos de las bacterias.

## Desarrollo

### Aspectos acerca de la química del fósforo

El fósforo es un elemento químico que se puede encontrar clasificado en la tabla periódica como no metal, en el grupo VA ó 15, el mismo que el nitrógeno, otros metaloides como el arsénico y el antimonio, así como con metales como el bismuto y el moscovio.



El fósforo se encuentra en la naturaleza en formas sólidas formando óxidos (como el fosfato) y complejos moleculares, esto debido a que el fósforo elemental reacciona con el oxígeno del ambiente. Algunas características de su átomo es que, aunque tiene estados de oxidación de -3 y +3, su electronegatividad no le permite formar un triple enlace entre dos átomos (como el nitrógeno), al menos a condiciones atmosféricas y temperatura ambiente. Sin embargo, el orbital *d* le permite expandirse y tener el estado de oxidación de +5, esta es la forma más común en la que se encuentra y que le permite formar complejos con otras moléculas. Existe un rango óptimo de pH en el que el fósforo está disponible y este es de 6 a 7, fuera de dicho rango se favorece la formación de complejos insolubles. Dentro de las formas inorgánicas insolubles del fósforo, se pueden encontrar formando complejos con hierro y aluminio en suelos ácidos, así como complejos con calcio en suelos alcalinos. En la Figura 1 se enlistan algunas formas inorgánicas del fósforo que son insolubles, su origen y su fórmula química.



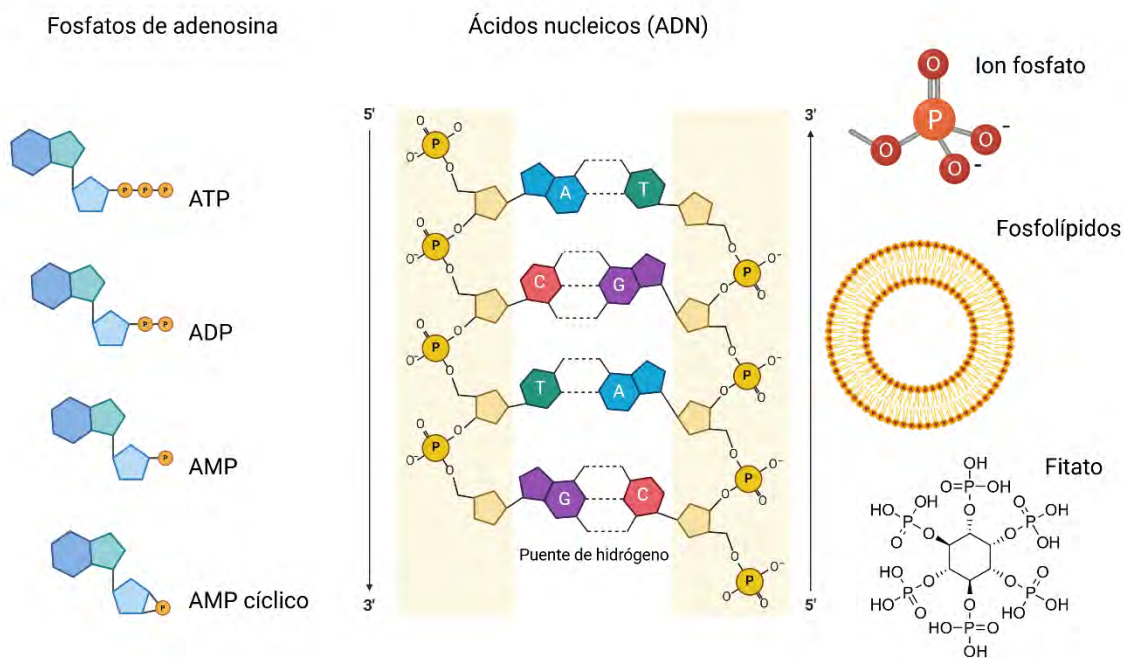
**Figura 1.** Fosfato inorgánico insoluble en sus diversas formas y con las fórmulas químicas que los representan.

La gran diferencia entre el fósforo y otros elementos de los ciclos biogeoquímicos como el nitrógeno y el azufre es que no ocurre una transición al estado gaseoso, por lo que su movilidad en los ecosistemas es más reducida y es propenso a formar compuestos que no permiten ser aprovechados por los seres vivos.



## Relevancia del fósforo en las plantas

El fósforo es parte de diversas moléculas relevantes para el desarrollo vital no sólo de las plantas, sino de todos los seres vivos. Para las plantas, el fósforo es crucial en etapas de desarrollo como la germinación, el desarrollo de las raíces y la floración. En la Figura 2 se pueden observar dichas moléculas y en las siguientes líneas una explicación breve respecto a su importancia biológica.



**Figura 2.** Presencia del fósforo en moléculas esenciales para las plantas.

## Estructurales

El fósforo es parte de los ácidos nucleicos: ácido desoxirribolucleico (ADN) y ácido ribonucleico (ARN), las cuales son macromoléculas que en el caso del ADN permiten el almacenamiento, la transmisión de generación en generación y la implementación de la programación genética, la cual es fundamental para el desarrollo y las funciones de los organismos vivos. Una molécula de ADN almacena información biológica en forma de código genético y consiste en una secuencia de nucleótidos y las conexiones entre dichos nucleótidos están formadas por enlaces fosfodiéster. El ADN principalmente contiene la información para la síntesis de proteínas y varios tipos de ARN.





Las membranas celulares están compuestas por fosfolípidos, los cuales son moléculas compuestas de un fosfato y dos cadenas largas de lípidos. Esta propiedad le permite ser anfipática, es decir, que puede interactuar en entornos hidrofílicos e hidrofóbicos.

### **Metabólicas**

El fósforo es parte de los fosfágenos, los cuales son las moléculas del fósforo que se encuentran en los seres vivos realizando funciones metabólicas. Algunas de ellas son capaces de almacenar y transferir energía para llevar a cabo reacciones químicas, como es el caso del ATP. También cumplen con la función de señalización química, como es el caso del AMP cíclico. El trifosfato de adenosina (ATP) es una molécula de almacenamiento de energía que es necesaria para la fotosíntesis y otros procesos.

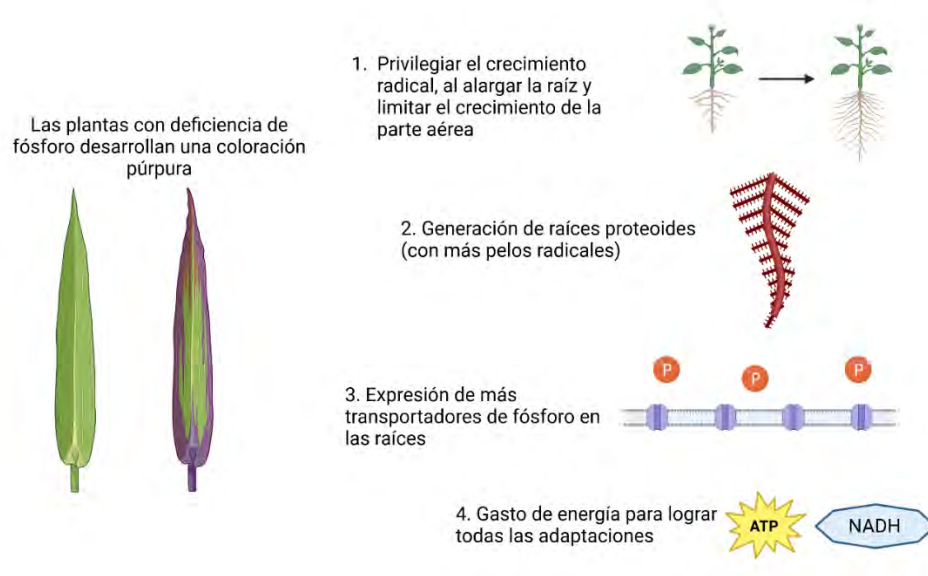
### **Fitoquímicas**

Los fitatos son compuestos orgánicos de fósforo, provenientes del ácido fítico y que son una fuente de almacenamiento de fósforo en tejidos vegetales, especialmente en semillas. Estas moléculas tienen la capacidad de unirse fuertemente a iones de calcio, hierro y zinc, por lo que es considerado un antinutriente cuando los humanos y los animales se alimentan de vegetales ricos en fitatos. Para eliminar este compuesto en los vegetales donde abunda, éstos se deben cocinar antes de su consumo.



### **El fósforo y su deficiencia**

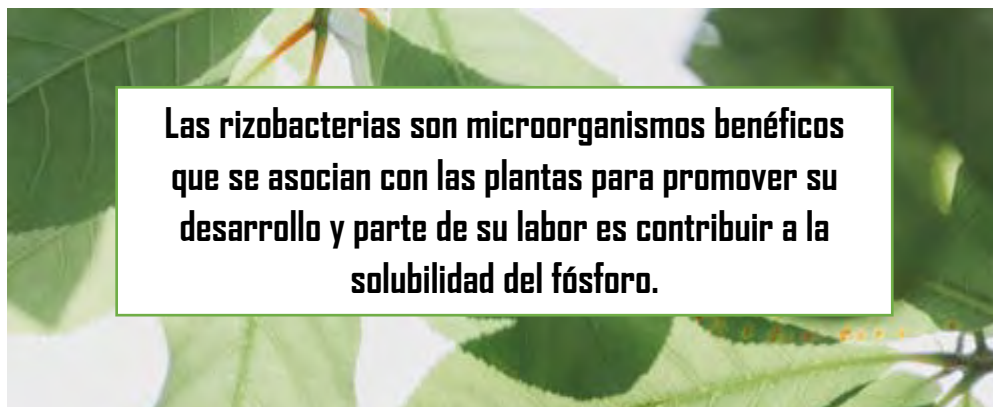
Las plantas poseen mecanismos para poder mejorar sus condiciones cuando presentan deficiencia de fósforo, éstas se pueden observar en la Figura 3. En esencia se privilegia la estructura radical respecto a la parte aérea para poder mejorar su absorción, realizando un gasto energético y de recursos adicional y así lograr su supervivencia



**Figura 3.** Estrategias de las plantas para la adaptación a la deficiencia del fósforo.

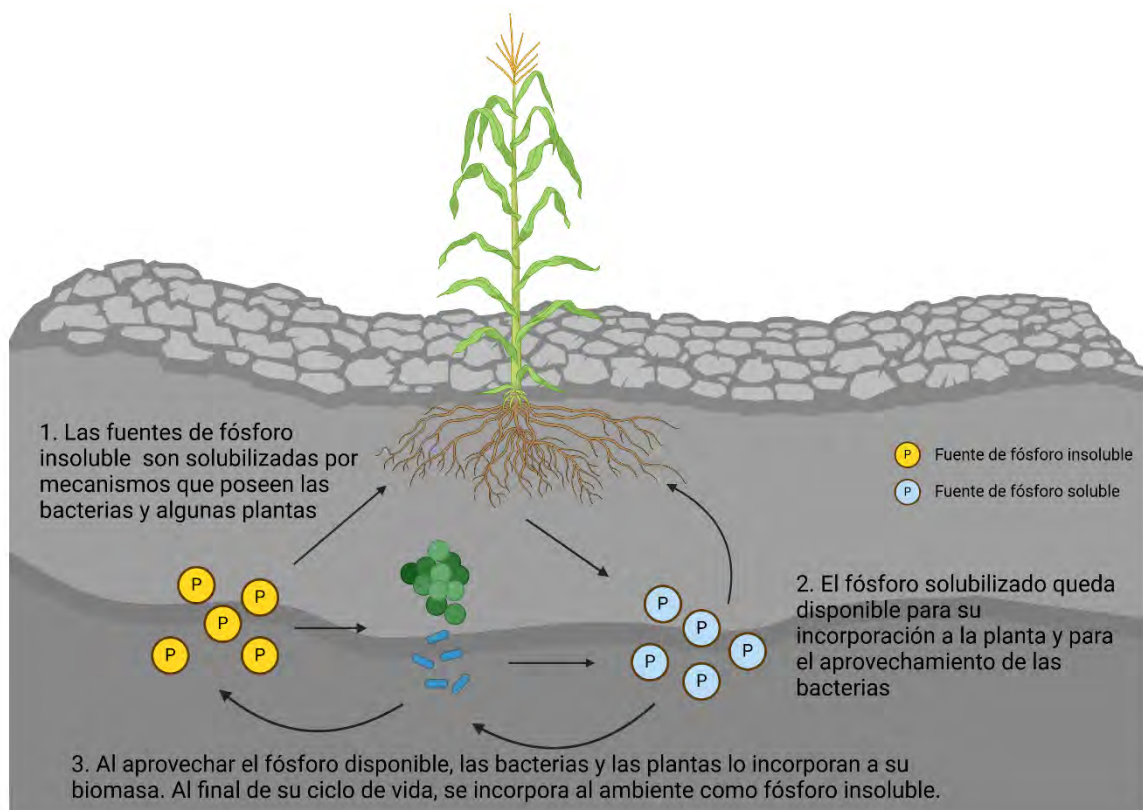
### El papel de las bacterias en el aprovechamiento del fósforo: mecanismos para su solubilización.

El fósforo que no se encuentra disponible para su absorción debe ser sometido a diversas transformaciones para poder ser aprovechado. En la Figura 4 se puede observar un esquema respecto a la manera en la que se procesa el fósforo en la rizósfera. En esencia, las formas insolubles deben procesarse para poder ser aprovechadas, tanto las bacterias como algunas plantas tienen mecanismos para llevar a cabo este proceso.





Es importante mencionar que los suelos ricos en materia orgánica contribuyen a la inmovilización del fósforo, ya que dicha materia orgánica es parte del ciclo en el que el fósforo es convertido continuamente a formas solubles por medio de organismos detritívoros para el aprovechamiento de plantas y microorganismos, quienes al final de su ciclo de vida se convierten en detritos que son fuente de fósforo insoluble y que requieren ser procesados de nuevo por otros microorganismos. Para la degradación de compuestos orgánicos de fósforo se requiere de la acción de fosfatasa, las cuales son una familia de enzimas hidrolíticas que son producidas tanto por hongos como por bacterias. Las fosfatasa, junto con las lipasa, celulasas, proteasa, quitinasas, peroxidasas (por mencionar las más relevantes) son parte de las enzimas que degradan la materia orgánica y que permiten reincorporar elementos a los ciclos biogeoquímicos.



**Figura 4.** Aprovechamiento de formas solubles e insolubles del fósforo por parte de las plantas y rizobacterias.

Se puede apreciar en la figura 5 un esquema de los mecanismos de degradación de formas insolubles de fósforo. Uno de los mecanismos solubilizadores se basa en la presencia de ácidos orgánicos.

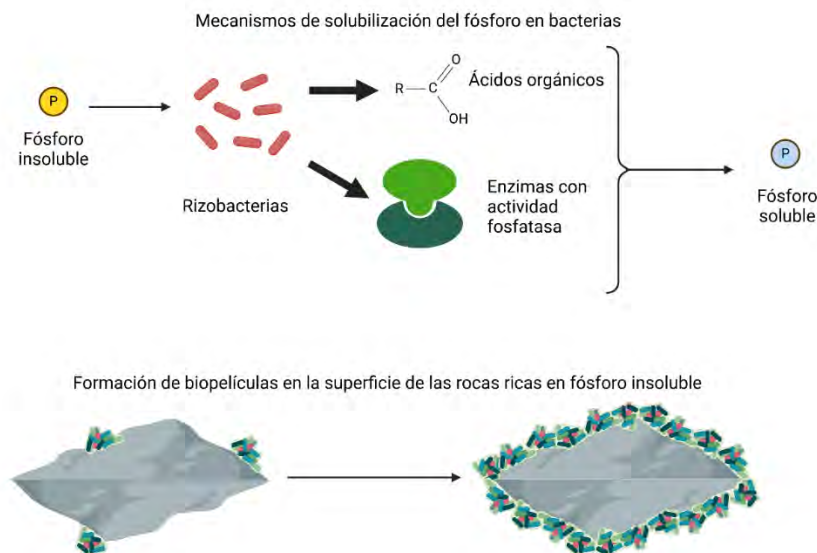




Dichos ácidos son producidos por las bacterias de manera extracelular, tanto para beneficio de la planta como de la bacteria misma, la planta promueve las actividades benéficas de las bacterias a cambio de productos de la fotosíntesis que les sirven de alimento.

Ambas se benefician con los ácidos debido a que permiten inhibir a otros microorganismos (a los patógenos, por ejemplo), sirven como sustrato a otras bacterias, son agentes quelantes de iones metálicos y forman parte de las interacciones químicas de las bacterias en la zona de influencia de la raíz tanto con las plantas como con otros microorganismos. Algunos de esos ácidos son el cítrico, fórmico, acético, oxálico, isovalérico, butírico, glucónico, succínico, entre otros; si recordamos nuestras lecciones de bioquímica general, algunos de estos ácidos forman parte del ciclo de Krebs. ¿Cómo es que las bacterias obtuvieron la capacidad de poder solubilizar fosfatos? Esto es mediante la transferencia horizontal de genes: una comunidad microbiana va a compartir, con quienes tienen más afinidad, las características favorables que les permiten subsistir, como la versatilidad de su metabolismo para la nutrición, para la producción de antibióticos, sideróforos, enzimas extracelulares, entre otras.

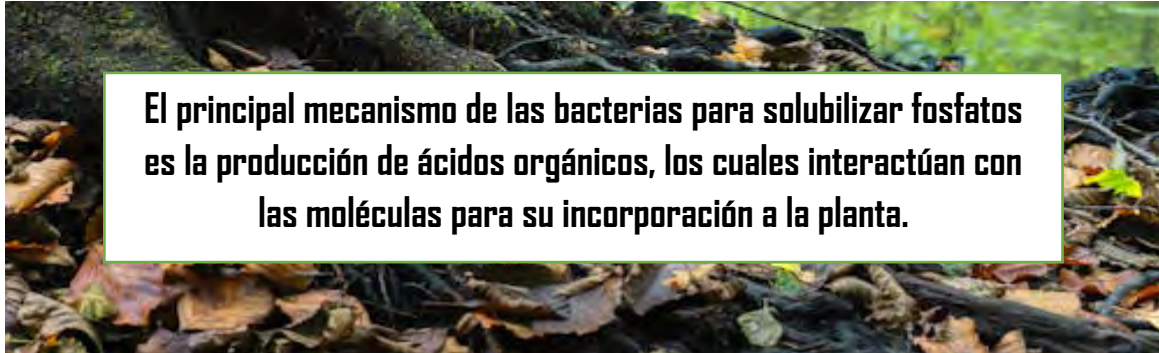
**Un porcentaje elevado del fósforo se encuentra en formas insolubles, por lo que se requieren mecanismos para favorecer su solubilidad.**



**Figura 5:** Mecanismos para la degradación de formas insolubles de fósforo.

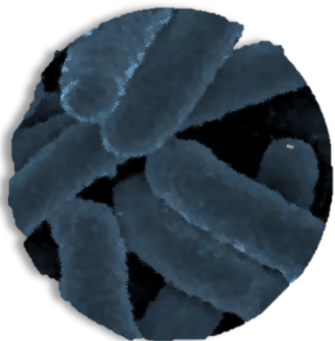


En la microbiología de suelos una de las pruebas que se les realiza a las bacterias aisladas es la de la solubilización de fósforo, pero es sorprendente el hecho de que muchas bacterias solubilizan fósforo, fijan nitrógeno, producen auxinas, sideróforos, antibióticos y otras características favorables para las plantas, pero son patógenas para los humanos y animales (justo hasta ese punto llegó la transferencia horizontal).



Con las tendencias de la agricultura orgánica, esas bacterias patógenas no son bienvenidas en la producción de bioinsumos para el mejoramiento de los cultivos. Hay casos en los que ocurre la solubilización del fósforo sin la intervención de bacterias u hongos, como las plantas del género *Lupinus*, que son leguminosas que no realizan simbiosis micorrízica pero que producen ácidos orgánicos, los cuales exudan de la raíz y que les facilita la solubilización del fósforo inorgánico. Una característica de muchas rizobacterias es la formación de biopelículas, la cual es una estructura de polisacáridos extracelulares producidos por las bacterias que les permite adherirse a superficies y favorecer su supervivencia. En una biopelícula puede crearse un ecosistema de bacterias que interactúan de manera benéfica, estas estructuras se pueden formar en la raíz, en las hifas de hongos y en la superficie de rocas. Este es un ejemplo de cómo una biopelícula favorece las condiciones de un sistema, pero muchas investigaciones respecto a biopelículas se llevan a cabo en aspectos de salud humana y animal porque es un mecanismo que utilizan algunas bacterias patógenas que provocan infecciones en mucosas o en implantes biomédicos.

También las biopelículas tienen relevancia en sistemas de biorremediación y tratamiento de aguas residuales, ya que un consorcio de microorganismos puede realizar mejor diversas tareas de degradación de compuestos. Un mecanismo que puede ser benéfico en un contexto también resulta perjudicial en otro, eso es con lo que se lidia en la microbiología.





## Conclusión

El fósforo es fundamental en el metabolismo vegetal, al ser componente estructural y funcional de biomoléculas y procesos fisiológicos. Por esto, su ausencia genera alteraciones en el desarrollo vegetal, e impide que las plantas completen de manera óptima su ciclo de vida. El principal suministro de fósforo a las plantas en la agricultura intensiva es mediante la adición de fuentes inorgánicas, obtenidas de fuentes no renovables, como la roca fosfórica, la cual enfrenta retos como sobreexplotación de yacimientos, factores geopolíticos y fluctuaciones en los precios. Por esta razón, una contribución relevante desde el punto de vista ecológico es el de las rizobacterias, que con los productos de su metabolismo mejoran la disponibilidad del fósforo para las plantas.



Como reflexión final, aprendimos que el fósforo es un elemento con características químicas tan peculiares, con una movilidad que no se parece a la de otros macronutrientes esenciales y que resulta fundamental para el metabolismo de todo ser vivo. ¿Qué podemos hacer para que llegue a donde se necesita? A las plantas, a los animales, a las bacterias como integrantes de los ecosistemas.

## Literatura recomendada

Bashan Y., Kamnev A.A., de-Bashan L.E. (2012). Tricalcium phosphate is inappropriate as a universal selection factor for isolating and testing phosphate-solubilizing bacteria that enhance plant growth: a proposal for an alternative procedure. *Biol Fertil Soils*, 49(4), 465-479.



Ferrera-Cerrato R., Delgadillo-Martínez J., Alarcón A., Alvarado-López J., Pérez-Moreno J., Almaraz-Suárez J.J. (editores) (2021) *Microbiología aplicada a la agricultura y ecosistemas. Principios y técnicas para su investigación*. (1ª ed.) Biblioteca básica agrícola, Colegio de Postgraduados

Mullins, G. (2009) *Phosphorous, Agriculture & the Environment*. (1ª ed.) College of Agriculture and Life Sciences, Virginia Polytechnic Institute and State University.





### Semblanzas de autores

**Dr. Marco Polo Carballo Sánchez**, es académico adscrito al laboratorio de Microbiología de Suelos del posgrado en Edafología del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo. Es titular del curso regular: "Biotecnología y Bioprocesos de Microorganismos Benéficos de Relevancia Agrícola" y su interés en la investigación está relacionado con biotecnología de rizobacterias y producción de metabolitos microbianos. Pertenecer al Sistema Nacional de Investigadores nivel 1.

**Dr. Juan José Almaraz Suárez**, es académico adscrito al laboratorio de Microbiología de Suelos del posgrado en Edafología del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo. Es titular del curso regular: "Fijación Simbiótica de Nitrógeno en Leguminosas", con una trayectoria amplia en la microbiología del suelo, particularmente en el aislamiento, caracterización y aplicación de rizobacterias en diversos campos como la agronomía, la forestería y biotecnología. Pertenecer al Sistema Nacional de Investigadores nivel 1.

**Dra. Sara Monzerrat Ramírez Olvera**, es académica adscrita al laboratorio de Física de Suelos del posgrado en Edafología del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo. Su interés de investigación es la interacción de nutrimentos con fisiología vegetal, tolerancia de plantas a estrés abiótico y bioestimulantes. Pertenecer al Sistema Nacional de Investigadores nivel 1.

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>



## ¿Metales pesados en su mesa? Origen y consecuencias

María del Pilar Herrera-Mendoza<sup>1</sup>  
Laura Sanchez-Castillo<sup>2\*</sup>  
Edmar Meléndez Jaramillo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Tamaulipas, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Centro Universitario, Cd. Victoria, México. C.P. 87120.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias; Centro Universitario, Cd. Victoria, México. C.P. 87120.

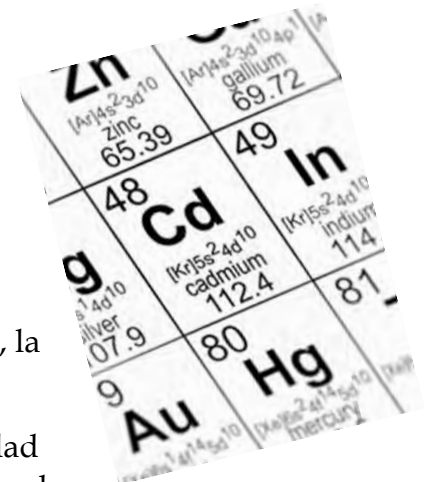
\*Autor para correspondencia: [laura.sanchez@uat.edu.mx](mailto:laura.sanchez@uat.edu.mx)

**La contaminación del medio ambiente por metales pesados se ha convertido en un problema de relevancia internacional en los últimos años, debido a los efectos negativos que estos elementos pueden tener sobre los recursos naturales. Una de las consecuencias de la liberación de metales pesados en el agua, suelo y aire es su transferencia a través de la cadena alimentaria, lo que resulta en la contaminación de productos de origen agrícola y pecuario. Esta problemática es especialmente preocupante por los efectos negativos que estos elementos pueden ocasionar en la salud de los seres vivos.**

### Introducción

Los metales pesados son un conjunto de elementos químicos caracterizados por ser potencialmente tóxicos para los seres vivos cuando se encuentran en altas concentraciones. En los últimos años la contaminación ambiental por metales pesados se ha convertido en un problema de importancia a nivel mundial, debido al incremento de las concentraciones de estos elementos como consecuencia de diversas actividades antropogénicas, entre las que destacan la minería, la combustión de combustibles fósiles, la agricultura entre otras.

Asimismo, los metales pesados influyen negativamente en la calidad del aire, el agua y, están estrechamente relacionados con los riesgos de la contaminación del suelo y la toxicidad en las plantas. Debido a que alteran el equilibrio natural de los procesos biológicos en el suelo, sus efectos son adversos sobre la calidad de los recursos naturales





El aumento en la disponibilidad de los metales pesados en la ambiente afecta especialmente el sistema suelo-planta; ya que al estar biodisponibles en el suelo pueden ser absorbidos por las raíces de los cultivos, y posteriormente acumularse en las plantas. Es mediante esta transferencia que los productos agrícolas llegan a convertirse en tóxicos para los animales y los seres humanos a lo largo de toda la cadena alimentaria. De esta manera, causan daños irreparables en la salud humana, en etapas de desarrollo embrionario pueden desencadenar efectos teratogénicos estos efectos pueden incluir algunas alteraciones genéticas y morfológicas, o bien, problemas respiratorios, enfermedades cardiovasculares, insuficiencia renal crónica, así como el desarrollo de distintos tipos de cáncer e incluso la muerte. Además, representan una seria amenaza para la seguridad alimentaria, la salud de la población y el bienestar de los seres vivos.



## Desarrollo

### ¿Qué son los metales pesados?

El término “metales pesados” se suele utilizar para referirse de manera general a los elementos químicos metálicos y no metálicos que presentan una alta densidad (mayor a  $5 \text{ g/cm}^3$ ), los cuales son altamente tóxicos y representan un riesgo para el ambiente debido a su capacidad para causar afectaciones.



Algunos ejemplos de metales pesados son el níquel (Ni), hierro (Fe), magnesio (Mg), cobre (Cu) y zinc (Zn), los cuales son considerados esenciales para el funcionamiento de los seres vivos debido a que forman parte de distintas funciones y procesos biológicos, químicos y fisiológicos. Sin embargo, en concentraciones superiores a las óptimas estos elementos presentan efectos dañinos en la salud de los seres vivos. Por otro lado, elementos como el arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb) y mercurio (Hg) son considerados como elementos no esenciales para las funciones metabólicas y biológicas, por lo cual son tóxicos incluso en concentraciones bajas y pueden causar graves problemas en la salud.





Los metales pesados se reconocen como contaminantes importantes, estables y complejos debido a las siguientes características: 1) **alta toxicidad**, entendida como la capacidad para causar daños a seres vivos y al ambiente, 2) su **no biodegradabilidad** es decir, que una vez que estos elementos son liberados al ambiente, su descomposición es muy difícil, 3) presentan prolongada **persistencia**, ya que al no poder ser eliminados fácilmente pueden llegar a permanecer en el suelo, planta u organismo durante largos períodos de tiempo sin descomponerse. 4) Tienen la capacidad de **acumularse** en el ambiente hasta alcanzar concentraciones tóxicas. Se estima que estos elementos pueden persistir en el ambiente durante cientos de años incluso después de que su liberación se haya detenido.

### Origen y fuentes de los metales pesados

Los metales pesados se encuentran de forma natural en el ambiente, generalmente en concentraciones no perjudiciales para los seres vivos. Proviene de la corteza terrestre y su liberación al ambiente ocurre a través de procesos geológicos como erupciones volcánicas, incendios forestales, así como en la meteorización de las rocas durante el proceso de formación del suelo. No obstante, las principales causantes de la liberación de estos elementos en el suelo, el agua y el aire, son las actividades antropogénicas como la agricultura, la minería, la metalurgia y la quema de combustibles fósiles.

### ¿Cómo llegan los metales pesados a los productos agropecuarios?

Una vez que los metales pesados son liberados en el ambiente a través de la contaminación natural o antropogénica del suelo y del agua, es probable que se incorporen a la cadena alimentaria. Por ejemplo, las partículas de estos elementos que se encuentran suspendidos en la atmósfera se depositan en el suelo; posteriormente, puede ocurrir un proceso de adsorción-movilización-acumulación desde el suelo hacia diferentes partes de la planta (raíces, tallos, hojas o frutos) y, en consecuencia, se transfieren a los productos agrícolas ingresando a la cadena suelo-planta-consumidor (Figura 1).

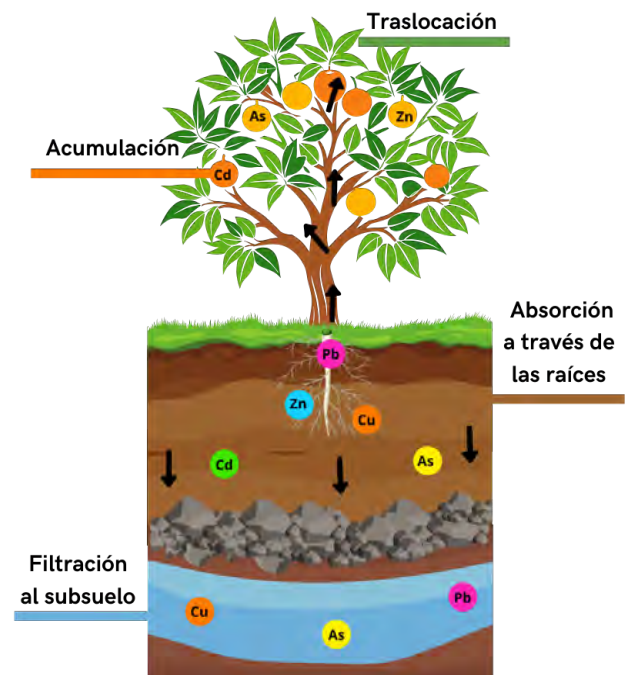


Figura 1. Diagrama de movilización de los metales pesados



La mayoría de las veces, no nos percatamos de cómo ingresan los metales pesados a nuestro organismo, un ejemplo de ello es a través del consumo de la leche de vaca. Un estudio realizado en el año 2018, analizó la presencia de metales pesados en la leche de vaca en dos zonas del centro de México, siendo el plomo uno de los elementos que excedían los límites internacionales permitidos. Estas concentraciones se atribuyeron a que las vacas fueron alimentadas con alfalfa (*Medicago sativa*) cultivada en suelos agrícolas irrigados con aguas residuales, las cuales presentaron acumulaciones de Zn, Cu, Ni, Pb y Cr en diferentes partes de la planta; esto sugiere que la transferencia de metales pesados a los animales se produjo mediante el consumo de este cultivo, lo que resultó en la liberación de estos elementos del organismo del ganado a través de la leche.

Por otro lado, los metales pesados también pueden ingresar a los productos de origen agrícola a través del agua, como consecuencia del riego con aguas residuales sin tratar. Dicha práctica agrícola es habitual en diversas partes del mundo, principalmente en países en desarrollo. Como resultado, se ha documentado la presencia de altas concentraciones de elementos como Cd, Pb, Zn, Ni, Cu y Fe en diversos cultivos de hortalizas y cereales.

Asimismo, una vez que los metales pesados son acumulados en el suelo, se filtran a través de los espacios porosos y migran al subsuelo, lo que afecta principalmente al sistema de agua subterránea y, como consecuencia, disminuye la calidad del agua destinada para el consumo humano. En diversos países se ha observado que la actividad agrícola e industrial llega a afectar el recurso hídrico, tanto a nivel superficial como subterráneo.

### **Alimentos contaminados por metales pesados**

En diversas investigaciones se ha documentado la presencia de metales pesados en una variedad de productos agrícolas y pecuarios, siendo algunos de los cultivos afectados la alfalfa, leche de vaca, productos marinos como peces y marisco, diversos cereales, frutas y verduras. Los principales elementos pesados que se han registrado son plomo (Pb), cadmio (Cd), cobre (Cu) y arsénico (As).

En una reciente investigación realizada en México se analizó la presencia de plomo (Pb) en 103 productos que forman parte de la alimentación básica de los mexicanos. Los resultados mostraron que el 18% de los alimentos analizados presentaban niveles detectables de Pb. Entre estos alimentos se incluyen productos de origen agropecuario como la cúrcuma (*Curcuma longa*), el chile guajillo (*Capsicum annum L.*), la pimienta negra (*Piper nigrum*), la soja o soya (*Glycine max*), la leche de vaca y el hígado de res.



En cuanto a los productos procesados que presentan Pb, se identificaron el arroz precocido, galletas saladas, pan dulce e integral, cereal de arroz, así como diversas harinas (principalmente de arroz y trigo); así como el jamón de cerdo, las salchichas de pavo y la fórmula infantil de soya.

En general los productos no superaron los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas a excepción de la formula infantil de soya que presento una concentración de 0.035 mg/kg<sup>-1</sup>. Sin embargo, los LMP establecidos por las normas Oficiales mexicana están por encima de los estándares internacionales establecidos por la Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de acuerdo con el *Codex alimentarius* 12 de los alimentos identificados excedieron los LMP.

En diversos estados del México, de acuerdo con las diferentes Normas Oficiales Mexicanas que regulan la presencia de metales pesados, se ha documentado que el plomo ha sido el elemento más común en la contaminación de alimentos de origen agropecuario, como se puede observar en el Cuadro 1. Sin embargo, es fundamental realizar más estudios en diferentes regiones y cultivos, así como a productos animales para conocer a profundidad el estado de lo que consumimos los mexicanos.

Cuadro 1. Reportes de Alimentos de origen agropecuario contaminados por metales pesados en México.

Producto	Localización	Elementos	Concentraciones registradas (mg/kg <sup>-1</sup> )	LMP (mg/kg <sup>-1</sup> )
Leche de vaca	Puebla y Tlaxcala	Pb	0.059	0.1
Tilapia ( <i>Oreochromis niloticus</i> )	Guerrero	Pb	9.61	1
Ostión ( <i>Crassostrea virginica</i> )	Tabasco	Pb	9.95	1
Fresa ( <i>Fragaria xananassa Duch. var. festival</i> )	Estado de México	Al	15	0.2
		Zn	20	10
Espinaca ( <i>Spinacia oleracea</i> )	Estado de México	Pb	0.668	0.5

Nota: LMP: Límite Máximo Permissible.





## Efectos de los metales pesados en la salud del ser humano

De acuerdo con los impactos que puedan ocasionar a la salud, los efectos de la exposición a los metales pesados se suelen dividir en dos grupos: 1) **Agudos**, son aquellos que se producen horas o días después de la exposición al elemento, y 2) **Crónicos**, son aquellos que se manifiestan después de la exposición a elevadas concentraciones durante un largo periodo de tiempo, generalmente años. Los efectos negativos de los metales pesados en la salud humana varían según el elemento, la forma química, la concentración y las vías de exposición.

Cuando los metales pesados ingresan al organismo se unen a las proteínas presentes en la sangre y se distribuyen a órganos vitales, como el intestino delgado, los riñones o el hígado, en donde parte de estos elementos se bioacumulan, mientras que, el resto se elimina a través de la orina y las heces. Esto provoca efectos agudos en la salud, como la intoxicación, hipertensión, daño cerebral y problemas renales; y efectos crónicos como el desarrollo de células cancerosas, siendo los sistemas gastrointestinal, neurológico, hemático y renal los más afectados generalmente (Figura 2)

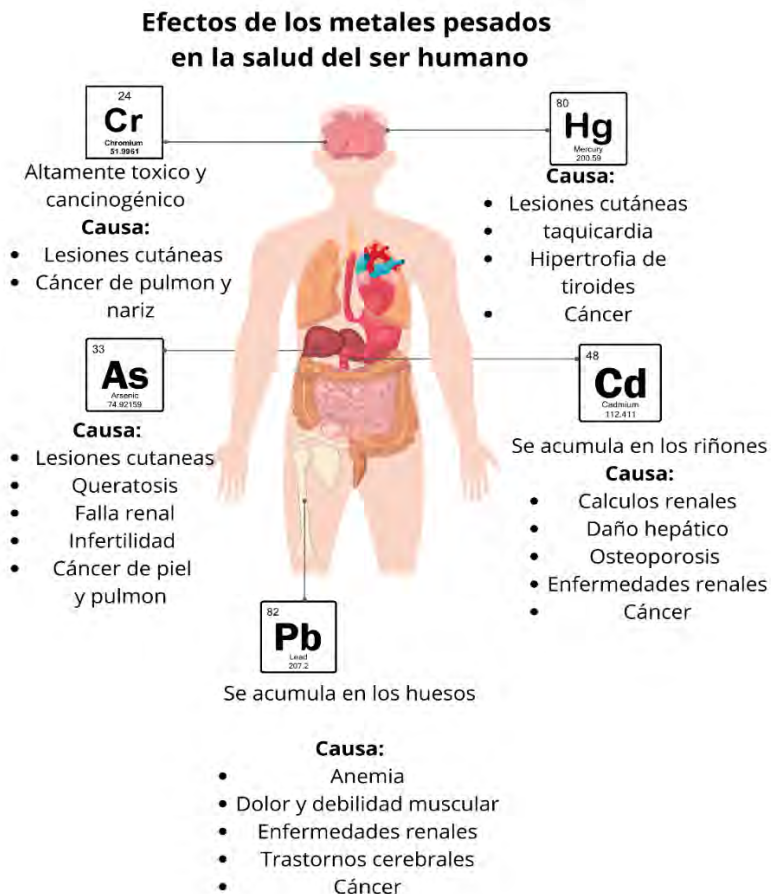


Figura 2. Enfermedades como consecuencia de los metales pesados en el ser humano



Alguno de los efectos agudos que se manifiestan ante la exposición al **arsénico (As)** son lesiones cutáneas como queratosis, hiperqueratosis, cambios en la coloración de la piel, lesiones vasculares en sistemas nerviosos e hígado, estos efectos pueden dar lugar a fallas renales, enfermedades cardiovasculares y problemas de esterilidad. Por otro lado, los efectos crónicos que se presentan ante elevadas concentraciones de As son diferentes tipos de cáncer principalmente de piel, pulmón, vejiga y riñón.



La intoxicación por **cadmio (Cd)** presenta efectos agudos como la formación de cálculos renales y daño hepático, pues se considera que el hígado y los riñones son los órganos más afectados por los efectos de este elemento, ya que el Cd tiende a acumularse en los riñones, donde puede permanecer hasta por 30 años. Esta acumulación prolongada aumenta el riesgo de enfermedades renales crónicas, lo cual conlleva a serios daños a la salud humana.

Por otro lado, el **plomo (Pb)** tiene la capacidad de acumularse en los huesos y dientes de los seres vivos, y posteriormente es liberado de manera gradual al sistema sanguíneo. La exposición al plomo puede ocasionar diversos efectos agudos como la anemia (debido a que este elemento disminuye la síntesis de la hemoglobina), daño renal, parálisis de extremidades, autismo, pérdida de peso, dislexia y trastornos cerebrales.



## CONCLUSIONES

La liberación de los metales pesados al ambiente ya sea de forma natural o antropogénica, representa un riesgo importante a la salud de los seres humanos, dado que estos elementos pueden ingresar al organismo a través de distintas vías y causar diferentes padecimientos o enfermedades. Aunque estos elementos puedan parecer invisibles, están más cerca de lo que imaginamos, incluso pueden llegar a nuestra mesa a través de productos que consumimos diariamente, como frutas, verduras, cereales y diversos productos de origen animal. Su ingesta puede constituir una seria amenaza para la salud pública, por lo tanto, es esencial ampliar las líneas de investigación para evaluar el estado actual de la contaminación por metales pesados en México y promover medidas que reduzcan la contaminación, así como fomentar prácticas agrícolas más sostenibles para así poder asegurar que lo que llevamos a nuestra mesa sea seguro y saludable.



### Literatura recomendada

Castro-González, N. P., Moreno-Rojas, R., Calderón-Sánchez, F., Moreno-Ortega, A., & Tamariz-Flores, J.V. (2018). Metales pesados en leche de vacas alimentadas con alfalfa producida en suelos irrigados con aguas residuales en Puebla y Tlaxcala, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 9(3): 466-485. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i3.4358>.

Cantoral, A., Betanzos-Robledo, L., Collado-López, S., García-Martínez, B.A., Lamadrid-Figueroa, H., Mariscal-Moreno, R.M., Díaz-Ruiz, A., Ríos C. & Téllez-Rojo, M.M. (2024). Lead Levels in the Most Consumed Mexican Foods: First Monitoring Effort. *Toxics* 12(5): 318. <https://doi.org/10.3390/toxics12050318>.

Londoño-Franco, L., Londoño-Muñoz, P.T. & Muñoz-García, F.G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(1): 145-153. [http://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](http://dx.doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153).

Ramírez Cota, M., Escobar Sánchez O. y Betancourt Lozano M. (2023). Metales pesados: antagonistas de la salud en México. *Revista Ciencia* 74 (3), 24-29.

### Semblanzas de autores

**Maria del Pilar Herrera-Mendoza:** Ingeniero ambiental por el TecNM- campus Huatusco. Estudiante de la Maestría en Ciencias Sistemas Agropecuarios y Medio Ambiente por la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Estudió la contaminación del suelo por metales pesados y su relación con las propiedades fisicoquímicas del suelo.

**Laura Sánchez Castillo:** Ingeniera en Manejo de Recursos Naturales por la UANL, Realizó sus estudios de Maestría con especialidad en Bio-ciencias y Ciencias bio-ambientales y de Doctorado en Ciencias Agro-ambientales en la Universidad de Kyushu en Japón. Es profesora-investigadora de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, especialista en conservación de suelos.

**Edmar Melendez-Jaramillo:** Doctor en Manejo de los Recursos Naturales por la Universidad Autónoma de Nuevo León. Profesor de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Candidato a Investigador Nacional. Su línea de investigación es la valoración del impacto ambiental en áreas urbanas.





# Cuerpos de agua purificados por bacteriófagos

Juan Pablo Cabral-Miramontes<sup>1\*</sup>  
Gerardo Alfonso Anguiano Vega<sup>1</sup>  
Estela Ruiz-Baca<sup>1</sup>  
Rene Homero Lara Castro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Químicas (Unidad Durango). Universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Veterinaria S/N Durango 34120

\*Autor para correspondencia: [juan.cabral@ujed.mx](mailto:juan.cabral@ujed.mx)



El suelo y el agua son vitales para la vida, pero las acciones humanas están perturbando los ciclos naturales del agua, generando impactos negativos en los ecosistemas. Es fundamental conservar la calidad del agua para resguardar la biodiversidad. Los bacteriófagos, virus que infectan y eliminan bacterias perjudiciales para la salud humana, por lo que, actualmente, se estudia su uso como una posible solución para descontaminar cuerpos de agua y combatir infecciones bacterianas.

## Introducción

El suelo y el agua son recursos naturales de gran valor donde habitan microorganismos y seres humanos. Las personas utilizan el agua para actividades esenciales como beber, procesos industriales y recreación. En cuerpos de agua como mares, ríos, lagunas y represas, los microorganismos (bacterias, hongos, algas, protozoos y virus) han prosperado de manera natural durante cientos de años (Figura 1). Sin embargo, las actividades humanas han alterado las condiciones naturales del agua, acumulando contaminantes como basura doméstica, aceites de cocina y desechos de retretes. Estas aguas residuales contienen una variedad de contaminantes, incluyendo organismos que pueden causar enfermedades y dañar la salud humana.

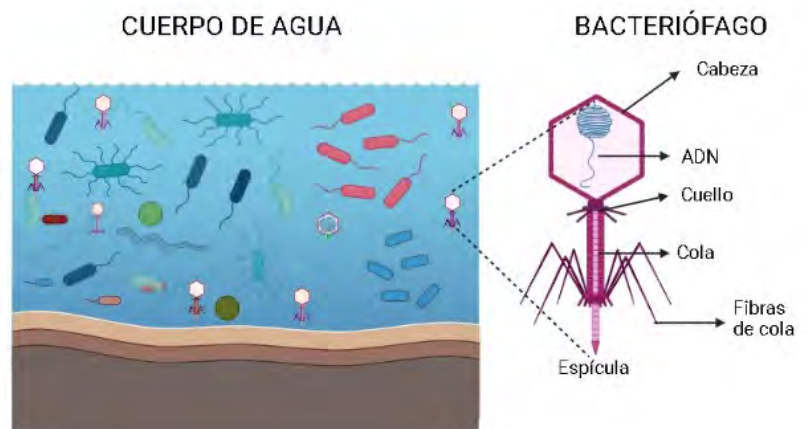
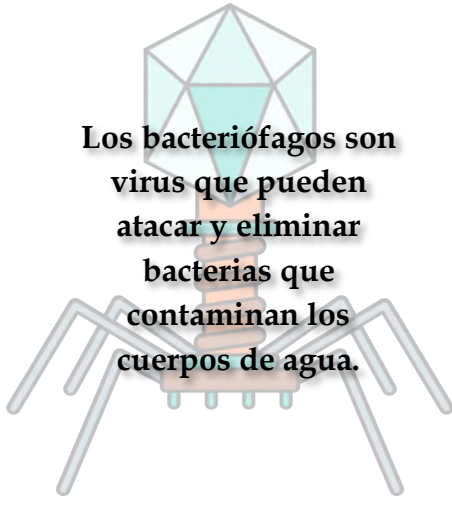


Figura 1. Microbioma característico en cuerpos de agua.



**Los bacteriófagos son virus que pueden atacar y eliminar bacterias que contaminan los cuerpos de agua.**



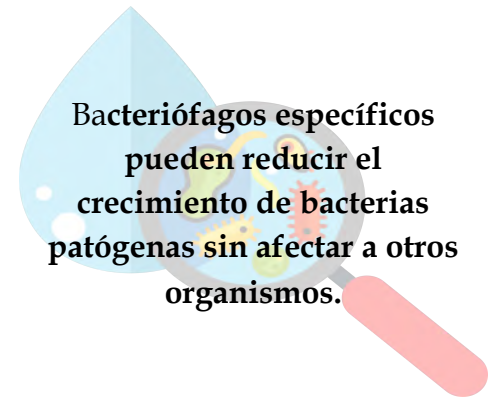
Para determinar la calidad del agua, uno de los métodos más efectivos es observar la presencia de indicadores microbiológicos. Estos indicadores se presentan cuando hay contaminación por residuos fecales de retretes y altas concentraciones de contaminantes perjudiciales para la salud humana, lo que altera la composición de los cuerpos de agua y ocasiona cambios biológicos irreversibles.

El uso de biotecnologías mejora mucho la calidad del agua y protege los ecosistemas acuáticos. En este contexto, los bacteriófagos, que son un tipo de virus, juegan un papel clave. Aunque son virus, tienen beneficios ya que infectan y se reproducen en bacterias específicas. Lo interesante de estos

organismos es que pueden atacar bacterias patógenas como *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Campylobacter*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Vibrio cholerae*, conocidas por causar diarrea, vómitos e infecciones.

Los bacteriófagos son extremadamente abundantes en la biosfera, ganándose el título de "la forma de vida más abundante y común en la Tierra". Se estima que hay 10 mil millones de fagos por litro de agua de mar. Estos virus contienen material genético con muchos genes que permiten destruir o desintegrar bacterias patógenas. Esto se traduce en una gran variedad de especies de fagos, siendo un excelente mecanismo de control biológico para mantener el equilibrio de microorganismos en el agua. Esta revisión se centra en describir y evaluar de manera práctica los éxitos logrados por los bacteriófagos en la limpieza del agua.

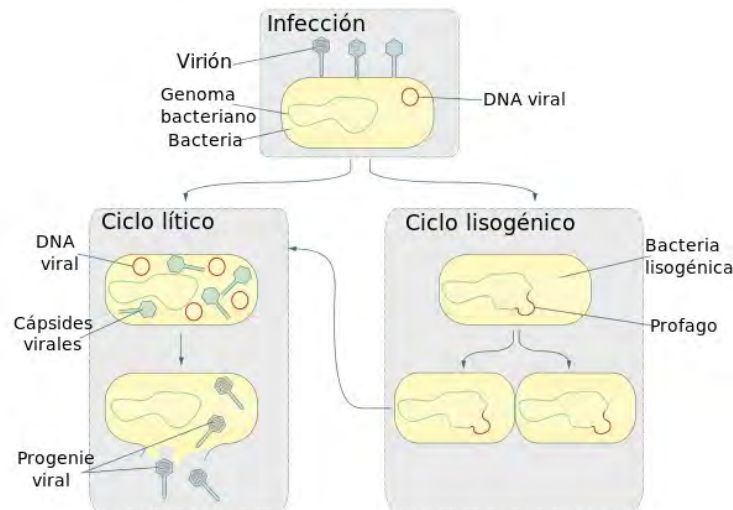
**Bacteriófagos específicos pueden reducir el crecimiento de bacterias patógenas sin afectar a otros organismos.**



## Desarrollo

### Características principales de los bacteriófagos

El término bacteriófago proviene del francés "bactériophage", que combina las palabras griegas "bacteria" y "fagos", significando "devorador de bacterias". Estos virus contienen ácidos nucleicos, portando muchos genes que facilitan procesos líticos y lisogénicos (Figura 2). Se encuentran en diversos entornos como heces humanas y animales, suelo y agua. Su ciclo de vida les permite infectar bacterias patógenas, responsables de enfermedades infecciosas, y destruirlas en el momento oportuno.



**Figura 2.** Ciclo lítico y lisogénico en bacteriófagos.

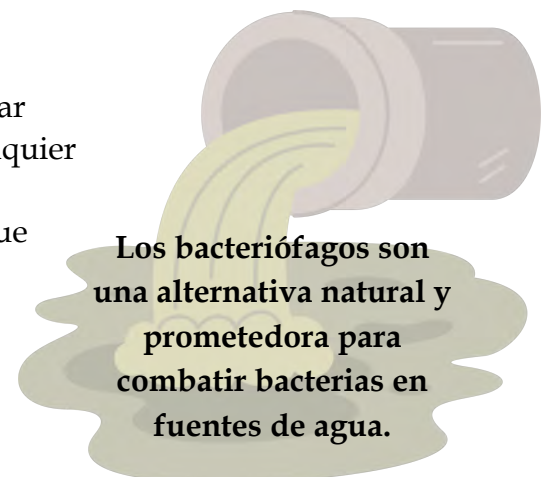
### **Aplicación biotecnológica de los bacteriófagos en cuerpos de agua.**

La presencia de *Escherichia coli* indica contaminación microbiana por heces y puede encontrarse en el agua, sedimentos, suelo y plantas. Los fagos pueden reducir la *E. coli* O157 en un 95% a una temperatura de 22°C y un tiempo de exposición de 18 horas. Este enfoque sugiere su utilidad en el control de esta bacteria.

En Kolkata, India, la bacteria *Bacteroides fragilis* fue encontrada en el agua municipal. Se tomaron 110 muestras, encontrando bacteriófagos en el 96% de ellas, eliminando el 95% de las bacterias patógenas. Los investigadores sugieren que los bacteriófagos son una herramienta valiosa para combatir la contaminación bacteriana y mejorar la vigilancia ambiental en áreas vulnerables.

### **Ventajas y desventajas de los bacteriófagos**

Los bacteriófagos ofrecen importantes ventajas para tratar infecciones bacterianas (Cuadro 1). Pueden destruir cualquier bacteria específica, lo que los hace más eficaces que los antibióticos. Su mayor fortaleza es la especificidad, ya que solo atacan a los patógenos reconocidos. Esto evita la eliminación de bacterias beneficiosas, el crecimiento de patógenos secundarios y la resistencia a los antibióticos.





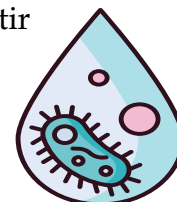


**Cuadro 1. Aspectos positivos y negativos del control biológico con Bacteriófagos**

Ventajas de Utilizar bacteriófagos	Desventajas de utilizar bacteriófagos
Los bacteriófagos atacan únicamente las bacterias patógenas específicas, dejando intactas las bacterias beneficiosas.	Las bacterias pueden desarrollar resistencia a los fagos.
Pueden ser más eficaces que los antibióticos, ya que no existe una bacteria que no pueda ser atacada por al menos un bacteriófago.	El cuerpo humano puede desarrollar una respuesta inmunológica contra los bacteriófagos.
Los bacteriófagos son más seguros y mejor tolerados.	La producción a gran escala de bacteriófagos y su almacenamiento pueden ser complicados y costosos.
Al ser específicos y biodegradables, los bacteriófagos tienen un menor impacto ambiental en comparación con los antibióticos.	
Pueden resultar menos costosos que los tratamientos convencionales.	

### Conclusiones

Es evidente que tanto el suelo como el agua son esenciales para la vida, pero las actividades humanas están perturbando los ciclos naturales del agua, causando daños significativos a los ecosistemas. Para conservar la biodiversidad, es crucial mantener la calidad del agua. Los bacteriófagos, virus que infectan y eliminan bacterias perjudiciales para la salud humana, han surgido como una herramienta prometedora para descontaminar cuerpos de agua y combatir infecciones bacterianas. Este estudio destaca la necesidad de aplicar biotecnologías innovadoras, como el uso de bacteriófagos, para proteger y mejorar la calidad del agua, asegurando así un equilibrio saludable en los ecosistemas acuáticos.





## Literatura recomendada

Baird C. Cann M. 2014 Química Ambiental. Routledge, Madrid, Spain.

Hussain, W., Ullah, M. W., Farooq, U., Aziz, A., & Wang, S. (2021). Bacteriophage-based advanced bacterial detection: Concept, mechanisms, and applications. *Biosensors and Bioelectronics*, 177, 112973.

Lugo, J. L., Lugo, E. R., & Puente, M. D. L. (2021). A systematic review of microorganisms as indicators of recreational water quality in natural and drinking water systems. *Journal of Water and Health*, 19(1), 20-28.

Niu, Y. D., Liu, H., Du, H., Meng, R., Sayed Mahmoud, E., Wang, G., ... & Stanford, K. (2021). Efficacy of individual bacteriophages does not predict efficacy of bacteriophage cocktails for control of *Escherichia coli* O157. *Frontiers in microbiology*, 12, 616712.

Talavera González, J. M., & Talavera Rojas, M. (2021). Bacteriófagos, los virus come-bacterias: historia de dos mentes científicas. *Revista digital universitaria*, 22(5).



## Semblanzas de autores

Dr. Juan Pablo Cabral Miramontes Investigador del SNI desde 2023, se especializa en el comportamiento de microorganismos. Ganador del Premio de investigación UANL 2023, es miembro de la red mexicana de extremófilos. Tiene dos artículos científicos, un capítulo de libro y experiencia en microbiología, genómica y proteómica.

Dr. Gerardo Alfonso Anguiano Vega. Biólogo por la UNAM, con posgrado en CIBNOR. Profesor en la UJED por 10 años, ha dirigido 27 tesis y es investigador nivel 1 del SNI. Autor de 18 artículos científicos, ha presentado en congresos nacionales e internacionales, enfocándose en biomarcadores y procesos patogénicos.

Dra. Estela Ruiz Basa. Su línea de investigación está enfocada en la caracterización de proteínas y metabolitos con aplicaciones diagnósticas, terapéuticas y biotecnológicas. Cuenta con 50 artículos en revistas indizadas y es miembro del SNII nivel 2. Ha formado recursos a nivel licenciatura y posgrado.

Dr. René Lara Castro. Es un investigador destacado en biotecnología ambiental y análisis de sitios contaminados. Tiene 60 artículos en revistas de alto impacto y es miembro del SNI nivel 2. Ha graduado a 25 alumnos de licenciatura, 10 de maestría y 3 de doctorado.





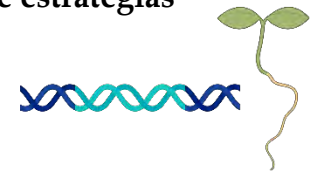
# La importancia de las herramientas genómicas para el sector agrícola

J.L. Ávila-Oviedo\*  
S.G. Adame-Garnica  
OV. Montejano-Ramírez

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, 58000 Michoacán, México.

\*Autor de correspondencia: 1355646g@umich.mx.

**Las herramientas genómicas son un recurso importante para el estudio y manipulación del ADN de microorganismos u organismos, lo que permite identificar con mayor precisión a nivel de especie organismos de interés agronómico, desarrollar organismos mejorados genéticamente y generar nuevo conocimiento en torno a las interacciones ecológicas de los microorganismos con las plantas. Esto propicia la optimización e implementación de estrategias eco-amigables, las cuales se abordarán en el presente artículo.**

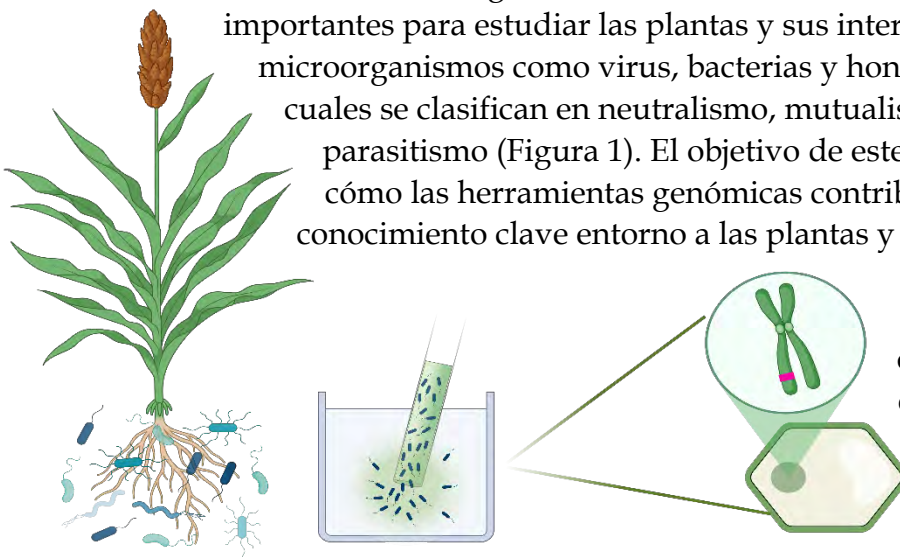


## Introducción

Las herramientas genómicas son recursos que permiten analizar y manipular información genética de diferentes microorganismos u organismos. Estas herramientas tienen múltiples aplicaciones en distintas áreas de investigación, tal es el caso del sector agrícola. En este ámbito, estas herramientas son importantes para estudiar las plantas y sus interacciones con

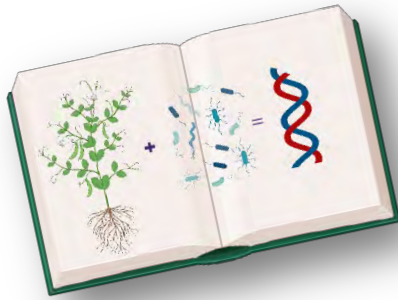
microorganismos como virus, bacterias y hongos principalmente, las cuales se clasifican en neutralismo, mutualismo, comensalismo y parasitismo (Figura 1). El objetivo de este artículo es explorar cómo las herramientas genómicas contribuyen a generar conocimiento clave entorno a las plantas y sus interacciones con

otros microorganismos u organismos con el objetivo de desarrollar estrategias agrícolas sustentables.



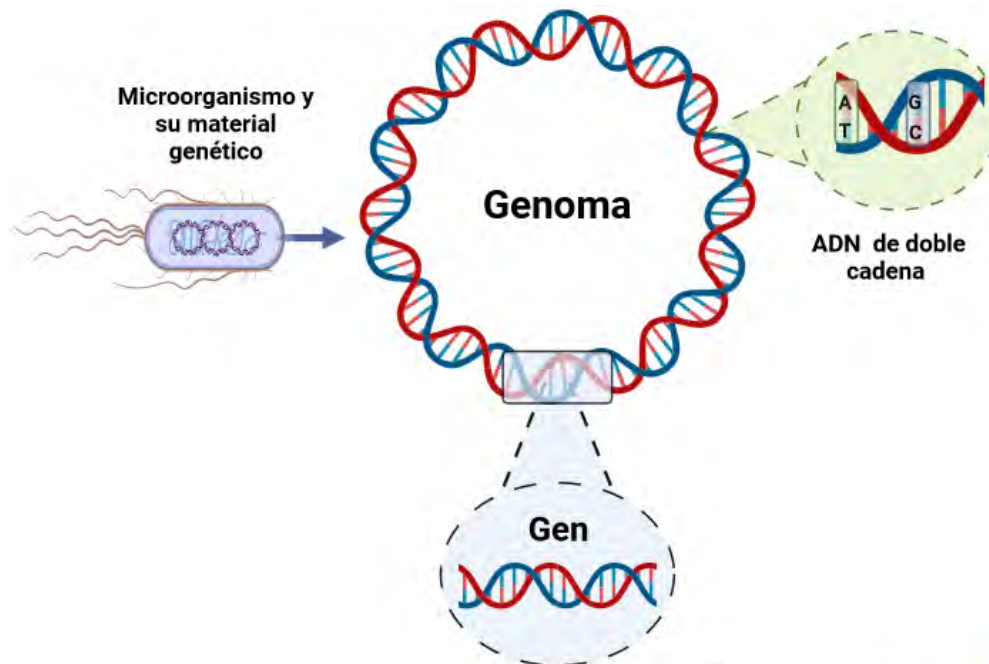






Si hacemos una analogía con la cocina, el genoma sería un libro completo de recetas, que contiene las instrucciones para preparar diferentes platillos. Los genes serían cada receta dentro del libro, dedicada a preparar un platillo en específico. Finalmente, los nucleótidos serían los ingredientes individuales que, al combinarse en las proporciones correctas crean el platillo final.

Por supuesto, esta analogía es una forma de simplificar la complejidad del tema, ya que los mecanismos del ADN son complejos, pero actualmente es posible extraerlo, analizarlo y manipularlo mediante técnicas como la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), electroforesis, microarreglos, clonación y secuenciación, además de las herramientas computacionales (bioinformática). Este conjunto de métodos se conocen como herramientas genómicas.



**Figura 2.** Estructura general del ADN. Se muestra el genoma de una bacteria, compuesto por una molécula de ADN circular. Esta molécula está formada por una doble cadena en la que los nucleótidos se emparejan de manera complementaria: adenina (A) con timina (T) y guanina (G) con citosina (C). Este genoma está organizado en segmentos llamados genes, que contienen la información necesaria para regular y garantizar el funcionamiento de la bacteria. Autoría propia. Elaborada con BioRender.

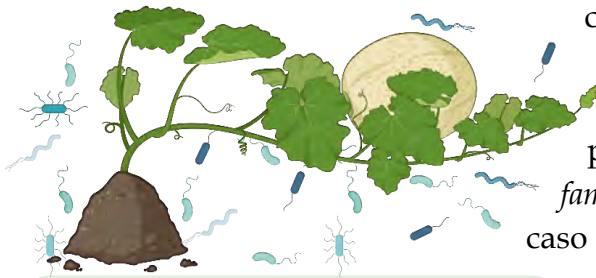


## ¿Cuál es la importancia de las herramientas genómicas en la agricultura?

El aumento poblacional plantea como principal reto para la agricultura moderna aumentar los rendimientos productivos bajo un enfoque de sustentabilidad. No obstante, cada año se suscitan pérdidas productivas parciales o totales ocasionadas por condiciones climatológicas adversas (factores abióticos) o por la presencia de microorganismos u organismos perjudiciales para las plantas (factores bióticos).

En agricultura, es importante diferenciar entre microorganismos beneficiosos y perjudiciales para las plantas, una vía para lograrlo es mediante la identificación genética a nivel de especie, para entenderlo podemos imaginar la jerarquía de

clasificación de un perro, primero se agrupan en la familia (Canidae) que incluye perros, lobos y zorros, luego en el género (*Canis*) que incluye perros y lobos, finalmente la especie *Canis lupus familiaris* que solo incluye perros. Sin embargo, en el caso de los microorganismos la clasificación es mucho más compleja, ya que existen millones de microorganismos diferentes, lo que exige métodos más avanzados para diferenciar e identificar de manera adecuada. En este contexto, las herramientas genómicas como la secuenciación de ADN permiten realizar esta clasificación con mayor precisión.



**Las plantas están en constante interacción con microorganismos presentes en el aire, suelo y agua.**

Existen microorganismos que ayudan a las plantas a defenderse de otros organismos perjudiciales o que favorecen su crecimiento y desarrollo. No obstante, hasta la fecha los mecanismos exactos mediante los cuales estos microorganismos benefician a las plantas no quedan completamente dilucidados. En este contexto, la secuenciación del genoma de estos microorganismos proporciona información sobre los genes presentes, lo que permite predecir las funciones que podrían desempeñar y su impacto en las plantas. No obstante, para saber si un gen realmente está cumpliendo una función, es necesario comprobarlo experimentalmente. Una manera de medir si un gen está funcionando es mediante el análisis de expresión, como la qRT-PCR (Análisis cuantitativo de reacción de cadena de la polimerasa con transcripción inversa).

Por ejemplo, se sabe que la mayoría de fosforo en el suelo se encuentra en formas insolubles lo que impide que las plantas lo absorban.

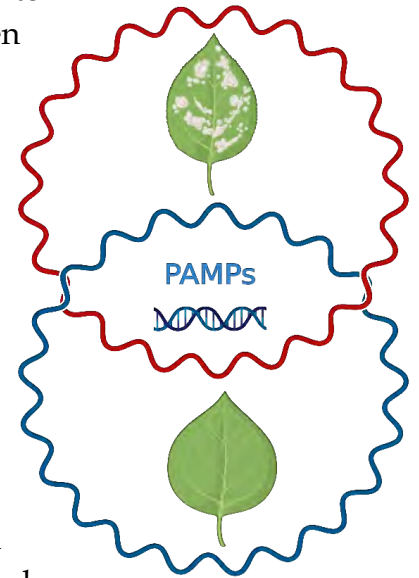






Existen bacterias capaces de solubilizar este fósforo y transformarlo a formas asimilables por las plantas. Si el genoma de una bacteria tiene genes asociados con la actividad de solubilización de fósforo, es necesario comprobarlo de forma experimental, una vía para hacerlo es crecer la bacteria en una fuente insoluble de fósforo y posteriormente, medir cuantas veces este gen se está activando tomando como referencia genes que siempre están activos de forma basal, a esto se le conoce como análisis de expresión genética. Adicionalmente este análisis puede involucrar múltiples genes, lo que permite generar conocimiento sobre el mecanismo por el cual la bacteria realiza esta actividad.

Otro ejemplo del análisis de expresión en agricultura es cuando una planta es infectada por un patógeno, éste produce diferentes compuestos químicos llamados patrones moleculares asociados a patógenos (PAMPs), los cuales son reconocidos por las plantas. Este reconocimiento activa sus mecanismos de defensa, desencadenando la expresión de genes que inducen la producción de compuestos antimicrobianos y proteínas que ayudan a combatir la infección. No obstante, en algunos casos, estas defensas no son suficientes para prevenir el daño ocasionado por patógenos. En esta situación ciertos microorganismos benéficos tienen la capacidad de inducir la defensa en las plantas y prevenirla antes de que sea infectada, a este proceso se le conoce como inducción de resistencia sistémica (RSI). Por ejemplo, el compuesto 2,3-butanodiol producido por algunas bacterias activa la defensa en las plantas contra el hongo patógeno *Rhizoctonia solani*, causante de la pudrición de la raíz en tomate, gracias al uso de herramientas genómicas se ha identificado este tipo de interacciones, lo que abre la posibilidad de descubrir nuevos compuestos que desempeñen funciones similares. Estas investigaciones son fundamentales para desarrollar estrategias eco amigables que reduzcan el uso de productos químicos en la agricultura.



**El conjunto de nucleótidos en una cadena de ADN se define como genoma.**



Existen otras vías para el estudio de estos procesos, para entenderlo es necesario conocer el dogma central de la biología molecular. Este dogma establece que la información genética fluye desde la molécula de ADN, que se transcribe a ácido ribonucleico (ARN) y finalmente, parte de esta información se traduce a proteínas que desempeñan funciones esenciales en la célula. Algunos virus pueden hacer un proceso de retro transcripción, es decir pasar de ARN a ADN. En este punto, la extracción de ARN de un microorganismo u organismo y su posterior secuenciación permite conocer que genes están activos en un momento específico, ya que el ARN es el producto directo de la expresión génica. Por esta razón, el análisis del ARN permite identificar con mayor certeza los genes que participan en un determinado proceso sin la necesidad de realizar análisis de expresión como en el caso del ADN. Otro enfoque para el estudio de estos procesos es la generación de mutantes, para lo cual existen diferentes estrategias como la mutagénesis por inserción o deleción dirigida, el sistema CRISPR-Cas9, la mutagénesis química y por radiación entre otras. Estas técnicas tienen por objetivo modificar el genoma al insertar, silenciar o eliminar genes específicos, permitiendo así analizar su función y su impacto en el organismo.

Tomando el ejemplo del compuesto 2,3-butanodiol al que llamaremos compuesto X, una vez que se conoce que genes se expresan durante su producción en una bacteria, es posible generar una cepa mutante a la que se le inactive un gen clave involucrado en el proceso. Si la bacteria mutante pierde la capacidad de producir el compuesto X, se puede comprobar de manera experimental la participación de dicho gen en la síntesis del compuesto. Este enfoque resulta fundamental para dilucidar los mecanismos moleculares que son importantes para comprender un proceso de interés (Figura 3A).

Una de las aplicaciones de la generación de mutantes en el campo de la agricultura es la optimización de la producción de compuestos benéficos, como el compuesto X. Una vez identificado un gen clave en la regulación de su síntesis, este puede ser modificado o insertado en el genoma del microorganismo para incrementar la producción del compuesto, lo cual va a mejorar la actividad biológica en la protección de las plantas contra fitopatógenos.

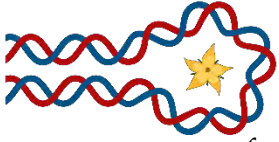


**Los genes tienen información importante para determinar diferentes funciones en un organismo.**

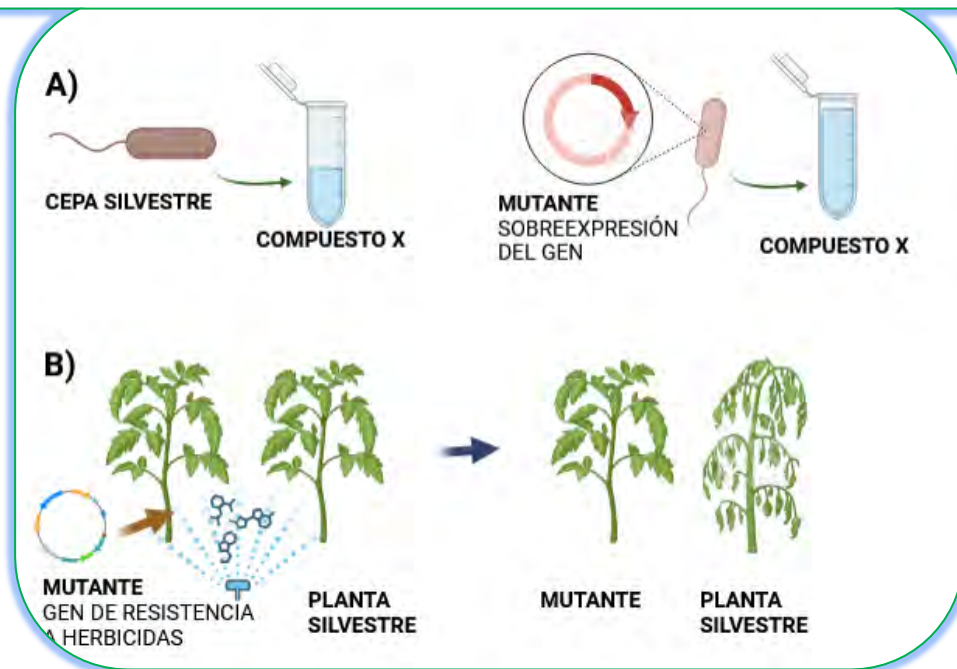




En plantas funciona de manera similar, la generación de plantas genéticamente modificadas consiste en insertar a la planta nativa genes de otros organismos, con la finalidad de que ésta adquiera características que no tiene de manera natural, por ejemplo: genes de resistencia a plagas o enfermedades, tolerancia a herbicidas, o mejora nutricional (plantas biofortificadas) (Figura 3C).



### EJEMPLOS DE LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS GENÓMICAS




**Figura 3.** Aplicaciones en la agricultura de las herramientas genómicas. A) Se muestra el ejemplo de una bacteria que produce el compuesto X y una mutante a la que se le sobreexpresó un gen que participa en la producción de este compuesto, lo cual da como resultado una mayor producción del compuesto X. B) Se muestran dos plantas, una a la que se le ha insertado un gen que tiene resistencia a un herbicida y otra planta sin este gen, después de la aplicación del herbicida, la planta sin el gen de resistencia muere, mientras que la planta con el gen (mutante) sigue viva. Autoría propia. Elaborada con BioRender.

En este sentido, el recurrente uso de herbicidas ocasiona que organismos vegetales no deseados (malezas) desarrollen resistencia a estos productos. Sin embargo, ante la disyuntiva de saber si un herbicida dejó de funcionar porque el organismo blanco generó resistencia, un análisis genético es la mejor herramienta para determinarlo, ya que se puede comparar el genoma de una especie que no ha sido expuesta al compuesto y otra que sí ha sido expuesta.





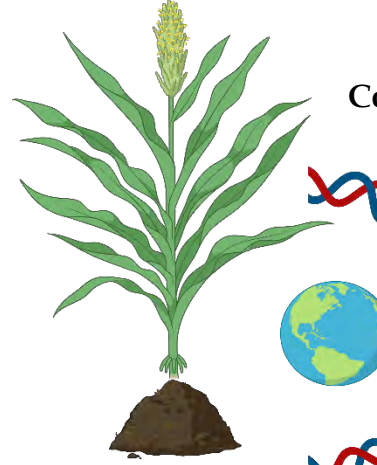


**Una mutante es una alteración al genoma por la inserción o delección de uno o varios genes.**

Una vez que se contrasta la información de ambos genomas, se va a determinar si hay mutaciones en los genes que indiquen que el organismo de interés generó resistencia. Al mismo tiempo, se puede indagar en cómo se está generando dicha resistencia, con esta información se pueden desarrollar productos químicos con nuevos blancos de acción sobre el organismo.

Finalmente, el estudio de la diversidad de las comunidades microbianas con relación con las plantas resulta importante, ya que los microorganismos presentes en el suelo, rizosfera o endosfera (Figura 1) contribuyen a la nutrición, desarrollo e inmunidad de las plantas, por lo tanto, conocer cómo se llevan a cabo estas interacciones de manera global es importante para plantear nuevas estrategias productivas. En este sentido, la secuenciación de metagenomas son una herramienta que permite estudiar la diversidad de las comunidades microbianas en una muestra (plantas, suelo o agua). La técnica consiste en extraer ADN de un solo tipo de microorganismos y posteriormente realizar la secuenciación, por ejemplo, ADN de bacterias, dicha muestra contendrá la información genética de todas las bacterias presentes en una planta. Con esta información, se logra conocer la composición y abundancia de una comunidad bacteriana que está relacionada con la planta, o bien se puede analizar la respuesta de esta comunidad bacteriana a una condición ambiental, compuesto químico o a la presencia de un agente patógeno o benéfico, así como el incremento o decremento de bacterias específicas en la comunidad bacteriana ante cualquier estímulo ya sea en el suelo, rizosfera o endosfera de plantas.

### Conclusiones



Actualmente, la implementación de estrategias eco-amigables es uno de los retos más importantes para el sector agrícola. Las herramientas genómicas permiten el estudio del material genético de los seres vivos con el objetivo de modificar o estudiar procesos importantes entorno a las plantas de interés agronómico.



### Literatura recomendada

Botero, K., & Arias, T. (2018). Uso de las ciencias ómicas para el mejoramiento genético de cultivos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(2), 64-78. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-01352018000200064&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-01352018000200064&script=sci_arttext).

Pierce, B. A. (2009). *Genética: Un enfoque conceptual*. Ed. Médica Panamericana.

Montejano-Ramírez, V., Ávila-Oviedo, J. L., Campos-Mendoza, F. J., & Valencia-Cantero, E. (2024). Microbial Volatile Organic Compounds: Insights into Plant Defense. *Plants*, 13(15), 2013. <https://www.mdpi.com/2223-7747/13/15/2013>



### Semblanzas de autores

#### M.C. José Luis Ávila Oviedo

Ing. Bioquímico con maestría en Producción Agrícola Sustentable. Ha trabajado para el sector industrial alimenticio y farmacéutico. Actualmente cursa el doctorado en biología experimental. Tiene participación en congresos y ponencias. Cuenta con publicaciones en revistas JCR.

#### D.C. Vicente Montejano Ramírez

Tiene grado de Doctor en Ciencias Biológicas Opción Biología Experimental. Cuenta con 8 artículos publicados en revistas indexadas, 4 artículos de divulgación y un capítulo de libro. Recibió el reconocimiento como Investigador Nacional Nivel I en el SNI. Actualmente realiza una estancia posdoctoral en su alma máter, la UMSNH.

#### M.C. Sandra Goretti Adame Garnica

Licenciada en Químico- farmacobiología con maestría en Ciencias en Biología Experimental actualmente estudiante de tercer semestre del Doctorado en Ciencias en Biología Experimental por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en el Instituto de Investigaciones Químico - Biológicas en el laboratorio de Bioquímica ecológica.





## Revisión de sistemas cerrados y abiertos para producir composta

Dulce Jazmín Hernández-Melchor\*  
Ronald Ferrera-Cerrato  
Alejandro Alarcón

Colegio de Postgraduados, Posgrado de Edafología, Microbiología de Suelos. Carretera México-  
Texcoco Km 36.5, Montecillo CP 56264, Texcoco, Estado México, México

\*Autor para correspondencia: hernandez.dulce@colpos.mx, dulcejazz@hotmail.com.

**El interés de esta contribución es dar a conocer otras técnicas y sistemas de producción de compostas a diferentes escalas denominados compostadores, los cuales ayudan a reducir los tiempos del proceso tradicional de compostaje garantizando un producto final (compost) de calidad, que puede ser utilizado para restaurar suelos y contribuir a la nutrición de plantas a partir del uso de residuos orgánicos generados en México.**

### Introducción

La generación de residuos sólidos urbanos (ej. alimentos, plásticos, cartón y papel) es de las mayores preocupaciones a nivel mundial, ya que estos residuos tienen un impacto social y ambiental. En México se estima que se generan diariamente 120,128 ton de estos residuos, y el 50% de ellos están compuestos de residuos orgánicos (ej. cáscaras de fruta o verdura, cascarones de huevo, filtros para café, pasto y hojarasca, etc.), los cuales pueden ser transformados en abonos orgánicos mediante el proceso de compostaje, partiendo del modelo de economía circular donde se busca reducir la generación de residuos y aprovecharlos al máximo para generar un producto benéfico para las plantas y el suelo.

La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) define como compostaje a la mezcla de materia orgánica en descomposición por acción de los microorganismos en condiciones aeróbicas, y este producto se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes. En dicho proceso, factores como la temperatura, humedad, pH, relación carbono:nitrógeno (C:N), tamaño de partícula, y aireación tienen un papel muy importante para la obtención de composta madura (compost).







**Diferencias importantes entre una composta madura e inmadura**

En la Tabla 1 se presentan algunas características generales presentes en una composta madura y una inmadura. Los procesos para la obtención de compostas se clasifican en dos categorías principales: sistemas abiertos (biopilas) y cerrados (compostadores/biorreactores).

**Tabla 1.** Características de una composta madura e inmadura.

Características	Composta madura	Composta inmadura
<b>Textura</b>	Terrosa y homogénea fácil de manipular	Se observan componentes orgánicos sin descomponer
<b>Color</b>	Color marrón oscuro o negro	Variable dependiendo del residuo inicial
<b>Olor</b>	Bosque o tierra húmeda	Amoniaco
<b>Temperatura</b>	Ambiente	Alta
<b>Humedad</b>	Baja	Alta
<b>Nutrientes</b>	Alto contenido de materia orgánica	Contiene inhibidores del crecimiento vegetal y un alto contenido en sales solubles

**Sistemas abiertos**

De manera tradicional el proceso de compostaje se lleva a cabo en sistemas abiertos denominados biopilas alargadas y biopilas estáticas (Tabla 2). Estos sistemas de producción consisten en apilar el material a ser composteado sobre una plataforma en montones alargados; las principales diferencias entre ambas tecnologías se presentan en la Tabla 2.

A pesar de ser una de las tecnologías más utilizadas para la producción de compostas maduras, los sistemas abiertos presentan diversas desventajas como: tiempos largos del proceso para obtener una composta madura (4 a 6 meses), se requieren grandes espacios de terreno para colocar las pilas, están sujetos a las condiciones ambientales del lugar donde se coloquen, pueden generar gases y malos olores, entre otras; por ello se ha propuesto como alternativa, el uso de sistemas cerrados.

**Diseño de sistemas abiertos y cerrados en el proceso de compostaje**



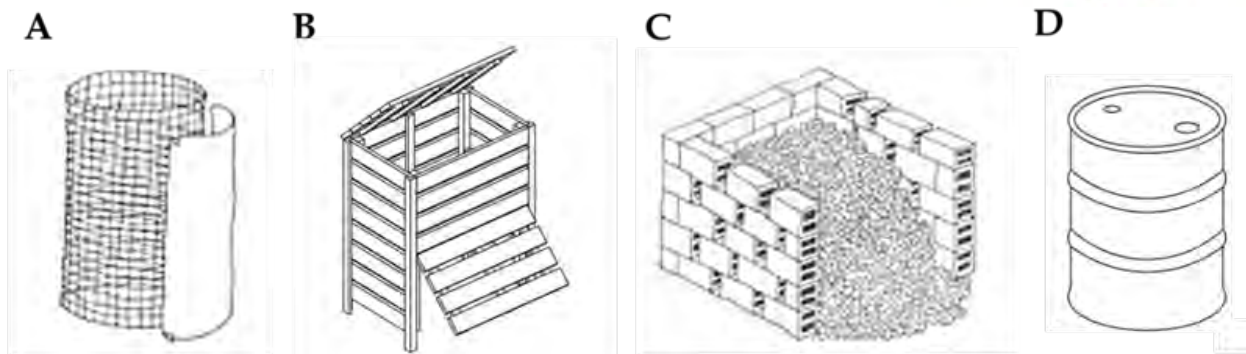
**Tabla 2.** Características generales de los sistemas abiertos de producción de compostas en biopilas.

Biopilas alargadas	Biopilas estáticas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Económico y sencillo.</li> <li>• La aireación se realiza mediante el mezclado manual o mecánico de la composta.</li> <li>• El mezclado permite homogeneizar la temperatura.</li> <li>• La frecuencia del mezclado de la pila depende de la actividad microbiana, que generalmente puede determinarse por el perfil de la temperatura en la composta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No necesitan mezclarse mecánicamente.</li> <li>• La aireación y homogeneización del calor en la composta se lleva a cabo por medio de un sistema de inyección (compresor) de aire, mediante tubos colocados en la base alineados paralelamente a lo largo de la pila.</li> <li>• El sistema de inyección de aire permite el control manual o automático de la velocidad del flujo de aire que provee de oxígeno al proceso de composteo, permitiendo así establecer una relación entre el flujo de aire y la actividad microbiana a través del tiempo.</li> </ul>

### Sistemas cerrados

Los sistemas cerrados son aquellos en los que el proceso de compostaje se lleva a cabo en el interior de un contenedor cerrado, conocido como biorreactor o compostador. En este tipo de dispositivos la materia prima se deposita en su interior y todo el proceso está altamente controlado de forma continua. Existen múltiples diseños de compostadores a pequeña o mediana escala, que pueden o no tener movimiento y cuyo material de construcción puede ser plástico, madera, concreto o metal.

Dentro de los compostadores de pequeña escala sin movimiento utilizados a nivel doméstico podemos mencionar: al compostador de malla metálica, de palos de madera, de ladrillos y de bidón (Figura 1). Estos compostadores son diseñados por su bajo costo y practicidad; sin embargo, presentan algunos inconvenientes en su manejo como son la pérdida de humedad, el incremento excesivo de temperatura, y la compactación del material compostado.



**Figura 1.** Compostadores de pequeña escala domésticos. **A.** Compostador de malla metálica, **B.** Compostador de palos de madera, **C.** Compostador de ladrillos, **D.** Compostador de bidón.

Debido a los inconvenientes previamente mencionados, y partiendo del diseño del compostador doméstico de bidón, se han realizado variantes de este para favorecer el movimiento, aireación y monitoreo de los sistemas, y con ello, mejorar u optimizar, las condiciones físicas y químicas dentro del proceso de compostaje.

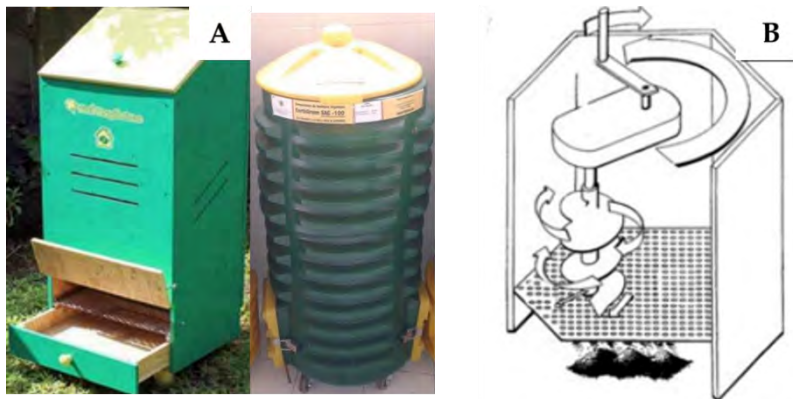
De acuerdo con la disposición del recipiente utilizado como compostador, se pueden clasificar como:

a) Vertical (continuo/estático): el recipiente descansa sobre su base y su altura supera la superficie de la base, la materia orgánica se añade por la parte superior y el material compostado se extrae usualmente por la parte inferior. La materia orgánica y el producto (compost) se incorporan y extraen de manera continua, respectivamente.

Dentro de los diseños verticales encontramos aquellos que se utilizan a mediana escala de 100 a 4500 L, y que consisten en columnas verticales de plástico, que disponen de una compuerta inferior para ir retirando la composta madura; estos diseños no generan olores, ni lixiviados (Figura 2A). Así mismo, se han diseñado algunos modelos que incluyen agitación mecánica interna mediante paletas que favorecen el mezclado homogéneo de los residuos, mayor oxigenación, y, por lo tanto, menor tiempo para obtener el producto deseado (compost) (Figura 2B).



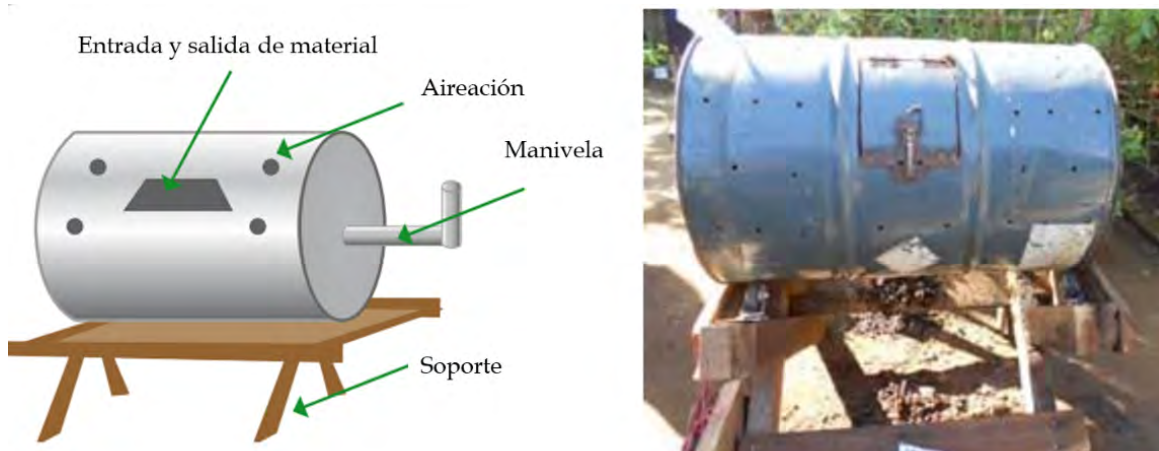




**Figura 2.** Compostadores verticales. **A.** Mediana escala. **B.** Con agitación mecánica.

b) Horizontal (discontinuo/dinámico): el recipiente descansa sobre su eje longitudinal, denominado discontinuo ya que es un proceso por lotes o cargas, es decir se añade la materia orgánica inicial y se retira el producto hasta que termina el proceso de maduración, no tiene entrada ni salida constante de materia prima ni de producto.

Los compostadores horizontales tienen diversos niveles de sofisticación, capacidades y sistemas que garantizan la ejecución y el control del proceso de compostaje. El diseño a pequeña escala consta de un tambor horizontal sobre un ángulo de soporte y movimiento mediante manivela (Figura 3).



Los sistemas cerrados presentan diversas ventajas y desventajas operativas en comparación con los sistemas abiertos para la obtención del compost (Tabla 3).



**Tabla 3.** Ventajas y desventajas operativas de los sistemas cerrados.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los tiempos de residencia, así como la superficie necesaria (extensión de terreno) son menores.</li> <li>• Los olores generados están bajo un control más adecuado que en otros sistemas.</li> <li>• El control de los parámetros necesarios para la descomposición de la materia orgánica está eficazmente monitorizado (temperatura, pH, aireación, humedad).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto costo de inversión inicial.</li> <li>• Mantenimiento tecnificado.</li> <li>• Difícil escalamiento.</li> <li>• Su volumen de trabajo es limitado.</li> </ul>

### Conclusiones

El conocimiento de las tecnologías actuales dentro del proceso de compostaje, permite generar alternativas para el manejo de residuos desde una perspectiva de economía circular logrando hacer más eficiente el proceso a partir de los sistemas cerrados conocidos como compostadores, logrando así un manejo integral de los residuos orgánicos generados en México.

### Agradecimientos

Al Colegio de Postgraduados por el financiamiento otorgado (CONV\_ENASAS\_2023\_08) a través de Convocatoria la Estrategia Nacional de Suelos para la Agricultura Sostenible (ENASAS- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural) para el desarrollo del presente estudio.





### Literatura recomendada



Arrigoni, J. P. (2016). Optimización del proceso de compostaje de pequeña escala. Tesis para obtener el título de Doctor en Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina, 191 pp.

Ayala Cadena, O. (2014). Prototipo de un compostador de uso doméstico automatizado con Arduino. Tesis para obtener el título de Ingeniero en Computación. Universidad Autónoma del Estado de México. México, 98 pp.

Román, P., Martínez, M. P., & Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. FAO, Santiago de Chile, 112 pp.

### Semblanzas de autores

**Dra. Dulce Jazmín Hernández-Melchor.** Investigadora Asociada del Posgrado de Edafología, Área Microbiología de Suelos del Colegio de Postgraduados campus Montecillo. Ingeniera Biotecnóloga por UPIBI-IPN. Maestría y Doctorado en Ciencias en la especialidad de Biotecnología por CINVESTAV, SNII 1.

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

**Dr. Alejandro Alarcón.** Profesor Investigador Asociado del Posgrado de Edafología, Área Microbiología de Suelos del Colegio de Postgraduados campus Montecillo. Ingeniero Agrónomo por la Universidad Veracruzana. Maestría en Ciencias en Edafología por CP, Doctorado en Ciencias en Horticultural Sciences por la Texas A&M University, College Station, Texas, SNII 3.



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>





## Micronutrientes: combatir el hambre oculta con la biofortificación

Marco Antonio Piñón Balderrama  
Geraldine Reyes Barreno  
Joel Uber Calzadillas Pinedo  
Orlanda T. García-González\*

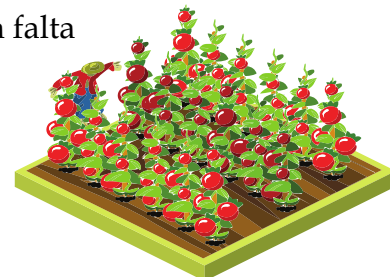
Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, 31350, México

\*Autor de correspondencia: tanahiri14@gmail.com

Actualmente, el 25% de la población mundial es afectada por el hambre oculta, es decir, aproximadamente dos mil millones de personas sufren deficiencia de micronutrientes esenciales como el hierro (Fe), zinc (Zn), yodo (I) y selenio (Se). El hambre oculta se encuentra relacionada con deficiencias nutricionales que no suelen mostrar síntomas visibles, lo cual tiene un impacto severo en la salud y desarrollo humano. Ante este desafío global, la biofortificación de los cultivos surge como una solución prometedora, al enriquecer los alimentos básicos de poblaciones vulnerables en distintas regiones del mundo.

### Introducción

Los micronutrientes como el hierro (Fe), zinc (Zn), yodo (I) y selenio (Se) son fundamentales para el funcionamiento óptimo del organismo. Su deficiencia, sin embargo, puede desencadenar graves problemas de salud, particularmente en niños y mujeres embarazadas. Ante este panorama, surgen alternativas como la biofortificación, una estrategia prometedora que busca abordar esta crisis de nutrientes de manera sostenible. No obstante, uno de los principales desafíos para implementar la biofortificación radica en la escasez de agua, que limita la capacidad de las plantas para absorber los nutrientes necesarios. En este contexto, las técnicas de aplicación foliar se presentan como una solución viable, aunque su eficacia aún requiere investigaciones adicionales y perfeccionamientos. A pesar de su potencial, la adopción de estas prácticas por parte de los agricultores sigue siendo limitada. Esto se debe, a gran medida, a la falta de incentivos, ya que estas técnicas no contribuyen directamente a aumentar los rendimientos de los cultivos, lo cual representa una barrera para su implementación generalizada.





## Deficiencia de micronutrientes y su impacto en la salud humana

La deficiencia nutricional de Fe es la más común en el mundo, afecta a cerca de mil millones de personas y se encuentra vinculada con la anemia. Por otro lado, la deficiencia de Zn tiene consecuencias igualmente graves, se estima que ha provocado alrededor de 116,000 muertes en niños menores de cinco años en el mundo, debido al incremento de infecciones como diarrea y neumonía. Esto se

debe a que el Zn juega un papel esencial en la respuesta inmunológica gracias

a sus efectos antivirales y antimicrobianos, siendo crucial en la defensa contra microorganismos, incluido el coronavirus. De manera similar,

el Se es un micronutriente indispensable para fortalecer el sistema inmunológico frente a infecciones virales y desempeña un papel

importante en la prevención de ciertos tipos de cáncer, ayudando a reducir el riesgo a desarrollarlos. En cuanto al I, aunque la sal

yodada ha sido utilizada como una solución desde hace décadas, la deficiencia de este micronutriente persiste en muchos países, poniendo

a dos mil millones de personas en riesgo. Estudios recientes reportados

por Gallardo et al., (2023), indican que la deficiencia de I está resurgiendo como un problema de salud pública debido a que tiene implicaciones en la síntesis de

hormonas tiroideas, las cuales son fundamentales para el desarrollo mental y la función cerebral (Figura1).

El hambre oculta afecta al 25% de la población mundial, aproximadamente dos mil millones de personas.

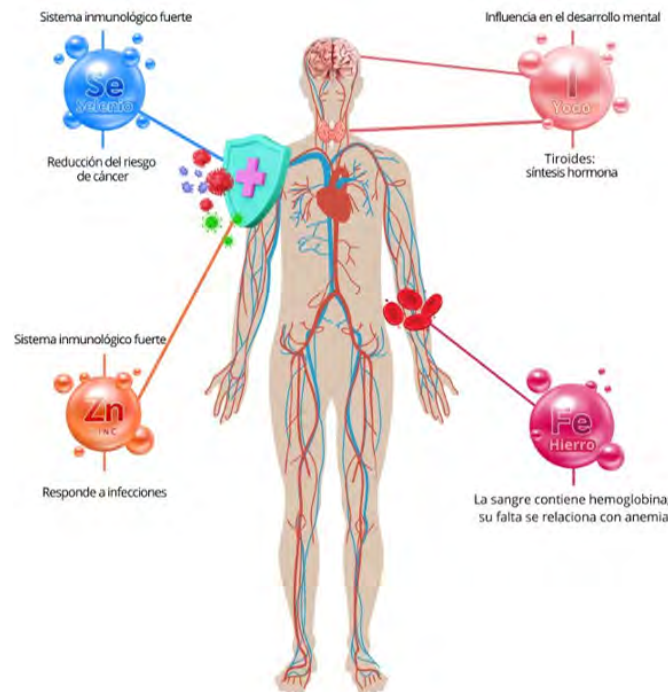


Figura 1. Órganos o sistemas afectados por la deficiencia de micronutrientes.



## Causas de las deficiencias de micronutrientes

La limitada disponibilidad de micronutrientes en el suelo, combinada con la consecuente ingesta insuficiente de estos en la dieta, se identifica como una de las principales causas de la elevada prevalencia de deficiencias de micronutrientes en la población. Los sistemas agrícolas se han diseñado para maximizar la producción en lugar de promover la salud y la nutrición humana; la escasez de agua y el cambio climático también afectan de manera negativa el crecimiento de las plantas. Por lo tanto, es fundamental que los sistemas de cultivo adopten enfoques nutricionales integrados, además de incrementar la producción de alimentos básicos biofortificados, especialmente para las poblaciones más vulnerables. Esto se debe a que, de manera natural, los alimentos presentan niveles bajos de micronutrientes, aunado, a un consumo deficiente de ellos, no se logra cubrir la ingesta diaria recomendada de cada uno de estos nutrientes.



La deficiencia de micronutrientes en las personas es un reflejo de la escasez de estos en el suelo

## Biofortificación de los cultivos

Estudios previos reportados por Prom-u-thai et al., (2020), en donde participaron 15 investigadores en 21 localidades de cinco países tales como Brasil, China, India, Pakistán y Tailandia entre 2016 y 2017, donde el objetivo principal fue biofortificar para la mejora nutricional (Fe, Zn, I y Se) del arroz, un cereal básico pobre en micronutrientes y sometido a procesos intensivos, como el pulido, vaporizado y precocción, antes de su consumo. Los países involucrados (Figura 2) en el estudio

produjeron casi 300 millones de toneladas métricas de arroz, lo que representa un 60% de la producción mundial. Este método logro

aumentar de manera significativa la cantidad de estos 4 micronutrientes en el arroz, contribuyendo con éxito a reducir el hambre oculta. Así, la implementación de esta estrategia agronómica podría mejorar de manera considerable la ingesta de micronutrientes y reducir la deficiencia de estos en la dieta.

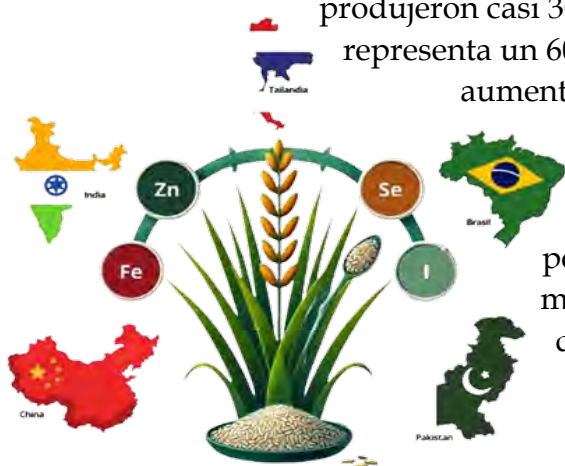


Figura 2. Países involucrados en la biofortificación del arroz: Brasil, China, India, Pakistán y Tailandia.





La biofortificación no es la única estrategia para mejorar la ingesta de micronutrientes, pero sí representa una opción económica para aumentar el valor nutricional de alimentos que suelen ser deficientes o que carecen de micronutrientes. Su efectividad se potencia al combinarse con iniciativas dirigidas a promover el conocimiento nutricional y hábitos alimenticios saludables en las comunidades como la diversificación de la dieta, la fortificación de alimentos y la suplementación.

Es crucial que los gobiernos ofrezcan incentivos económicos para promover la biofortificación

### Incentivos y políticas públicas para promover la biofortificación global

Para promover la biofortificación a nivel nacional, resulta conveniente que los gobiernos y las organizaciones globales implementen incentivos económicos dirigidos a los agricultores. En este sentido, algunos países ya han puesto en marcha

programas para ofrecer recompensas por la producción de cultivos con mayor contenido nutricional, generando incrementos de entre el 10% y el 20% sobre los precios de mercado habituales (Figura 3). Ampliar esta estrategia hacia cultivos ricos en micronutrientes como el Zn, Fe, I y Se, podría ser una medida eficaz. Además, el impacto económico de la desnutrición proporciona un argumento sólido para establecer estas políticas. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), las deficiencias de micronutrientes pueden reducir hasta un 5% del Producto Interno Bruto (PIB) de los países, lo que representa una carga importante tanto para la economía como para los sistemas de salud. En este contexto, la implementación de programas de biofortificación no solo contribuiría a mejorar la nutrición, sino que también podría mitigar estos costos, ya que una población más saludable demandaría menos atención médica, aliviando así la presión sobre los servicios sanitarios y fortaleciendo el desarrollo económico.

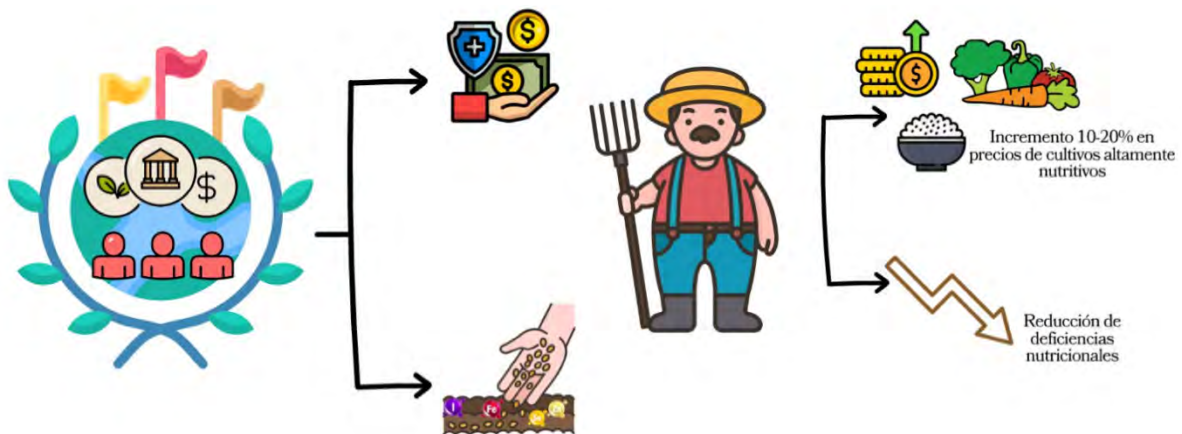
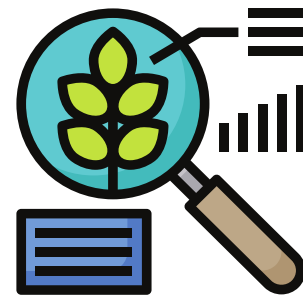


Figura 3. Incentivos y políticas públicas para promover la biofortificación global.



## Conclusiones

La biofortificación de cultivos con micronutrientes como Fe, Zn, I y Se, representa una estrategia innovadora y eficaz para combatir el hambre oculta, que afecta a una parte importante de la población mundial, especialmente en las comunidades más vulnerables de los países en desarrollo. El enriquecimiento de cultivos básicos tiene el potencial de mejorar sustancialmente la nutrición humana, contribuyendo a la prevención de enfermedades asociadas a estas deficiencias. Para garantizar el éxito de esta iniciativa, es fundamental fomentar la colaboración intersectorial, asegurando que las técnicas de biofortificación lleguen a las comunidades más necesitadas. Este enfoque no solo fortalecería la seguridad alimentaria, sino que también impulsaría mejoras significativas en la salud pública a nivel global.

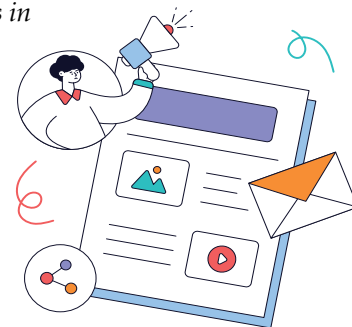


## Literatura recomendada

Prom-u-thai, C., Rashid, A., Hari, R., Zou, C., Guimaraes, G. L. R. G., Corguinha, A. P. B., Guo, S., Kaur, C., Naeem, A., Yamuangmorn, S., Ashraf, M. Y., Sohu, V. S., Zhang, Y., Martins, F. A. D., Jumrus, S., Tutus, Y., Yazici, M. A., & Cakmak, I. (2020). Simultaneous biofortification of rice with zinc, iodine, iron and selenium through foliar treatment of a micronutrient cocktail in five countries. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.589835>

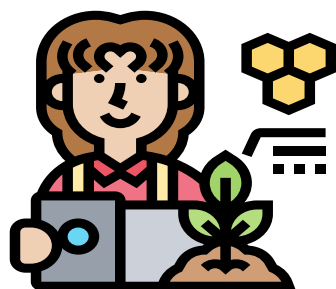
Perea Martínez, D. A., Rios G, P. T., Parra, M., Bravo Lindoro, A., Pecero Hidalgo, M., Santiago Lagunes, L., Gomez, U., Villanueva Clift, H., & Perea Caballero, A. (2023). Deficiencia de micronutrientes. Circunstancia actual en la vida temprana y su repercusión en la salud y la economía. *Acta Pediátrica De México*, 44(6), 474-483. <https://doi.org/10.18233/apm.v44i6.2835>

Bernaebu-Mestre, Josep, & Tormo-Santamaría, María. (2020). La perspectiva histórica y el análisis crítico en el abordaje del desafío alimentario y social del hambre oculta. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 33(2), 149-153. Epub 25 de agosto de 2021. Recuperado en 12 de diciembre de 2024, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S079807522020000200149&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S079807522020000200149&lng=es&tlng=es).





### Semblanzas de autores



**Marco Antonio Piñón Balderrama:** Ingeniero Horticultor egresado la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua, titulado con mención honorífica, con tesis de licenciatura en sustratos alternativos para plantas ornamentales, actualmente es estudiante de la Maestría en Ciencias Hortofrutícolas de la misma Facultad.

**Geraldine Reyes Barreno:** Ingeniera Horticultora de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua, titulada mediante la tesis "Promoción del crecimiento en lechuga (*Lactuca sativa*) con *Trichoderma* spp. en hidroponía". Actualmente cursa la Maestría en Ciencias Hortofrutícolas en la misma Facultad, donde continúa especializándose en el uso de microorganismos para mejorar los sistemas hidropónicos.

**Joel Uber Calzadillas Pinedo:** Ingeniero Horticultor egresado de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Laboró en Unifrut con 2 años de experiencia en el área de financiamientos, analizando y evaluando huertas sujetas acreditado. Actualmente estudia la Maestría en Ciencias Hortofrutícolas.

**Orlanda T. García-González:** IPCH por la Universidad Autónoma de Chihuahua. Obtuvo el 2do lugar, en el II Encuentro de jóvenes investigadores de IES Chihuahua 2015. Laboró en Innovak Global con cuatro años de experiencia como analista de investigación y uno en ventas. Artículo publicado en *The Plant Pathology Journal* 2018. Actualmente estudia la Maestría en Ciencias Hortofrutícolas.



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>





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

**Felicitaciones!**



**TERRA**  
Latinoamericana



# ¡ Tenemos Sede !



Enseñar la explotación de la tierra,  
no la del hombre

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

**¡ Separa la fecha y participa !  
Texcoco, Estado de México, México  
Octubre 13-17, 2025**





MESA DIRECTIVA 2023-2025

¡Sigue nuestras  
redes sociales!



**Sociedad Mexicana de la Ciencia  
del Suelo**



Sitio web



Facebook



**Congreso Mexicano de la Ciencia  
del Suelo**



Sitio web



Facebook



| 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