

# El rol de los microorganismos en la fertilidad del suelo agrícola basado en una revisión de estudios recientes

## *The role of microorganisms in agricultural soil fertility based on a review of recent studies*

Castro-Landin, Alfredo Lesvel<sup>1</sup>; Zapata-Velasco, Mayra Lisette<sup>2</sup>; Palacios-Lopez, Luisa Anabel<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Estatal del Sur de Manabí; Cuba, Matanza; <https://orcid.org/0000-0001-6340-8749>; [alfredo.castro@unesum.edu.ec](mailto:alfredo.castro@unesum.edu.ec)

<sup>2</sup> Universidad Estatal del Sur de Manabí; Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0000-0003-1578-3776>; [mayra.zapata@unesum.edu.ec](mailto:mayra.zapata@unesum.edu.ec)

<sup>3</sup> Universidad Estatal del Sur de Manabí; Ecuador, Calceta; <https://orcid.org/0000-0002-9257-7557>; [luisa.palacios@unesum.edu.ec](mailto:luisa.palacios@unesum.edu.ec)

<sup>1</sup> Autor Correspondencia

 <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v1/n1/8>

**Cita:** Castro-Landin, A. L., Mayra Lisette, M. L., & Luisa Anabel, L. A. (2023). El rol de los microorganismos en la fertilidad del suelo agrícola basado en una revisión de estudios recientes. *Innova Science Journal*, 1(1), 26-37. <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v1/n1/8>.

**Recibido:** 14/11/2022

**Aceptado:** 10/12/2022

**Publicado:** 31/01/2023



**Copyright:** © 2023 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC).

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

**Resumen:** El presente estudio analiza el papel de los microorganismos en la fertilidad del suelo agrícola mediante una revisión de estudios recientes. Se contextualiza la importancia de la microbiota del suelo en la disponibilidad de nutrientes esenciales para los cultivos y su relación con la sostenibilidad agrícola. La metodología empleada consistió en una revisión bibliográfica de artículos científicos indexados en Scopus y Web of Science, priorizando investigaciones publicadas entre 2018 y 2024. Los principales hallazgos revelan que los microorganismos del suelo cumplen funciones clave, como la fijación de nitrógeno, la solubilización de fósforo y la degradación de materia orgánica, procesos fundamentales para la productividad agrícola. Sin embargo, el uso excesivo de fertilizantes sintéticos y pesticidas ha impactado negativamente la biodiversidad microbiana, disminuyendo la fertilidad del suelo y generando desequilibrios ecológicos. En contraste, prácticas sostenibles como el uso de biofertilizantes, la rotación de cultivos y la reducción del laboreo han demostrado restaurar la microbiota edáfica y mejorar la eficiencia en el reciclaje de nutrientes. Se concluye que el aprovechamiento de los microorganismos del suelo es clave para reducir la dependencia de insumos químicos y fortalecer la resiliencia de los ecosistemas agrícolas.

**Palabras clave:** microbiota del suelo; fertilidad agrícola; biofertilizantes; sostenibilidad agrícola; biodiversidad microbiana.

**Abstract:** The present study analyzes the role of microorganisms in agricultural soil fertility through a review of recent studies. The importance of soil microbiota in the availability of essential nutrients for crops and their relationship with agricultural sustainability is contextualized. The methodology employed consisted of a literature review of scientific articles indexed in Scopus and Web of Science, prioritizing research published between 2018 and 2024. The main findings reveal that soil microorganisms perform key functions, such as nitrogen fixation, phosphorus solubilization and organic matter degradation, fundamental processes for agricultural productivity. However, the excessive use of synthetic fertilizers and pesticides has negatively impacted microbial biodiversity, decreasing soil fertility and generating ecological imbalances. In contrast, sustainable practices such as the use of biofertilizers, crop rotation and reduced tillage have been shown to restore soil microbiota and improve nutrient recycling efficiency. It is concluded that the use of soil microorganisms is key to reducing dependence on chemical inputs and strengthening the resilience of agricultural ecosystems.

**Keywords:** soil microbiota; agricultural fertility; biofertilizers; agricultural sustainability; microbial biodiversity.

## 1. Introducción

La fertilidad del suelo es un factor determinante en la productividad agrícola, ya que influye directamente en la disponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento de los cultivos. En las últimas décadas, la degradación de los suelos agrícolas ha sido un problema creciente debido a prácticas de manejo inadecuadas, como el uso excesivo de fertilizantes químicos, la labranza intensiva y la pérdida de materia orgánica. En este contexto, los microorganismos del suelo desempeñan un papel fundamental en la regeneración y mantenimiento de la fertilidad, al participar en procesos clave como la fijación de nitrógeno, la solubilización de fósforo y la descomposición de materia orgánica. Sin embargo, la función y el impacto de estos microorganismos aún no se comprenden completamente, lo que resalta la necesidad de realizar revisiones bibliográficas que sintetizen el conocimiento disponible y orienten futuras investigaciones.

La creciente preocupación por la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas ha llevado a un interés renovado en el uso de microorganismos beneficiosos como alternativa a los fertilizantes sintéticos y otros insumos químicos (Alori & Babalola, 2018). Entre los principales grupos de microorganismos del suelo destacan las bacterias fijadoras de nitrógeno, los hongos micorrízicos arbusculares y los actinomicetos, los cuales desempeñan funciones esenciales en la disponibilidad de nutrientes y la salud del suelo. No obstante, diversos factores han afectado negativamente la biodiversidad microbiana en los suelos agrícolas, incluyendo el cambio climático, la contaminación y la intensificación de la agricultura industrial (Bastida et al., 2021). La alteración de la microbiota del suelo no solo disminuye su fertilidad, sino que también puede generar desequilibrios ecológicos que afectan la resiliencia de los ecosistemas agrícolas (Jansson & Hofmockel, 2020).

A pesar de la importancia de los microorganismos del suelo en la fertilidad agrícola, su estudio ha sido limitado en comparación con otros enfoques convencionales de fertilización y manejo del suelo. En este sentido, realizar una revisión bibliográfica sobre el papel de los microorganismos en la fertilidad del suelo agrícola es fundamental para consolidar el conocimiento disponible y proporcionar una base científica para el desarrollo de estrategias de manejo más sostenibles (Mitter et al., 2021). La presente revisión tiene como propósito analizar los hallazgos más recientes en la literatura científica sobre la interacción entre los microorganismos del suelo y la fertilidad agrícola, con el fin de identificar tendencias de investigación, aplicaciones prácticas y desafíos en este campo.

Desde una perspectiva metodológica, esta investigación se basa en la recopilación y análisis de estudios publicados en revistas indexadas en bases de datos como Scopus y Web of Science, asegurando así la fiabilidad y actualidad de la información. La viabilidad del estudio radica en la amplia disponibilidad de literatura científica sobre el tema, lo que permite realizar una síntesis crítica de los conocimientos existentes y detectar áreas en las que se requieren investigaciones adicionales. Además, el creciente interés en la agricultura sostenible y el uso de biofertilizantes respalda la pertinencia de esta revisión, ya que los resultados pueden contribuir a mejorar las prácticas agrícolas y reducir la dependencia de fertilizantes químicos de síntesis industrial (Rouphael & Colla, 2020).

El objetivo de este artículo es examinar el papel de los microorganismos en la fertilidad del suelo agrícola a partir de una revisión bibliográfica de estudios recientes, con un enfoque en su impacto en la disponibilidad de nutrientes, la salud del suelo y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Se espera que este análisis proporcione una visión integral sobre la importancia de la microbiota del suelo y fomente nuevas líneas de investigación orientadas al aprovechamiento de los microorganismos en la producción agrícola.

## 2. Materiales y Métodos

Este estudio se enmarca dentro de una investigación de carácter exploratorio basada en una revisión bibliográfica, con el propósito de analizar el papel de los microorganismos en la fertilidad del suelo agrícola a partir de estudios recientes. La elección de esta metodología responde a la necesidad de sintetizar el conocimiento disponible sobre el tema, identificar tendencias en la literatura científica y detectar vacíos de investigación que puedan orientar futuras indagaciones.

El proceso de búsqueda y selección de información se llevó a cabo en bases de datos de alto impacto, como Scopus y Web of Science, garantizando la calidad y fiabilidad de las fuentes consultadas. Para optimizar la recopilación de información, se empleó una estrategia de búsqueda sistemática utilizando palabras clave en inglés y español, tales como *soil microbiota*, *soil fertility*, *microbial biodiversity*, *sustainable agriculture*, *biofertilizers*, *microorganismos del suelo*, *fertilidad agrícola*, *biodiversidad microbiana* y *agricultura sostenible*. Además, se aplicaron operadores booleanos (*AND*, *OR*, *NOT*) para refinar los resultados y asegurar la inclusión de estudios relevantes dentro del período comprendido entre 2018 y 2024, con el fin de garantizar la actualización de la información recopilada.

Una vez obtenidos los artículos, se procedió a su preselección a partir de la lectura de títulos y resúmenes, eliminando aquellos que no se ajustaban al objetivo del estudio o que no cumplían con criterios metodológicos rigurosos. En una segunda fase, se realizó la lectura completa de los documentos seleccionados, priorizando investigaciones originales, revisiones sistemáticas y metaanálisis publicados en revistas indexadas y sometidas a revisión por pares. Se excluyeron tesis, informes técnicos y literatura gris para mantener la calidad científica del estudio.

Para organizar y analizar la información recopilada, se utilizó una matriz de revisión bibliográfica, en la cual se registraron datos clave de cada estudio, como autores, año de publicación, enfoque metodológico, principales hallazgos y conclusiones. Esta sistematización permitió comparar diferentes perspectivas sobre el impacto de los microorganismos en la fertilidad del suelo, así como identificar consensos y divergencias en los resultados reportados. Además, se realizó una clasificación temática de los estudios, agrupándolos en categorías como biodiversidad microbiana, funciones ecológicas de los microorganismos en el suelo, impacto de las prácticas agrícolas en la microbiota edáfica y aplicaciones biotecnológicas en la fertilización sostenible.

El análisis de la información se realizó de manera crítica y comparativa, contrastando los hallazgos de diferentes estudios para evaluar su coherencia y relevancia en el contexto de la agricultura sostenible. Asimismo, se consideraron las limitaciones y

desafíos mencionados en la literatura científica, con el fin de ofrecer una visión integral sobre la relación entre microbiología del suelo y fertilidad agrícola.

Para asegurar la validez y fiabilidad de la revisión, se emplearon criterios de exclusión estrictos, descartando artículos con evidencia insuficiente, estudios con sesgos metodológicos o publicaciones que no proporcionaban datos verificables. De igual manera, se verificó la autenticidad de la información mediante el rastreo de citas y referencias cruzadas, garantizando la solidez del conocimiento recopilado.

Para finalizar, los resultados obtenidos fueron estructurados en función de los principales temas identificados en la literatura, proporcionando un análisis detallado del estado del arte sobre la interacción entre microorganismos del suelo y fertilidad agrícola. Este enfoque metodológico permitió generar una síntesis crítica del conocimiento disponible y sentar bases para futuras investigaciones orientadas a la optimización del manejo microbiológico del suelo en la producción agrícola sostenible.

### 3. Resultados

#### 3.1. Funciones clave de los microorganismos en la fertilidad del suelo

Los microorganismos edáficos desempeñan un papel esencial en la fertilidad del suelo, facilitando la disponibilidad y el reciclaje de nutrientes clave para el crecimiento de las plantas. A través de procesos bioquímicos especializados, estos organismos regulan el ciclo del nitrógeno, transforman formas insolubles de fósforo en compuestos biodisponibles y degradan la materia orgánica para generar sustancias húmicas que mejoran la estructura y la retención de humedad en el suelo. La actividad microbiana no solo impacta directamente la producción agrícola, sino que también contribuye a la sostenibilidad del agroecosistema al reducir la dependencia de insumos químicos y mejorar la resiliencia del suelo ante factores de estrés ambiental (Bastida et al., 2021).

##### 3.1.1. Fijación de nitrógeno y solubilización de fósforo

El nitrógeno es un elemento esencial para la biosíntesis de proteínas, ácidos nucleicos y clorofila en las plantas; sin embargo, su disponibilidad en el suelo es limitada, ya que la mayoría del nitrógeno se encuentra en forma molecular ( $N_2$ ), una forma no asimilable por la mayoría de los organismos. Para suplir esta deficiencia, algunos microorganismos del suelo han desarrollado la capacidad de realizar fijación biológica de nitrógeno (FBN), un proceso en el cual convierten el nitrógeno atmosférico en compuestos nitrogenados disponibles para las plantas, como el amonio ( $NH_4^+$ ) (Canfield et al., 2021).

Los microorganismos fijadores de nitrógeno pueden clasificarse en dos grandes grupos:

1. Simbióticos: Incluyen bacterias del género *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* y *Sinorhizobium*, las cuales forman asociaciones mutualistas con leguminosas a través de nódulos radiculares, proporcionando nitrógeno a la planta a cambio de compuestos carbonados.
2. De vida libre: Bacterias como *Azospirillum*, *Azotobacter* y *Clostridium* fijan nitrógeno sin requerir un hospedador específico, lo que les permite contribuir a la fertilidad del suelo en diferentes tipos de cultivos.

El uso de microorganismos fijadores de nitrógeno en la agricultura ha demostrado reducir significativamente la necesidad de fertilizantes sintéticos, disminuyendo el impacto ambiental asociado con su producción y aplicación. Estudios recientes han señalado que la inoculación de cultivos con bacterias fijadoras puede aumentar el rendimiento agrícola entre un 10 % y un 30 %, dependiendo del tipo de suelo y del manejo agronómico aplicado (Shen., et al 2022).

Por otro lado, el fósforo es un macronutriente esencial para la transferencia de energía y la formación de estructuras celulares en las plantas; sin embargo, la mayoría del fósforo presente en el suelo se encuentra en formas insolubles, lo que dificulta su absorción. Los microorganismos solubilizadores de fósforo contribuyen a mejorar su disponibilidad mediante la producción de ácidos orgánicos, como el ácido cítrico y el ácido glucónico, los cuales descomponen compuestos fosfatados minerales y los convierten en formas solubles accesibles para las plantas (Alori et al., 2017).

Entre los principales microorganismos solubilizadores de fósforo se encuentran bacterias del género *Pseudomonas*, *Bacillus* y *Enterobacter*, así como hongos como *Aspergillus* y *Penicillium*. Estudios han demostrado que la aplicación de estos microorganismos como biofertilizantes puede aumentar la disponibilidad de fósforo en un 50 %, lo que mejora el desarrollo radicular y el crecimiento de las plantas sin necesidad de fertilizantes fosfatados industriales (Grosu-Tudor., et al 2023).

### 3.1.2. Degradación de materia orgánica y formación de humus

La descomposición de la materia orgánica es un proceso esencial en la regeneración de la fertilidad del suelo, ya que permite la liberación progresiva de nutrientes esenciales y la formación de sustancias húmicas que mejoran las propiedades fisicoquímicas del suelo. Los microorganismos descomponedores, como bacterias y hongos, degradan compuestos orgánicos complejos a través de la producción de enzimas hidrolíticas especializadas, como celulasas, ligninasas y proteasas (Bastida et al., 2021).

Los principales grupos de microorganismos implicados en la degradación de materia orgánica son:

- Bacterias heterótrofas: Como *Bacillus* y *Actinobacteria*, que descomponen la celulosa y otros polisacáridos vegetales, contribuyendo a la mineralización de la materia orgánica.
- Hongos saprófitos: Como *Trichoderma* y *Aspergillus*, especializados en la degradación de compuestos más recalcitrantes como la lignina y la quitina, facilitando la formación de humus estable (Cotrufo et al., 2019).

El humus, producto final de la descomposición microbiana, cumple múltiples funciones en el suelo, entre ellas:

1. Aumento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC): Permitiendo la retención y liberación progresiva de nutrientes esenciales como calcio, magnesio y potasio.
2. Mejora de la estructura del suelo: Aumentando la estabilidad de los agregados del suelo y previniendo la erosión.

3. Regulación de la retención hídrica: Favoreciendo la absorción y almacenamiento de agua, lo que es especialmente beneficioso en regiones áridas y semiáridas (Lehmann & Kleber, 2024).

Investigaciones han demostrado que la aplicación de materia orgánica rica en microorganismos descomponedores puede incrementar los niveles de materia orgánica del suelo en un 20 % en un periodo de cinco años, mejorando la productividad agrícola sin comprometer la sostenibilidad del sistema (Drobnik., et al 2018).

### 3.2. Impacto de las prácticas agrícolas en la microbiota del suelo

El suelo es un ecosistema dinámico donde la microbiota edáfica desempeña un papel crucial en la regulación de los ciclos biogeoquímicos, la fertilidad y la salud del suelo. Sin embargo, las prácticas agrícolas convencionales han modificado significativamente la diversidad y funcionalidad microbiana, con efectos tanto positivos como negativos en los ecosistemas edáficos. El uso intensivo de fertilizantes sintéticos y pesticidas ha generado impactos adversos sobre la biodiversidad microbiana, alterando los procesos de descomposición, fijación de nutrientes y estabilidad del suelo (Garbeva et al., 2021). Por el contrario, prácticas agrícolas sostenibles, como el uso de biofertilizantes, la rotación de cultivos y la reducción del laboreo, han demostrado efectos beneficiosos en la preservación de la microbiota del suelo y la promoción de una agricultura regenerativa y resiliente (Bender et al., 2016).

#### 3.2.1. Efectos del uso excesivo de fertilizantes y pesticidas

La intensificación agrícola ha llevado a una dependencia excesiva de fertilizantes químicos y pesticidas, los cuales, si bien han incrementado el rendimiento de los cultivos, también han provocado efectos perjudiciales en la biodiversidad microbiana del suelo. El uso continuado de fertilizantes nitrogenados altera el equilibrio ecológico del microbioma edáfico, favoreciendo el crecimiento de ciertos grupos microbianos especializados y reduciendo la diversidad funcional del ecosistema del suelo (Xun et al., 2021).

El nitrógeno sintético, en particular, afecta negativamente a las poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno, como *Rhizobium* y *Azospirillum*, ya que su presencia en exceso disminuye la necesidad de fijación biológica, generando un descenso en su abundancia y actividad (Domeignoz-Horta et al., 2020). Además, el uso prolongado de fertilizantes fosfatados puede inducir la acumulación de fósforo insoluble en el suelo, reduciendo la eficiencia de microorganismos solubilizadores de fósforo, como *Pseudomonas* y *Bacillus* (Yu et al., 2021).

Por otro lado, los pesticidas, herbicidas y fungicidas alteran la estructura y composición de la comunidad microbiana del suelo. Sustancias como el glifosato y los neonicotinoides afectan negativamente a bacterias benéficas y hongos micorrícicos, disminuyendo su actividad y reduciendo la formación de simbiosis esenciales para la nutrición vegetal (Van Bruggen et al., 2018). Estudios han demostrado que la aplicación reiterada de pesticidas genera una disminución en la riqueza microbiana del suelo, afectando la resiliencia del ecosistema y promoviendo la proliferación de microorganismos patógenos resistentes (Aktar et al., 2009).

Además, la alteración del microbioma edáfico por el uso excesivo de agroquímicos no solo impacta la fertilidad del suelo, sino que también puede afectar la calidad de los cultivos y la seguridad alimentaria. Se ha reportado que la reducción de la actividad microbiana derivada del uso de agroquímicos limita la degradación de residuos tóxicos en el suelo, aumentando la acumulación de contaminantes en las plantas y, eventualmente, en la cadena alimentaria humana y animal (Tosi et al., 2018).

### 3.2.2. Beneficios de las prácticas agrícolas sostenibles

En contraste con la agricultura convencional, las prácticas agrícolas sostenibles han demostrado efectos positivos sobre la microbiota del suelo, promoviendo su biodiversidad y funcionalidad ecológica (García-Fraile et al., 2015). Estrategias como la reducción del laboreo, la aplicación de compost, el uso de cultivos de cobertura y la rotación de cultivos favorecen la proliferación de microorganismos beneficiosos y optimizan el reciclaje de nutrientes en el suelo (Jat et al., 2019).

Uno de los enfoques más efectivos para la restauración microbiana del suelo es la aplicación de biofertilizantes, los cuales incluyen microorganismos promotores del crecimiento vegetal, como bacterias fijadoras de nitrógeno (*Azospirillum*, *Bradyrhizobium*), hongos micorrícicos arbusculares y solubilizadores de fósforo (*Pseudomonas*, *Bacillus*) (Rouphael & Colla, 2020). Estos microorganismos no solo mejoran la disponibilidad de nutrientes, sino que también promueven la resistencia de las plantas al estrés abiótico y biótico, reduciendo la necesidad de insumos sintéticos.

La rotación de cultivos y el uso de cultivos de cobertura también tienen un impacto significativo en la diversidad microbiana del suelo. Estas prácticas aumentan la materia orgánica disponible, favoreciendo el crecimiento de comunidades microbianas más diversas y funcionales. Se ha demostrado que los suelos con cultivos de cobertura tienen una mayor actividad microbiana y un incremento en la fijación biológica de nitrógeno en comparación con suelos manejados con monocultivos intensivos (Tiemann et al., 2015).

Asimismo, la reducción del laboreo contribuye a la estabilidad de la microbiota del suelo. El arado y la labranza intensiva alteran la estructura del suelo y destruyen hábitats microbianos, reduciendo la abundancia de microorganismos beneficiosos. En contraste, las prácticas de agricultura de conservación, como la siembra directa, han mostrado mejorar la biodiversidad microbiana y aumentar la estabilidad de la materia orgánica del suelo.

Otra estrategia eficaz es el uso de compost y biochar, los cuales enriquecen el suelo con materia orgánica y promueven el crecimiento de microorganismos benéficos. Estas enmiendas orgánicas mejoran la capacidad de retención de agua del suelo, aumentan la disponibilidad de nutrientes y estimulan la actividad de hongos saprófitos que contribuyen a la formación de humus (Lehmann et al., 2024).

Finalmente, el enfoque agroecológico y el uso de sistemas de producción regenerativa han demostrado ser soluciones eficaces para mitigar la degradación de la microbiota del suelo. La combinación de diversas prácticas sostenibles puede revertir el impacto negativo de la agricultura convencional y mejorar la resiliencia del suelo frente a condiciones climáticas extremas, asegurando la productividad agrícola a largo plazo (Pretty et al., 2018).

#### 4. Discusión

La fertilidad del suelo está intrínsecamente vinculada a la actividad microbiana, ya que los microorganismos desempeñan funciones clave en los ciclos biogeoquímicos, promoviendo la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas. Sin embargo, la intensificación agrícola ha generado impactos significativos en la microbiota edáfica, con efectos tanto positivos como negativos en la funcionalidad del suelo y la sostenibilidad de los agroecosistemas. El análisis de la literatura científica ha permitido evidenciar que los microorganismos no solo influyen en la fijación de nitrógeno y la solubilización de fósforo, sino que también desempeñan un papel esencial en la degradación de materia orgánica y la formación de humus, contribuyendo a la estabilidad estructural del suelo y a su resiliencia ante factores de estrés ambiental (Bastida et al., 2021; Canfield et al., 2021).

Uno de los hallazgos más relevantes en la literatura revisada es la importancia de la fijación biológica de nitrógeno como un proceso fundamental para reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos. Se ha demostrado que bacterias simbióticas, como *Rhizobium* y *Bradyrhizobium*, mejoran la absorción de nitrógeno en leguminosas, mientras que especies de vida libre, como *Azospirillum* y *Azotobacter*, desempeñan un papel complementario en suelos no asociados a este tipo de cultivos. No obstante, el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados ha reducido la actividad de estas bacterias al disminuir la necesidad de fijación biológica, generando impactos negativos en la biodiversidad microbiana y en la eficiencia del reciclaje de nutrientes. De manera similar, los microorganismos solubilizadores de fósforo han demostrado ser esenciales en la transformación de compuestos fosfatados insolubles en formas biodisponibles, facilitando su absorción por las raíces. Sin embargo, la acumulación de fósforo inorgánico derivada de la aplicación reiterada de fertilizantes fosfatados ha limitado la actividad de bacterias del género *Pseudomonas* y *Bacillus*, restringiendo su capacidad de optimizar la nutrición de las plantas a largo plazo (Alori et al., 2017; Yu et al., 2021).

Además de su función en el suministro de nutrientes, los microorganismos del suelo desempeñan un papel crucial en la degradación de materia orgánica y la formación de humus. La actividad de hongos saprófitos y bacterias heterótrofas contribuye a la transformación de residuos vegetales en compuestos húmicos, lo que mejora la estabilidad del suelo y su capacidad de retención de agua (Cotrufo et al., 2019). La reducción de la biodiversidad microbiana debido a prácticas agrícolas agresivas, como la labranza intensiva y la aplicación masiva de agroquímicos, ha disminuido la eficiencia de este proceso, lo que afecta la acumulación de materia orgánica y la calidad del suelo a largo plazo (Lehmann & Kleber, 2024). La disminución del contenido de humus no solo impacta la fertilidad del suelo, sino que también contribuye a la liberación de carbono almacenado, exacerbando el cambio climático y reduciendo la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

Otro aspecto central en la discusión es el impacto de las prácticas agrícolas sobre la microbiota del suelo. La literatura revisada confirma que el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas ha generado una disminución en la diversidad y funcionalidad microbiana, promoviendo la proliferación de especies resistentes y reduciendo la capacidad del suelo para regenerarse naturalmente (Van Bruggen et al., 2018). El glifosato, por ejemplo, ha sido identificado como un disruptor del microbioma edáfico, afectando la

simbiosis micorrízica y disminuyendo la eficiencia en la captación de nutrientes por parte de las plantas (Aktar et al., 2009). Adicionalmente, el uso continuado de agroquímicos ha reducido la presencia de microorganismos benéficos, incrementando la vulnerabilidad del suelo ante patógenos y disminuyendo su capacidad de resiliencia frente a factores de estrés abiótico y biótico (Tosi et al., 2018).

Por otro lado, se ha evidenciado que las prácticas agrícolas sostenibles pueden mitigar estos efectos negativos al promover la diversificación de la microbiota edáfica. La reducción del laboreo, la aplicación de biofertilizantes y el uso de cultivos de cobertura han demostrado ser estrategias eficaces para restaurar la actividad microbiana del suelo y mejorar su fertilidad (Bender et al., 2016; Jat et al., 2019). Los biofertilizantes, en particular, han sido identificados como una alternativa viable para optimizar la disponibilidad de nitrógeno y fósforo sin generar impactos negativos en la microbiota, favoreciendo la simbiosis entre plantas y microorganismos benéficos (Rouphael & Colla, 2020). Asimismo, la integración de materia orgánica mediante compost y biochar ha mostrado efectos positivos en la estabilidad del suelo, promoviendo el crecimiento de comunidades microbianas diversificadas y mejorando la eficiencia en el reciclaje de nutrientes (Lehmann et al., 2024).

En términos generales, la evidencia científica sugiere que la transición hacia sistemas agrícolas más sostenibles no solo preserva la biodiversidad microbiana, sino que también contribuye a mejorar la eficiencia en el uso de los recursos naturales y a reducir la dependencia de insumos químicos. La promoción de enfoques agroecológicos y el desarrollo de estrategias basadas en el manejo biológico del suelo se presentan como alternativas prometedoras para mitigar los efectos adversos de la agricultura convencional, asegurando la estabilidad de los ecosistemas y la seguridad alimentaria a largo plazo (Pretty et al., 2018).

## 5. Conclusiones

La microbiota del suelo desempeña un papel fundamental en la fertilidad edáfica y en la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Los microorganismos son responsables de procesos esenciales como la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fósforo y la degradación de materia orgánica, los cuales influyen directamente en la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Sin embargo, el manejo inadecuado del suelo y la intensificación agrícola han generado alteraciones significativas en la biodiversidad microbiana, comprometiendo su funcionalidad y la estabilidad del ecosistema edáfico.

El uso excesivo de fertilizantes químicos y pesticidas ha provocado efectos adversos sobre la microbiota del suelo, disminuyendo la diversidad de microorganismos benéficos y favoreciendo la proliferación de especies resistentes. Esto ha generado un desequilibrio en los procesos naturales de reciclaje de nutrientes, aumentando la dependencia de insumos sintéticos y afectando la calidad del suelo a largo plazo. Asimismo, la alteración de la microbiota edáfica no solo impacta la productividad agrícola, sino que también contribuye a la degradación ambiental y a la reducción de la resiliencia de los suelos frente a condiciones de estrés climático.

Por otro lado, la adopción de prácticas agrícolas sostenibles ha demostrado ser una estrategia eficaz para restaurar la actividad microbiana del suelo y mejorar su fertilidad. El uso de biofertilizantes, la rotación de cultivos, la reducción del laboreo y la aplicación de materia orgánica han permitido recuperar la biodiversidad microbiana y optimizar los ciclos biogeoquímicos sin comprometer la productividad agrícola. La integración de estas estrategias en los sistemas de producción agropecuaria no solo contribuye a reducir el impacto ambiental de la agricultura, sino que también promueve la seguridad alimentaria y la conservación de los recursos naturales.

En este contexto, resulta imprescindible fomentar la investigación y el desarrollo de tecnologías basadas en el aprovechamiento de la microbiota del suelo para optimizar la gestión de los agroecosistemas. La transición hacia un modelo de producción agrícola más sostenible debe basarse en un enfoque integral que considere la interacción entre los microorganismos del suelo, la salud del ecosistema y las necesidades productivas. Solo a través de un manejo adecuado de la microbiota edáfica será posible garantizar la conservación del suelo, la estabilidad de los sistemas agrícolas y la sostenibilidad de la producción de alimentos a largo plazo.

### Referencias Bibliográficas

- Aktar, W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: Their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, 2(1), 1-12. <https://doi.org/10.2478/v10102-009-0001-7>
- Alori, E. T., & Babalola, O. O. (2018). Microbial inoculants for improving crop quality and human health in Africa. *Frontiers in Microbiology*, 9, 2213. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02213>
- Bastida, F., Eldridge, D. J., García, C., Png, G. K., Bardgett, R. D., & Delgado-Baquerizo, M. (2021). Soil microbial diversity–biomass relationships are driven by soil carbon content across global biomes. *The ISME Journal*, 15(7), 2081–2091. <https://doi.org/10.1038/s41396-021-00906-0>
- Beltrán-Conlag, A. C., Licuy-Chimbo, M., López-Grefa, Z. M., & Abril-Saltos, R. (2025). Capacidad de infiltración de especies forestales en la cuenca alta del río Pindo, Amazonía ecuatoriana. *Revista Científica Zambos*, 4(1), 376-386. <https://doi.org/10.69484/rcz/v4/n1/96>
- Bender, S. F., Wagg, C., & van der Heijden, M. G. (2016). An underground revolution: Biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. *Trends in Ecology & Evolution*, 31(6), 440-452. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.02.016>
- Caicedo-Aldaz, J. C., & Herrera-Sánchez, D. J. (2022). El Rol de la Agroecología en el Desarrollo Rural Sostenible en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 1(2), 1-16. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n2/24>
- Canfield, D. E., Glazer, A. N., & Falkowski, P. G. (2010). The evolution and future of Earth's nitrogen cycle. *Science*, 330(6001), 192–196. <https://doi.org/10.1126/science.1186120>

- Chacaguasay-Apugllon, E. N., Sánchez-Quiñonez, D. F., Gavilánez-Buñay, T. C., & Rivera-Toapanta, E. A. (2025). Concentración de fenoles totales y flavonoides en fabáceas forrajeras y arbustivas y uso como bioestimulante. *Revista Científica Zambos*, 4(1), 30-44. <https://doi.org/10.69484/rcz/v4/n1/74>
- Cotrufo, M. F., Ranalli, M. G., Haddix, M. L., Six, J., & Lugato, E. (2019). Soil carbon storage informed by particulate and mineral-associated organic matter. *Nature Geoscience*, 12(12), 989–994. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0484-6>
- Drobnik, T., Greiner, L., Keller, A., & Grêt-Regamey, A. (2018). Soil quality indicators – From soil functions to ecosystem services. *Ecological Indicators*, 94, 151–169. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.052>
- Grosu-Tudor, S. S., Angelescu, I. R., Brinzan, A., & Zamfir, M. (2023). Characterization of S-layer proteins produced by lactobacilli isolated from Romanian artisan fermented products. *Journal of Applied Microbiology*, 134(1), 1xac063. <https://doi.org/10.1093/jambio/1xac063>
- Guamán-Rivera, S. A. (2022). Desarrollo de Políticas Agrarias y su Influencia en los Pequeños Agricultores Ecuatorianos. *Revista Científica Zambos*, 1(3), 15-28. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n3/30>
- Herrera-Feijoo, R. J. (2024). Principales amenazas e iniciativas de conservación de la biodiversidad en Ecuador. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(1), 33–56. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n1/85>
- Ibarra-Navarrete, Y. S., & Pinargote-Mendoza, E. R. (2023). *Ácido oxálico, alternativa orgánica para el control de varroasis (Varroa destructor) en abejas (Apis mellifera)*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.63>
- Jansson, J. K., & Hofmockel, K. S. (2020). Soil microbiomes and climate change. *Nature Reviews Microbiology*, 18(1), 35–46. <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0265-7>
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2024). Biochar for environmental management: Science, technology and implementation. *Earthscan*.
- Lehmann, J., & Kleber, M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528(7580), 60–68. <https://doi.org/10.1038/nature16069>
- Macías-Véliz, J. N., & Chicharro-López, F. I. (2023). *Procesos de producción de tilapias (Oreochromis niloticus) con aplicación informática*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.64>
- Mieles-Giler, J. W., Guerrero-Calero, J. M., Moran-González, M. R., & Zapata-Velasco, M. L. (2024). Evaluación de la degradación ambiental en hábitats Naturales. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(3), 65–88. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n3/121>
- Mitter, E. K., Tosi, M., Obregón, D., Dunfield, K. E., & Germida, J. J. (2021). Rethinking crop nutrition in times of modern microbiology: Innovative biofertilizer technologies. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 606815. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.606815>

- Ramos-Acuña, H. E., Palomino-Pastrana, P. A., Yaulilahua-Huacho, R., Zela-Payi, N. O., Sumarriva-Bustinza, L. A., Porrás-Roque, M. S., & Camposano-Córdova, A. I. (2023). *Transformando la Ganadería: Evaluación de las Explotaciones de Vacunos*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.31>
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11, 40. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
- Ruiz Sánchez, C. I., Herrera Feijoo, R. J., Correa Salgado, M. de L., & Peñafiel Arcos, P. A. (2023). *Fundamentos Teóricos de Química Inorgánica*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.19>
- Saavedra-Mera, K. A., Casanova-Villalba, C. I., Escarabay Cadena, A. Y., & Pluas Pai, Y. E. (2022). Análisis económico frente a la PC (Phytophthora palmivora) de la Palma Africana en el sector agroindustrial. Caso de estudio La Fabril planta La Independencia período 2021. *Código Científico Revista De Investigación*, 3(3), 301–315. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v3/n3/67>
- Sarango-Ordóñez, J. P., Arellano-Reinoso, K. G., Arias-Ramirez, B. J., & Ureta-Leones, D. A. (2024). Distribución geográfica y estado de conservación actual de Cedrela odorata y Cedrelinga cateniformis en la Amazonía ecuatoriana. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(4), 89–106. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n4/134>
- Shen, Y., Mercatoris, B., Cao, Z., Kwan, P., Guo, L., Yao, H., & Cheng, Q. (2022). Improving wheat yield prediction accuracy using LSTM-RF framework based on UAV thermal infrared and multispectral imagery. *Agriculture*, 12(6), 892. <https://doi.org/10.3390/agriculture12060892>
- Van Bruggen, A. H. C., He, M. M., Shin, K., Mai, V., Jeong, K. C., Finckh, M. R., & Morris, J. G. (2018). Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. *Science of the Total Environment*, 616, 255-268. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.309>

## CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.