



Microorganismos: el eslabón oculto en la nutrición de las plantas

Labna Aixchel Sierra Ramírez¹
Cynthia Roxana Maceda Ramírez²
José Carlos Santacruz Juárez³
Iván Pável Moreno Espíndola³
Mariela H. Fuentes Ponce^{3*}

¹Maestría en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco.

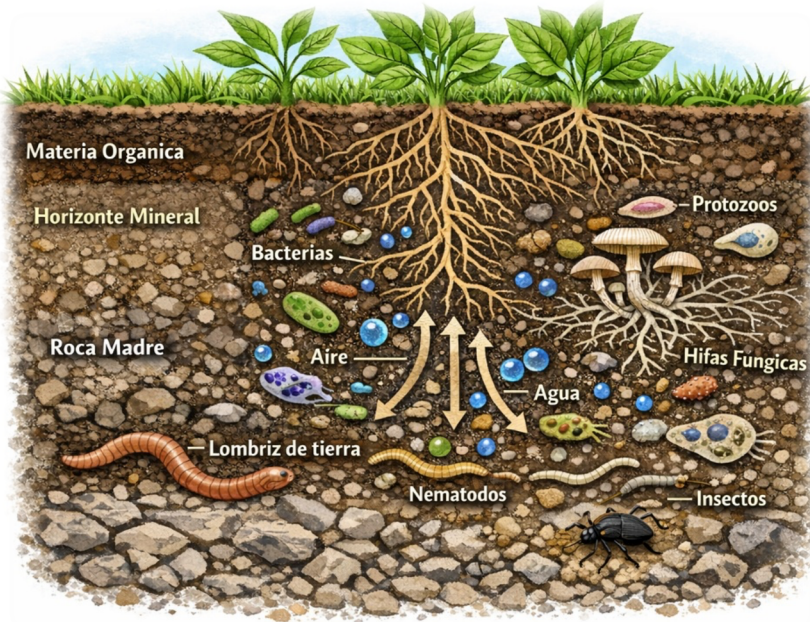
²Maestría en Ecología Aplicada, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco.

³Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. Calz. Del Hueso 1100, Coapa, Villa Quietud, Coyoacán, 04960 Ciudad de México, CDMX.

*Autor para correspondencia: mfponce@correo.xoc.uam.mx

¿Sabías que debajo de nuestros pies existe un componente vital que da sostén a casi todo lo que conocemos?

Ese componente es el suelo, una delgada capa que recubre la superficie de la



corteza terrestre, formada a partir de la desintegración de las rocas y la acumulación de materia orgánica (restos de plantas y animales), su arreglo forma poros que contienen agua y aire. El suelo también alberga macro, meso y microorganismos, todo ello esencial para el crecimiento de las plantas.

Los microorganismos, bacterias y hongos principalmente, son capaces de descomponer la materia orgánica para alimentarse y al mismo tiempo liberan nutrientes que son

absorbidos por las plantas. Además, estos organismos microscópicos ayudan a las plantas a tolerar condiciones que limitan su desarrollo como factores bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (salinidad, sequía y otros factores ambientales).



Introducción

Los **microorganismos** también participan en la producción de sustancias que coadyuvan al crecimiento, desarrollo y adaptación de las plantas. Por lo que, básicamente, sin estos recursos microbianos, el suelo dejaría de ser un ente vivo, impactando directamente sobre la nutrición vegetal y la productividad agrícola.

¿Sabías que...

1 gramo de suelo puede llegar a albergar a millones de microorganismos?

No obstante, algunas de las prácticas más utilizadas en la agricultura, pueden ocasionar un impacto negativo sobre el desarrollo del sistema suelo-planta-microorganismo. En este texto indagamos acerca de los beneficios que tienen los microbios en la agricultura y el cómo pueden ser utilizados para aumentar la disponibilidad de nutrientes para las plantas en el suelo, o sea convertirse en un **biofertilizante**; además, se aborda cómo el uso irracional de los agroquímicos puede repercutir sobre la presencia y diversidad de los microorganismos en el suelo.

¿Por qué los microorganismos son importantes en el suelo?

El suelo no solo es el medio físico que da soporte mecánico a las plantas, sino que representa un recurso complejo compuesto por muchos elementos: aire, agua, minerales, materia orgánica y pequeños animales que degradan la materia orgánica, como las lombrices, los insectos y los microorganismos.

Muchos de estos microorganismos, participan en el reciclaje de nutrientes en el suelo y con esto, aumentan la disponibilidad de los nutrientes necesarios para el

crecimiento y desarrollo de las plantas. La manera en cómo las bacterias y hongos del suelo pueden procesar la materia orgánica ocurre debido a la actividad enzimática, es decir, producen enzimas que rompen la estructura de la materia orgánica para alimentarse de compuestos existentes en ella y a su vez se generan nuevos compuestos que las plantas pueden absorber como nutrientes.



Un gramo de suelo puede llegar a albergar millones de microorganismos.



A parte de aumentar la disponibilidad de nutrientes esenciales como el nitrógeno, el fósforo o el potasio, entre otros, los microorganismos también participan en la regulación del crecimiento de las plantas por medio de la producción de sustancias, como auxinas, giberelinas, citoquininas o etileno, así como la producción de antibióticos contra organismos dañinos o la resistencia al estrés ambiental como sequía, salinidad o temperaturas extremas. Debido a estas características, los microorganismos ofrecen un gran potencial para ayudar a que los cultivos crezcan adecuadamente. Los seres humanos dependemos de los cultivos agrícolas para alimentarnos, por ello hemos buscado diferentes formas para aumentar su producción.

El pasado como punto de partida

La Revolución verde fue un modelo agrícola que se desarrolló a mediados del Siglo XX, cuyo objetivo fue la “tecnificación” del campo agrícola para incrementar la producción de alimentos a escala mundial, mediante la implementación de ciertas innovaciones como maquinaria agrícola, sistemas de riego, variedades mejoradas de cultivos y diversas prácticas de manejo, entre ellas, el uso de insumos sintéticos como fertilizantes y plaguicidas. Sin embargo, aunque estas estrategias permitieron un aumento significativo de la producción de alimentos, también generaron una fuerte dependencia de insumos externos para los agricultores y su uso irracional impactó ambiental.

El uso inadecuado de productos sintéticos y algunas malas prácticas agrícolas han provocado serios problemas como la contaminación, degradación y la pérdida de biodiversidad del suelo, lo que impacta en la reducción de los microorganismos que habitan en él. Ante esta problemática a escala mundial, se han buscado y desarrollado estrategias de manejo sostenible con el objetivo de mantener o incrementar la producción agrícola reduciendo el impacto ambiental, regulando el uso de fertilizantes sintéticos. Estas estrategias buscan conservar la fertilidad del suelo, proteger la biodiversidad y mejorar la eficiencia en el uso de recursos como agua y nutrientes.



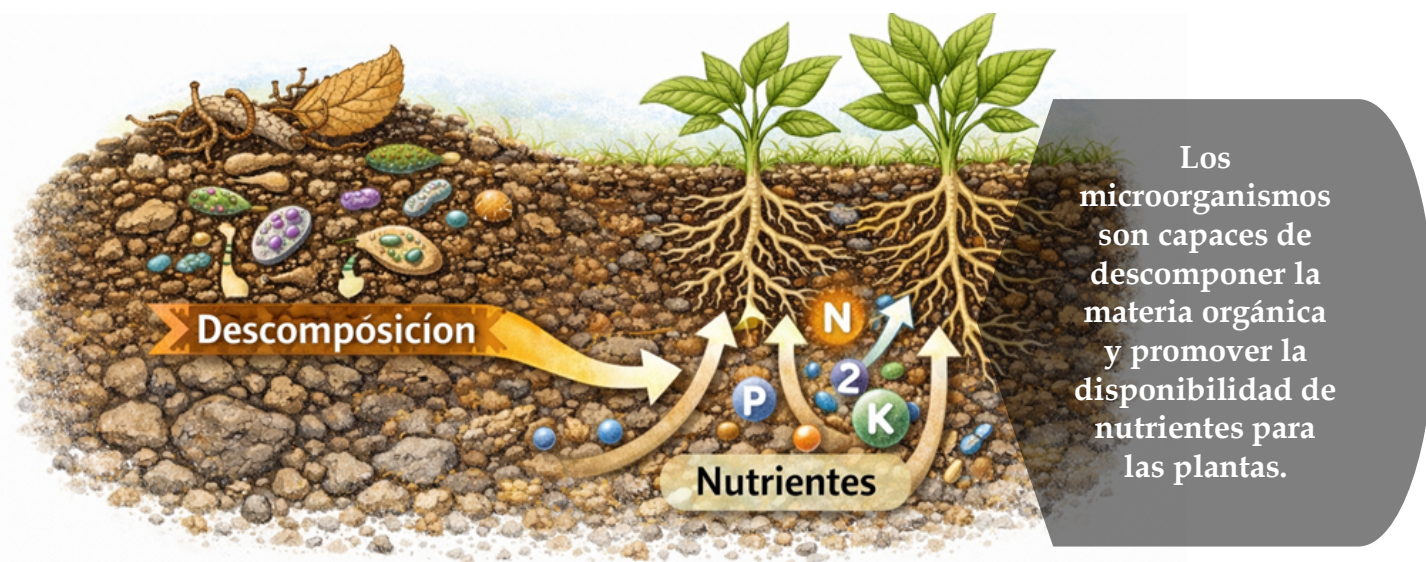
Sin los microorganismos, el suelo dejaría de ser un ente vivo, impactando directamente sobre la fertilidad y la productividad agrícola.



Entre las alternativas que han cobrado mayor relevancia en los últimos años, destaca la producción y el uso de **biofertilizantes**, los cuales son formulaciones que contienen microorganismos benéficos que al ser aplicados mejoran la nutrición y desarrollo vegetal. Estos productos pueden presentar microorganismos en su estado activo o latente, es decir, con una alta o baja actividad metabólica.

Así mismo, las comunidades microbianas tienen el potencial de restaurar la salud y calidad del suelo, aún en ambientes degradados por la agricultura intensiva, además de que por sus propiedades benéficas, permiten disminuir o reemplazar, el uso de fertilizantes sintéticos, sumado al uso de enmiendas orgánicas, ya que los microorganismos aceleran el proceso de descomposición, quelatan o mineralizan los nutrientes, es decir, pasan de una forma orgánica a una inorgánica favoreciendo la absorción por parte de las plantas, por lo que, sin ellos, muchos de los nutrientes quedarían inmovilizados en el suelo.

La capacidad que tiene el suelo para suministrar la cantidad de nutrientes necesaria para las plantas depende, en gran medida, de la interacción entre los microorganismos del suelo y la rizosfera (la zona del suelo rodeada e influenciada por raíces de las plantas). Por lo que el papel de los microorganismos resulta clave para poder mantener la fertilidad del suelo y mejorar la eficiencia nutrimental de los cultivos agrícolas; además que favorece una agricultura sostenible y reduce el impacto ambiental ocasionado por el uso inadecuado de agroquímicos sintéticos.





Los biofertilizantes: una opción sostenible

Los **fertilizantes sintéticos** han sido ampliamente utilizados en la agricultura intensiva debido a la capacidad que poseen para proporcionar nutrientes disponibles de forma inmediata, ya que en general, son sales inorgánicas solubles, lo cual facilita la asimilación por parte de las plantas, fabricadas y formuladas industrialmente. Sin embargo, su uso inadecuado está asociado a daños ambientales significativos, como la contaminación de suelo y agua. Esto sucede ya que las plantas solo pueden absorber una cantidad limitada de los nutrientes, entre el 30 y 40%, por lo que el resto puede llegar a lixiviarse con facilidad al pasar por los poros del suelo hasta llegar a los mantos acuíferos. Esto quiere decir que cuando el fertilizante aplicado no logra ser absorbido completamente por las plantas, una parte de estos nutrientes solubles en agua (60-70%) son arrastrados por la lluvia desde la superficie del suelo hasta los mantos acuíferos y de allí a los ríos, lagos, canales y océanos provocando un fenómeno denominado eutrofización, que no es más que la saturación de nutrientes en los cuerpos de agua, lo que ocasiona un crecimiento descontrolado de algas que agotan el oxígeno en el agua y la calidad de los sistemas acuáticos.

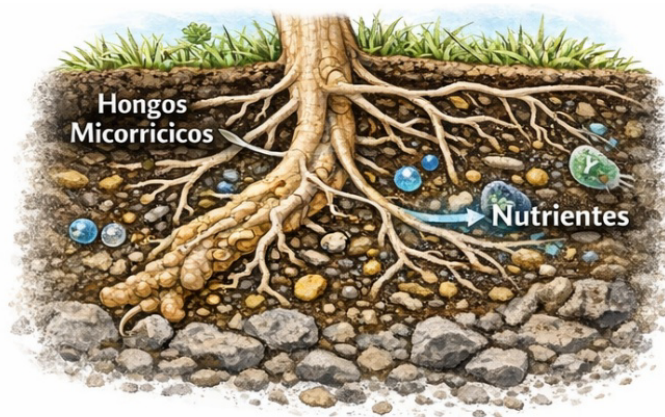


En contraste, los **biofertilizantes** representan una alternativa para el desarrollo de una agricultura sostenible, ya que sus microorganismos benéficos participan en el proceso de degradación de la materia orgánica o solubilización ciertos minerales para aumentar la disponibilidad de los nutrientes requeridos por las plantas, lo que permite disminuir el uso de fertilizantes sintéticos y con ello, los costos de producción, al mismo tiempo, que se construye una agricultura más amigable con el

medio ambiente. Y como lo dijimos antes, también los microorganismos que conforman los biofertilizantes producen sustancias que ayudan a regular el crecimiento de las plantas y protegerlas de plagas y condiciones ambientales adversas.



Por otro lado, los biofertilizantes también contribuyen a mejorar las propiedades y salud del suelo ya que algunos microorganismos como los Hongos Micorrícicos Arbusculares permiten la formación de una proteína denominada “glomalina” la cual funciona como un pegamento para las partículas del suelo y permite mejorar su estructura, para que existan poros por donde el aire y el agua puedan moverse con facilidad, lo cual también influye en la posibilidad de que las raíces puedan absorber los nutrientes solubles en la solución del suelo. Algunas bacterias son capaces mejorar la capacidad del suelo para retener agua y reducir la erosión, lo cual, no solo permite aumentar la productividad de los agroecosistemas, sino que también fortalece la resiliencia de los cultivos frente a los cambios ambientales.



Aquí un ejemplo sobre el uso de biofertilizantes en una parcela:

Consulta este estudio de caso reportado por Medina et al., (2021) en:

<https://journals.uco.es/bioeconomy/article/view/13533/12600>



¿Sabías que México es uno de los principales productores de azúcar en el mundo?

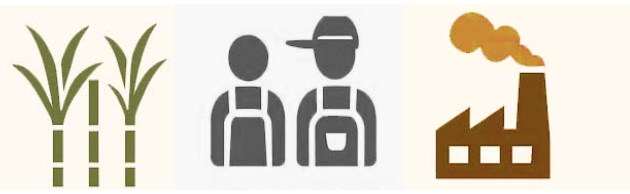
¿Y que la producción y demanda de la caña han ido en aumento?

En los últimos años, la producción de caña a nivel nacional ha superado los 55 millones de toneladas, lo cual lo posiciona como el octavo productor a nivel mundial.

Los fertilizantes sintéticos han aumentado sus costos hasta en un 300%, lo cual repercute en los costos de producción y en la insostenibilidad para algunos productores.

Ante esta situación, una empresa mexicana ubicada en el estado de Morelos se dio a la tarea de realizar estudios para evaluar el impacto sobre la aplicación de biofertilizantes en la producción de caña de azúcar con el objetivo de encontrar alternativas más eficientes, rentables y ecológicas para su producción. Por lo que compararon los resultados obtenidos en parcelas con agricultura convencional (uso de fertilizantes sintéticos) respecto a parcelas que utilizaron biofertilizantes.

Concluyendo que la aplicación de biofertilizantes logró reducir hasta en un 30% la fertilización nitrogenada al complementarla con microorganismos como *Azospirillum spp.*, y un consorcio de Hongos Micorrícicos Arbusculares.



Según los autores, se obtuvo el doble de ganancias respecto a la parcela donde sólo se aplicaron fertilizante sintéticos: Ganancia Neta Total **sin** Biofertilizantes: \$176,600; Ganancia Neta Total **con** Biofertilizantes: \$411,200. De esta forma, además de

reducir el impacto ambiental en suelos y cuerpos de agua, también se incrementaron las ganancias al reducir el gasto en insumos sintéticos.

Los biofertilizantes son formulaciones que contienen microorganismos benéficos que al ser aplicados mejoran la nutrición y desarrollo vegetal.



Los biofertilizantes poseen un periodo de "acción" gradual para liberar nutrientes y que la planta los vaya absorbiendo en el tiempo, además de estimular reguladores de crecimiento y sustancias protectoras para las plantas.

¿Cómo se producen los biofertilizantes?

Es muy importante mencionar que la preparación de un biofertilizante con microorganismo nativos, o sea del lugar de interés, resultará más eficiente, debido que están mejor adaptados a las condiciones del lugar y además no resultarán perjudiciales para el resto de los microorganismos que viven en el suelo. El proceso para obtener, caracterizar y reproducir microorganismos cambia dependiendo del microorganismo de interés.



Describiremos de manera sencilla un ejemplo para reproducir bacterias solubilizadoras de fósforo, esto quiere decir que logran que este elemento esté disponible para las plantas (**Figura, 1**).

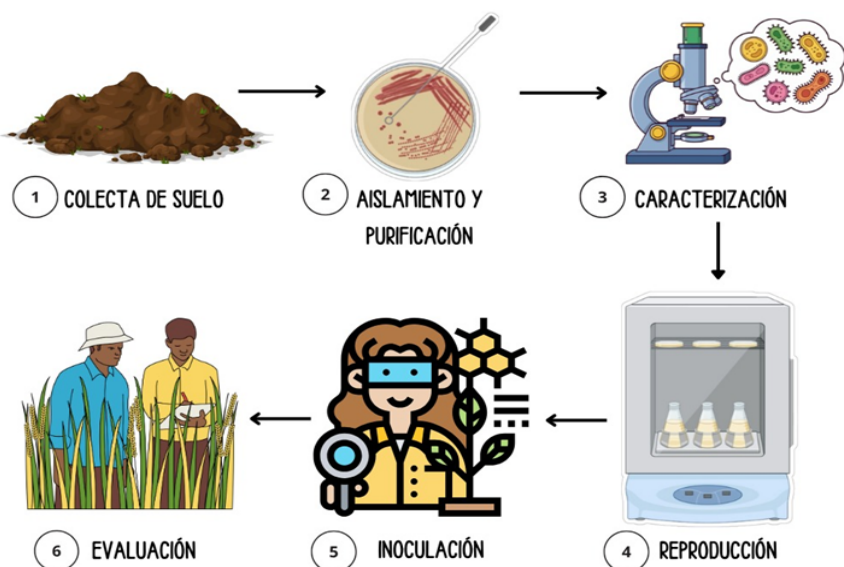


Figura 1. Proceso para reproducir cepas bacterianas con potencial biofertilizante.

1) Se **colecta el suelo**, de varios puntos de la parcela, para componer **una** sola muestra mezclada, y de esta forma, representar todo el lugar de interés.

2) **Aislamiento y purificación:** se toma un gramo de suelo y se diluye en agua con un poco de sal, se mezcla muy bien y se toma un poco de esta solución para depositarla en una caja de Petri que tiene un medio de cultivo, este es una especie de gelatina (agar) que en este caso tiene fósforo como nutriente, esto quiere decir que

sólo crecerán las bacterias que usen este elemento como alimento, en este caso el medio es de color y a medida que las

bacterias crecen, formando diferentes colonias (son millones de bacterias iguales), cambia a color amarillo (**Figura. 2**).

3) De allí se escoge alguna colonia y se vuelve a sembrar en otra caja y así varias veces hasta que se aísla un solo tipo de bacteria, que se usará para hacer el biofertilizante.

4) **Caracterización**, se realizan distintas pruebas para identificar al microorganismo aislado: desde la forma y características de las colonias, observaciones al microscopio para describir el tipo de células y el tipo de pared celular, la técnica de tinción de Gram, hasta técnicas de biología molecular para aislar genes específicos que permitan su identificación.



Figura 2. Medio selectivo fosforado.

El cambio de color (morado a amarillo) indica la presencia de bacterias solubilizadoras de fósforo



Algunas otras pruebas permiten conocer las condiciones en las que se desarrollan los microorganismos, como el pH, salinidad del suelo, fuentes de carbono de las que se alimentan, entre otras.

- 5) **Reproducción** del microorganismo de interés, se lleva a cabo su crecimiento en un medio de cultivo líquido dentro de una incubadora con agitación a una temperatura de 28°C de 24 a 48 horas. Este paso se realiza con el objetivo de elaborar un biofertilizante, el cual tendrá alimento para que el microorganismo este con vida hasta que es aplicado al suelo. En el mercado existen diversos biofertilizantes, la concentración de cada producto varía entre especies, pero la mayoría de los biofertilizantes bacterianos se aplican en una concentración que va de 10^6 hasta 10^8 Unidades Formadoras de Colonias por mililitro.
- 6) **Inoculación y evaluación del biofertilizante**, el producto puede ser aplicado en las semillas o en la zona del suelo donde se encuentran las raíces u hojas del cultivo que se quiere beneficiar; posteriormente se evalúan aspectos como el rendimiento del cultivo y otros aspectos que ayudan a determinar la efectividad del biofertilizante.



Figura 3. Inoculación de la bacteria
Incorporación del biofertilizante a la rizosfera

Conclusiones

Los microorganismos, aunque no los veas en el suelo, son un factor clave proveer de nutrientes a las plantas al degradar la materia orgánica, así como para fomentar condiciones favorables para que las plantas puedan absorber los nutrientes,

como ayudar a formar poros por donde se moverá la solución del suelo que lleva los nutrientes disueltos que absorberán las raíces de las plantas. Por ello, con estos microorganismos, bacterias y hongos, se han formulado **los biofertilizantes** que no solo representan una alternativa viable (sobre todo, aquellos elaborados a partir de microorganismos nativos) para reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos, sino que también, promueven la regeneración de los suelos, y la biodiversidad de los sistemas agrícolas, apostando así por asegurar la soberanía alimentaria, al fortalecer la producción local de alimentos de calidad y reducir costos para los productores.





Agradecimientos

Este proyecto es financiado por la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México. Nombre del proyecto: "Soberanía alimentaria: Sistema agroalimentario sostenible para la ciudad de México" CASA UAM Centro articulador para la sostenibilidad alimentaria. Número de proyecto: SECTEI/010/2024.

Literatura recomendada

- Dar, G. H. 2020. Soil Microbiology and Biochemistry. NIPA; eBook Academic Collection (EBSCOhost).
- Medina P., González C., Morales M. 2021. Uso de biofertilizantes para una producción más rentable y sustentable de caña de azúcar en México, Biofábrica Siglo XXI. C3-BIOECONOMY, Revista de Investigación y Transferencia en Bioeconomía Circular y Sostenible N2.
- Moreno-Espíndola, I. P., Gutiérrez-Navarro, A., Franco-Vásquez, D. C., & Vega-Martínez, D. 2025. Reflections on microbial genetic resources in agricultural systems. *Current Research in Microbial Sciences*, 8, 100337.
<https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2024.100337>
- Rueda Puente E. O., Ortega García J., Barrón Hoyos J. M., López Elías J., Murillo Amador B., Hernández Montiel L. G., Alvarado Martínez A. G., Valdez Domínguez R. D. 2015. Los fertilizantes biológicos en la agricultura INVURNUS, Vol. 10 No. 1: 10-17
- Shahzad, M., Hayat, R., Mujtaba, G. *et al.* 2025. Biofertilizers in sustainable agriculture: mechanisms, applications, and future prospects. *Discov Agric* 3, 224
<https://doi.org/10.1007/s44279-025-00318-0>



Semblanzas de autores

Labna A. Sierra Ramírez: Estudiante de la Maestría en Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma Metropolitana. Su línea de investigación se orienta hacia el desarrollo de técnicas experimentales para la identificación de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) y la producción de inóculos nativos.

Cynthia Roxana Maceda Ramírez: Estudió la Maestría en Ecología Aplicada en la Universidad Autónoma Metropolitana. Su investigación se centró en la producción e inoculación de bacterias nativas de suelos agrícolas de Oaxaca.

José Carlos Santacruz Juárez: Licenciado en Agronomía por la UAM-X. Su trayectoria profesional se centra en la implementación y promoción de prácticas agrícolas sostenibles, la conservación de los recursos naturales además de la difusión del conocimiento agroecológico entre productores y comunidades.

Iván Pável Moreno Espíndola: Profesor Asociado D, Departamento de Producción Agrícola y Animal, UAM Unidad Xochimilco. Temas e interés: Microbiología agrícola y cultivos nativos. Sistema Nacional de Investigadores: Candidato 2017-2021; Reconocimiento PRODEP (2023-2026). Premio a la Investigación 2022 en el Área de Ciencias Biológicas y de la Salud. UAM.

Mariela H. Fuentes Ponce: Profesora Titular C en UAM-X. Licenciada en Agronomía por la UAM. Maestra en Edafología (COLPOS). Doctora en Ciencias Biológicas (COLPOS-Universidad de Salamanca). Pertenece al SNI y cuenta con reconocimiento PRODEP. Tiene más de 35 publicaciones en diferentes medios. Editora asociada de *Frontiers in Sustainable Food Systems*.

