



## Biofortificación: enriqueciendo nuestros alimentos para un futuro saludable

Sánchez-Portillo Steffanny<sup>1</sup>  
Juárez-Maldonado Antonio<sup>1</sup>  
Benavides-Mendoza Adalberto<sup>2</sup>  
Rodríguez-Herrera Raúl<sup>3</sup>  
Martínez-Hernández Ginés B<sup>4</sup>  
Pérez-Labrada Fabián<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Botánica. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México

<sup>2</sup> Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.

<sup>3</sup> Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ciencias Químicas. Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.

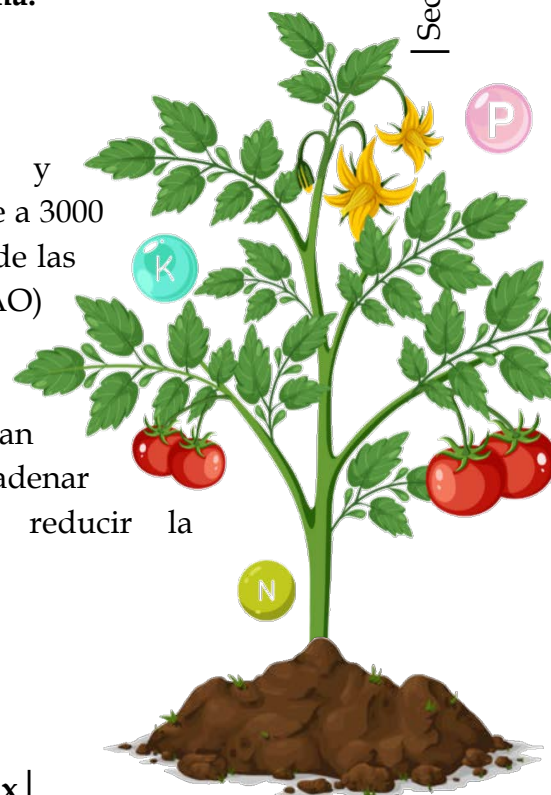
<sup>4</sup> Departamento de Ingeniería Agrícola. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, Región de Murcia, España.

\*Autor para correspondencia: [fabian.perezl@uaaan.edu.mx](mailto:fabian.perezl@uaaan.edu.mx)

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

### Introducción

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

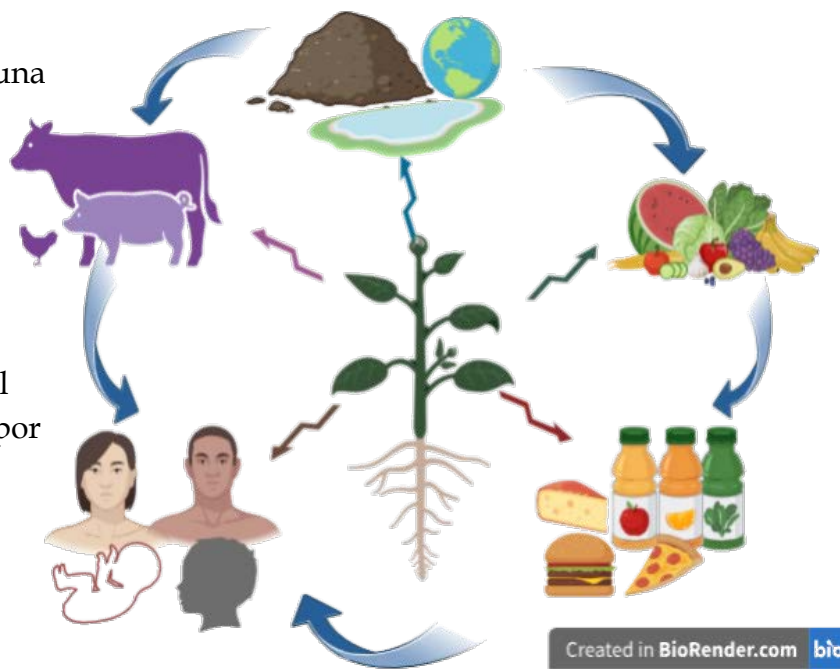




Ante este desafío, la biofortificación surge como una herramienta práctica, accesible y sostenible con el potencial de mejorar la salud de millones de personas, fortalecer la seguridad alimentaria y contribuir a la lucha contra la malnutrición en comunidades vulnerables.

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

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



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

### ¿Qué es la biofortificación de cultivos?

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



La biofortificación transforma alimentos básicos en fuentes de nutrientes esenciales.

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

### La ciencia detrás de la biofortificación

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

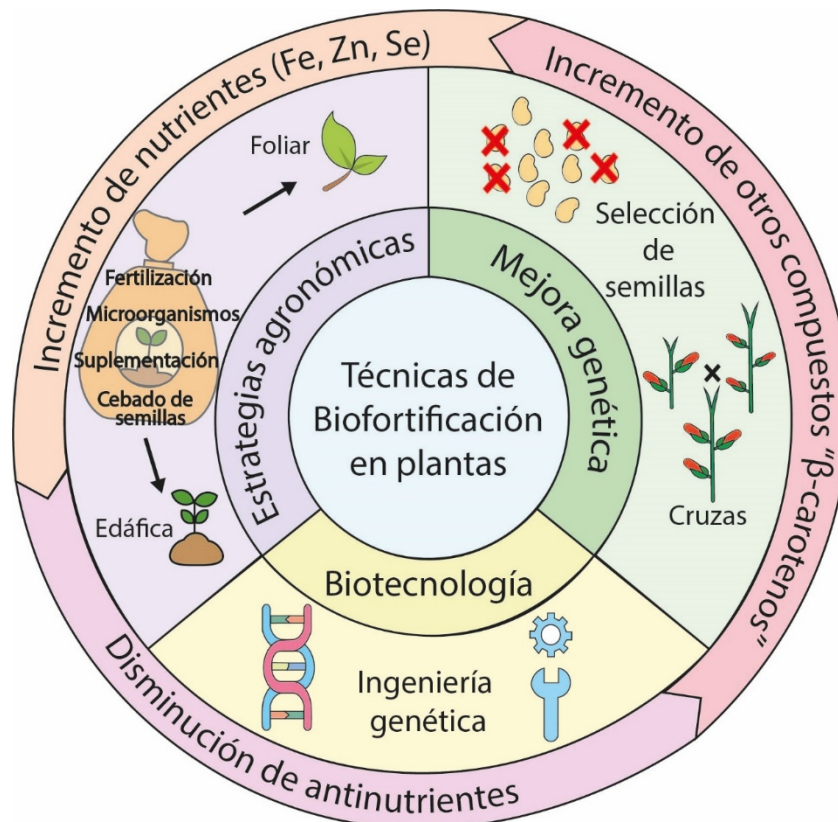


Figura 2. La ciencia detrás de la biofortificación.



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

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

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

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

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



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

### **Biofortificación y Salud Global**

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

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

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



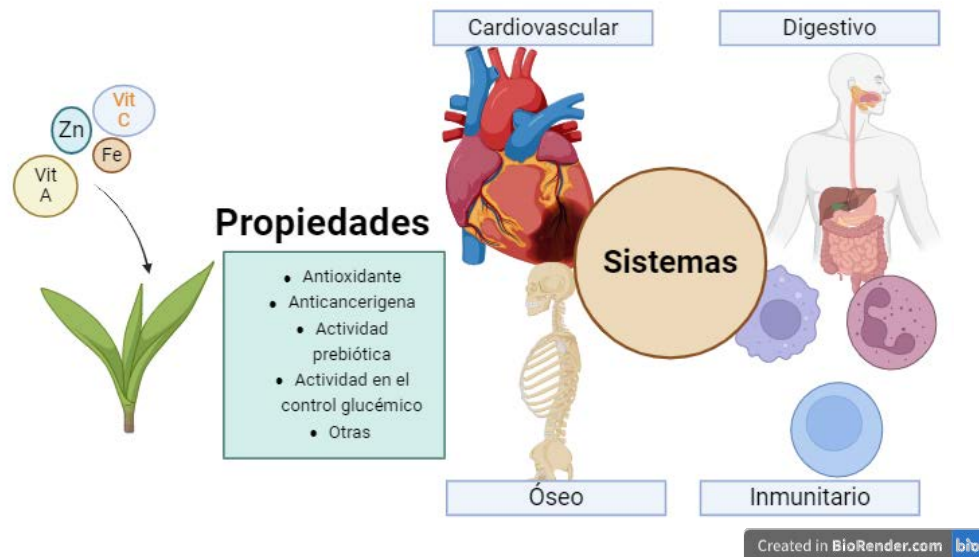


Figura 3. Impacto de la biofortificación en la salud.

### Biofortificación: herramienta contra deficiencia de Fe y Zn

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

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

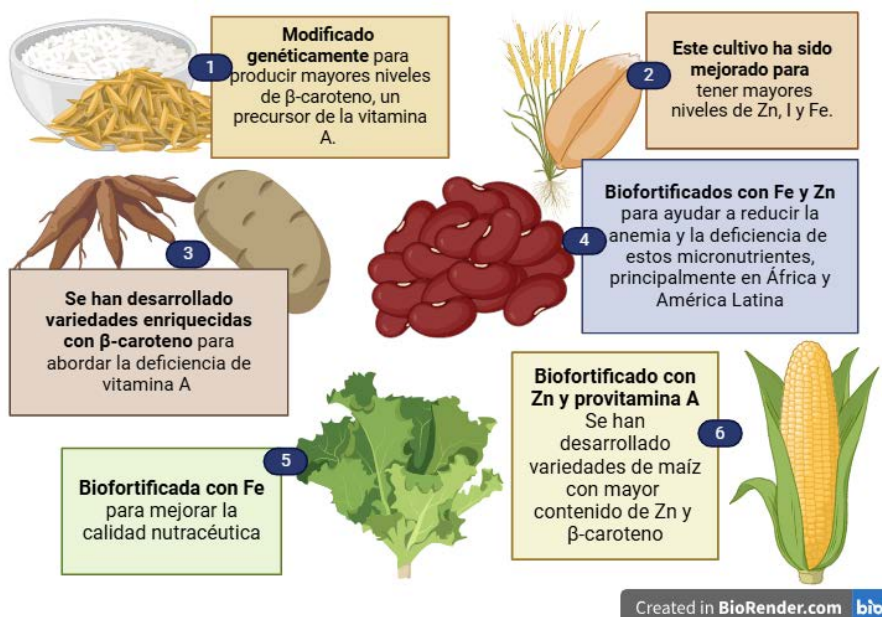


Figura 4. Cultivos biofortificados por diferentes estrategias.



### **Biofortificación y sostenibilidad de cultivos**

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

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



La biofortificación  
combate la  
malnutrición desde  
la agricultura.



### Retos y controversias: un camino por recorrer.

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

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

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

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



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



## Conclusiones

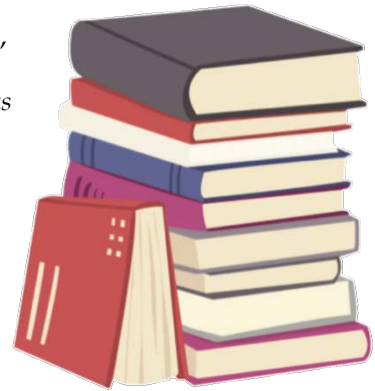
La biofortificación es una estrategia sostenible con el potencial de mejorar la salud global, especialmente en regiones donde la malnutrición y las deficiencias de nutrientes son problemas críticos. Al enriquecer cultivos con diferentes minerales esenciales se ofrece una solución accesible y a largo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

## Literatura recomendada

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

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

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



## Semblanzas de autores

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

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

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



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

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

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

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

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

**TERRA**  
Latinoamericana



ISSN Electrónico 2395 - 8030