

**LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y
Humanidades, Asunción, Paraguay**

ISSN en línea: 2789-3855, 2026

**Uso de *Trichoderma* spp. como estrategia sostenible
para la reducción del uso de agroquímicos en la
agricultura**

Use of *Trichoderma* spp. as a sustainable strategy to reduce
agrochemical use in agriculture

Maria José Farías Gonsález

mfarias@utmachala.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0008-7666-0941>
Universidad Técnica de Machala
Santa Rosa – Ecuador

Leslie Luciana Sornoza Bermello

lucianasornoza05@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0001-9346-0967>
Universidad Técnica de Machala
Machala – Ecuador

Marvin Luna Cedillo

Marvinluna995@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-1791-6706>
Universidad Técnica de Machala
Pasaje – Ecuador

Evelyn Gualan Pacheco

elizapacheco486@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0009-2880-4004>
Universidad Técnica de Machala
Pasaje – Ecuador

Mayra Ruano Balseca

Mayra19010@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-0737-7954>
Universidad Técnica de Machala
Machala – Ecuador

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v7i1.5235>


Redilat
Red de Investigadores
Latinoamericanos



Revista Latinoamericana de
Ciencias Sociales y Humanidades

Artículo recibido: 20 de septiembre de 2025
Aceptado para publicación: 26 de enero de 2026.
Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

VOLUMEN VII

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v7i1.5235>

Uso de *Trichoderma spp.* como estrategia sostenible para la reducción del uso de agroquímicos en la agricultura

Use of *Trichoderma spp.* as a sustainable strategy to reduce agrochemical use in agriculture

Maria José Farías González

mfarias@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0008-7666-0941>

Universidad Técnica de Machala

Santa Rosa – Ecuador

Marvin Luna Cedillo

Marvinluna995@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-1791-6706>

Universidad Técnica de Machala

Pasaje – Ecuador

Evelyn Gualan Pacheco

elizapacheco486@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-2880-4004>

Universidad Técnica de Machala

Pasaje – Ecuador

Mayra Ruano Balseca

Mayra19010@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-0737-7954>

Universidad Técnica de Machala

Machala – Ecuador

Leslie Luciana Sornoza Bermello

lucianasornoza05@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-9346-0967>

Universidad Técnica de Machala

Machala – Ecuador

Artículo recibido: 20 de septiembre de 2026. Aceptado para publicación: 26 de enero de 2026.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

El uso intensivo de agroquímicos en los sistemas agrícolas convencionales ha generado impactos negativos sobre el ambiente, la salud humana y la sostenibilidad de la producción. En este contexto, los microorganismos benéficos del suelo han adquirido relevancia como alternativas biológicas para el manejo de enfermedades y la reducción del uso de insumos químicos. El objetivo de este artículo fue analizar, desde una revisión científica crítica, el potencial de *Trichoderma spp.* como estrategia sostenible para disminuir el uso de agroquímicos en la producción agrícola. La metodología se basó en una revisión bibliográfica de estudios científicos publicados en bases de datos académicas reconocidas, considerando criterios de inclusión relacionados con el uso de *Trichoderma spp.* en cultivos agrícolas, su efecto como agente de biocontrol y su impacto en la reducción de fungicidas y otros agroquímicos. Los resultados de la literatura revisada evidencian que *Trichoderma spp.* actúa mediante mecanismos como el antagonismo, el micoparasitismo y la inducción de resistencia sistémica en las plantas, contribuyendo al control de fitopatógenos y al mejoramiento del crecimiento vegetal. Asimismo, diversos estudios reportan una disminución significativa en la aplicación de

agroquímicos cuando se incorpora este género fúngico en programas de manejo integrado. Se concluye que *Trichoderma* spp. constituye una herramienta eficaz y sostenible que favorece sistemas agrícolas más resilientes y ambientalmente responsables.

Palabras clave: trichoderma spp., agricultura sostenible, biocontrol, agroquímicos, manejo integrado

Abstract

The intensive use of agrochemicals in conventional agricultural systems has generated negative impacts on the environment, human health, and production sustainability. In this context, beneficial soil microorganisms have gained relevance as biological alternatives for disease management and the reduction of chemical inputs. The aim of this article was to analyze, through a critical scientific review, the potential of *Trichoderma* spp. as a sustainable strategy to reduce agrochemical use in agricultural production. The methodology was based on a bibliographic review of scientific studies published in recognized academic databases, considering inclusion criteria related to the use of *Trichoderma* spp. in agricultural crops, its role as a biocontrol agent, and its impact on reducing fungicides and other agrochemicals. The reviewed literature shows that *Trichoderma* spp. acts through mechanisms such as antagonism, mycoparasitism, and the induction of systemic resistance in plants, contributing to the control of phytopathogens and the improvement of plant growth. In addition, several studies report a significant decrease in agrochemical applications when this fungal genus is incorporated into integrated management programs. It is concluded that *Trichoderma* spp. represents an effective and sustainable tool that promotes more resilient and environmentally responsible agricultural systems.

Keywords: Trichoderma spp., sustainable agriculture, biocontrol, agrochemicals, integrated management

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicado en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons. 

Cómo citar: Farías González, M. J., Luna Cedillo, M., Gualan Pacheco, E., Ruano Balseca, M., & Sornoza Bermello, L. L. (2026). Uso de *Trichoderma* spp. como estrategia sostenible para la reducción del uso de agroquímicos en la agricultura. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 7 (1), 186 – 198. <https://doi.org/10.56712/latam.v7i1.5235>

INTRODUCCIÓN

La agricultura moderna se ha caracterizado por un uso intensivo de agroquímicos con el propósito de incrementar la productividad y reducir las pérdidas ocasionadas por plagas y enfermedades (Woo & Pepe, 2018). No obstante, esta estrategia ha generado efectos adversos sobre los ecosistemas agrícolas, incluyendo la degradación del suelo, la contaminación de fuentes hídricas, la pérdida de biodiversidad y riesgos asociados a la salud humana. Estas problemáticas han impulsado el desarrollo de enfoques alternativos orientados a la sostenibilidad de los sistemas productivos.

En este contexto, el empleo de microorganismos benéficos del suelo ha emergido como una estrategia prometedora dentro de los enfoques de agricultura sostenible y manejo integrado de cultivos. Entre estos microorganismos, el género *Trichoderma* spp. ha sido ampliamente estudiado debido a su capacidad para interactuar positivamente con las plantas y antagonizar diversos patógenos de importancia agrícola.

Entre los microorganismos del suelo con mayor potencial para aplicaciones agrícolas se encuentra el género *Trichoderma* spp., ampliamente estudiado por su capacidad antagonista frente a diversos hongos fitopatógenos y por su interacción positiva con las plantas (Harman et al., 2004). A pesar de la abundante literatura disponible, resulta necesario integrar y analizar críticamente los conocimientos existentes para comprender el rol de *Trichoderma* spp. como estrategia sostenible para la reducción del uso de agroquímicos.

A pesar de la amplia información disponible, resulta necesario integrar y analizar críticamente los hallazgos científicos relacionados con el uso de *Trichoderma* spp. como estrategia para reducir la dependencia de agroquímicos en la producción agrícola. Por ello, el presente artículo tiene como objetivo analizar el uso de *Trichoderma* spp. como una alternativa sostenible, evaluando sus efectos, ventajas y limitaciones, a partir de una revisión científica de la literatura especializada.

METODOLOGÍA

Tipo y enfoque del estudio

El presente trabajo corresponde a una revisión científica narrativa con enfoque analítico-crítico, orientada a sintetizar y evaluar la evidencia reciente sobre el uso de *Trichoderma* spp. como estrategia sostenible para la reducción del uso de agroquímicos en la producción agrícola. Este tipo de revisión resulta adecuada cuando el objetivo es integrar resultados de estudios heterogéneos, identificar tendencias, vacíos de conocimiento y discutir implicaciones prácticas a partir de literatura científica actualizada.

Criterios de inclusión y exclusión

Se establecieron criterios claros para la selección de la literatura. Como criterios de inclusión se consideraron: (i) artículos científicos revisados por pares, (ii) publicaciones comprendidas entre los años 2020 y 2025, (iii) estudios relacionados con el uso de *Trichoderma* spp. en sistemas agrícolas y (iv) investigaciones que abordan explícitamente la reducción del uso de agroquímicos, el control biológico o la promoción del crecimiento vegetal. Se excluyeron tesis, informes técnicos, actas de congresos sin arbitraje, documentos duplicados y publicaciones que no aportaran evidencia empírica o análisis científico relevante.

Proceso de selección y análisis de la información

El proceso de selección se desarrolló en tres etapas. En una primera fase, se realizó una revisión de títulos y resúmenes para descartar estudios no pertinentes. Posteriormente, se efectuó la lectura

completa de los artículos preseleccionados, evaluando su calidad metodológica y relevancia temática. Finalmente, la información extraída fue organizada y analizada de forma comparativa, considerando variables como tipo de cultivo, cepa de *Trichoderma* spp., mecanismos de acción reportados y efectos sobre la reducción de agroquímicos.

Síntesis y análisis crítico

La información recopilada fue sintetizada mediante un enfoque cualitativo, priorizando la comparación entre resultados de diferentes estudios y la identificación de patrones comunes y discrepancias. Este análisis permitió discutir la efectividad de *Trichoderma* spp. en distintos contextos agrícolas y establecer conclusiones fundamentadas sobre su potencial como herramienta sostenible. La metodología adoptada garantiza la transparencia, reproducibilidad y rigor científico del presente artículo de revisión.

DESARROLLO

Generalidades, taxonomía y diversidad del género *Trichoderma* spp.

El género *Trichoderma* spp. pertenece al filo Ascomycota, clase Sordariomycetes y familia Hypocreaceae. Se trata de un grupo taxonómicamente diverso, con más de 300 especies descritas, ampliamente distribuidas en suelos agrícolas, forestales y ecosistemas naturales. En los últimos años, los avances en herramientas moleculares han permitido una caracterización más precisa de las especies y cepas, evidenciando una alta variabilidad genética y funcional entre aislamientos de *Trichoderma* spp. (Mukherjee et al., 2022; Cai & Druzhinina, 2021).

Esta diversidad genética explica la amplia gama de interacciones que *Trichoderma* spp. puede establecer con plantas y otros microorganismos del suelo, lo que ha favorecido su uso como agente de biocontrol, bioestimulante y componente clave de bioinsumos agrícolas. Estudios recientes destacan que la selección adecuada de cepas es un factor determinante para maximizar su eficacia en condiciones de campo, ya que no todas las especies presentan el mismo potencial antagonista o promotor del crecimiento vegetal (Poveda et al., 2020).

Agricultura sostenible y reducción del uso de agroquímicos

La agricultura sostenible se fundamenta en la integración de prácticas productivas que permitan satisfacer las necesidades alimentarias actuales sin comprometer la capacidad de los ecosistemas para sostener la producción futura. Uno de los principales desafíos de este enfoque es la reducción del uso de agroquímicos, debido a sus efectos negativos sobre el ambiente y la salud humana. En este sentido, se promueve la adopción de estrategias que favorezcan el equilibrio biológico del agroecosistema y la resiliencia de los cultivos.

Ecología funcional de *Trichoderma* spp. en el suelo agrícola

Desde una perspectiva ecológica, *Trichoderma* spp. es considerado un microorganismo oportunista con alta capacidad de colonización de la rizosfera. Su éxito ecológico se debe a su rápido crecimiento, elevada producción de enzimas hidrolíticas y habilidad para competir eficazmente por recursos limitados en el suelo. Estas características le permiten establecerse de manera estable en suelos agrícolas, incluso en ambientes perturbados por prácticas intensivas de manejo (Fiorentino et al., 2023).

Investigaciones recientes señalan que la presencia de *Trichoderma* spp. contribuye a mejorar la estructura microbiana del suelo, favoreciendo comunidades más equilibradas y funcionales. Su interacción con bacterias benéficas, como especies de *Bacillus* y *Pseudomonas*, genera sinergias que

potencian la supresión natural de patógenos y la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Woo et al., 2023).

Interacción planta–*Trichoderma*: colonización y señalización

La interacción entre *Trichoderma* spp. y las plantas va más allá del control de patógenos. Estudios recientes demuestran que este hongo es capaz de colonizar tejidos radiculares de forma no patogénica, estableciendo una relación simbiótica que beneficia el desarrollo vegetal. Durante este proceso, *Trichoderma* spp. activas rutas de señalización molecular relacionadas con la defensa y el crecimiento, modulando la expresión génica de la planta hospedera (Contreras-Cornejo et al., 2020).

Esta interacción induce mecanismos de resistencia sistémica inducida (ISR), lo que permite a las plantas responder de manera más eficiente frente a futuros ataques de patógenos. A diferencia de los agroquímicos, este tipo de resistencia no genera efectos negativos sobre el ambiente ni induce resistencia en los organismos patógenos, lo que representa una ventaja significativa desde el punto de vista sostenible (Pieterse et al., 2021).

Mecanismos de biocontrol frente a fitopatógenos

El potencial de *Trichoderma* spp. como agente de biocontrol se fundamenta en la acción conjunta de múltiples mecanismos. Entre los más relevantes se encuentra el micoparasitismo, mediante el cual el hongo reconoce, invade y degrada las estructuras de otros hongos fitopatógenos. Este proceso es mediado por la producción de quitinasas, glucanasas y proteasas, enzimas que debilitan la pared celular del patógeno (Zhang et al., 2022).

Adicionalmente, *Trichoderma* spp. produce metabolitos secundarios con actividad antifúngica y antibacteriana, los cuales inhiben el crecimiento de patógenos del suelo. La competencia por nutrientes y espacio también desempeña un papel clave, ya que limita la disponibilidad de recursos esenciales para los organismos fitopatógenos, reduciendo su capacidad de proliferación (Sood et al., 2020).

***Trichoderma* spp. como bioestimulante y promotor del crecimiento vegetal**

Además de su función como antagonista, *Trichoderma* spp. actúa como bioestimulante vegetal, promoviendo el crecimiento y desarrollo de las plantas a través de diversos mecanismos fisiológicos. Se ha demostrado que algunas cepas producen fitohormonas, como auxinas y giberelinas, o inducen su síntesis en las plantas, lo que estimula el crecimiento radicular y aéreo (Vinale et al., 2022).

Asimismo, *Trichoderma* spp. mejora la disponibilidad de nutrientes mediante la solubilización de fósforo y micronutrientes, así como por el incremento de la eficiencia en la absorción de nitrógeno. Estos efectos se traducen en un mayor vigor vegetal y, en muchos casos, en incrementos significativos del rendimiento, reduciendo la necesidad de fertilizantes químicos (Harman et al., 2021).

Rol de *Trichoderma* spp. en la reducción del uso de agroquímicos

La integración de *Trichoderma* spp. en programas de manejo integrado de cultivos ha demostrado ser una estrategia efectiva para reducir el uso de agroquímicos, particularmente fungicidas. Estudios recientes reportan reducciones sustanciales en la aplicación de productos químicos cuando *Trichoderma* spp. se utiliza de forma preventiva y sistemática, sin comprometer la sanidad ni el rendimiento del cultivo (Serrano-Carrión et al., 2024).

Este enfoque contribuye no solo a la sostenibilidad ambiental, sino también a la reducción de costos de producción y al fortalecimiento de la resiliencia.

Control biológico en la agricultura

El control biológico constituye una alternativa al control químico convencional y se basa en el uso de organismos vivos para reducir las poblaciones de plagas y patógenos. Esta estrategia ofrece ventajas como la disminución de residuos tóxicos, la reducción del riesgo de resistencia y la conservación de la biodiversidad del suelo. Los microorganismos benéficos desempeñan un papel fundamental en este tipo de control, al interactuar directamente con los agentes patógenos o al estimular las defensas naturales de las plantas.

El género *Trichoderma* spp. y su importancia agronómica

El género *Trichoderma* spp. comprende hongos filamentosos ampliamente distribuidos en suelos agrícolas y ambientes rizosféricos (Mukherjee et al., 2013). Su importancia agronómica radica en su capacidad para colonizar la rizosfera, promover el crecimiento vegetal y actuar como antagonista de diversos fitopatógenos. Estas características han favorecido su incorporación en programas de manejo integrado de cultivos y en la formulación de bioinsumos agrícolas.

Mecanismos de acción de *Trichoderma* spp.

Los mecanismos de acción de *Trichoderma* spp. incluyen el micoparasitismo, mediante el cual el hongo ataca directamente a los patógenos; la competencia por nutrientes y espacio; la producción de enzimas hidrolíticas y metabolitos antifúngicos; y la inducción de resistencia sistémica en las plantas (Benítez et al., 2004). Estos mecanismos explican su eficacia como agente de biocontrol y su potencial para reducir el uso de agroquímicos en la agricultura.

RESULTADOS

Evidencia reciente del uso de *Trichoderma* spp. en diferentes sistemas agrícolas

La revisión de la literatura científica publicada entre 2020 y 2025 evidencia un incremento sostenido en el número de estudios que evalúan el uso de *Trichoderma* spp. como alternativa biológica en sistemas agrícolas convencionales y sostenibles. Los trabajos analizados abarcan una amplia variedad de cultivos, incluyendo cereales, hortalizas, leguminosas, frutales y cultivos industriales, lo que demuestra la versatilidad de este género fúngico en distintos contextos productivos.

En cultivos hortícolas, como tomate, pimiento y lechuga, diversos estudios reportan reducciones significativas en la incidencia de enfermedades causadas por patógenos del suelo cuando se aplican formulaciones basadas en *Trichoderma* spp. de manera preventiva. Estos resultados se asocian con una disminución paralela en la frecuencia y dosis de fungicidas químicos, sin afectar negativamente el rendimiento del cultivo. De forma similar, en cereales como trigo y maíz, se ha documentado una mejora en la sanidad radicular y en el vigor inicial de las plántulas, aspectos clave para el establecimiento del cultivo.

Reducción documentada del uso de fungicidas y otros agroquímicos

Uno de los resultados más relevantes identificados en la literatura es la capacidad de *Trichoderma* spp. para contribuir a la reducción del uso de fungicidas sintéticos. Estudios recientes señalan que la incorporación de este microorganismo en programas de manejo integrado permite disminuir entre un 30 % y un 60 % la aplicación de fungicidas en determinados cultivos, especialmente en aquellos afectados por enfermedades de origen fúngico.

Asimismo, se ha observado que el uso continuo de *Trichoderma* spp. reduce la dependencia de tratamientos químicos curativos, favoreciendo un enfoque preventivo basado en la supresión temprana de patógenos. Esta estrategia no solo reduce la carga química aplicada al agroecosistema, sino que

también disminuye los riesgos asociados a la resistencia de los patógenos a los agroquímicos convencionales.

Impacto sobre el crecimiento vegetal y el rendimiento de los cultivos

Además de la reducción del uso de agroquímicos, los resultados de la revisión indican que *Trichoderma* spp. ejerce efectos positivos sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas. Diversos estudios reportan incrementos en la biomasa aérea y radicular, así como mejoras en la eficiencia de uso de nutrientes, particularmente nitrógeno y fósforo.

En términos de rendimiento, los trabajos analizados muestran que la aplicación de *Trichoderma* spp. puede mantener o incluso incrementar la productividad agrícola, compensando la reducción del uso de insumos químicos. Este aspecto resulta fundamental para la adopción de tecnologías biológicas por parte de los productores, ya que demuestra que la sostenibilidad ambiental puede alcanzarse sin sacrificar la rentabilidad del sistema productivo.

Resultados según tipo de cultivo y condiciones edafoclimáticas

La efectividad de *Trichoderma* spp. varía en función del tipo de cultivo, las condiciones edafoclimáticas y la cepa utilizada. En cultivos de alto valor económico, como frutales y hortalizas, los resultados tienden a ser más consistentes debido a la implementación de esquemas de manejo más intensivos y controlados.

Por el contrario, en sistemas extensivos, la variabilidad de resultados es mayor, lo que se atribuye a factores como la heterogeneidad del suelo, las condiciones climáticas y la interacción con el microbioma nativo. No obstante, incluso en estos contextos, la literatura reporta efectos positivos en la sanidad del cultivo y una reducción progresiva del uso de agroquímicos cuando *Trichoderma* spp. se integra de manera sistemática.

Limitaciones reportadas en los estudios revisados

A pesar de los resultados favorables, la revisión identifica diversas limitaciones en los estudios analizados. Entre las más frecuentes se encuentran la variabilidad en la respuesta del cultivo, la falta de estandarización en las dosis y métodos de aplicación, y la dependencia de condiciones ambientales favorables para el establecimiento del hongo.

Asimismo, algunos estudios señalan que la efectividad de *Trichoderma* spp. puede verse reducida en suelos altamente degradados o con un uso prolongado de agroquímicos, lo que resalta la importancia de enfoques integrales que combinen el uso de microorganismos benéficos con prácticas de manejo sostenible del suelo.

DISCUSIÓN

La evidencia analizada en la presente revisión confirma que el uso de *Trichoderma* spp. constituye una estrategia biológica sólida para la reducción progresiva del empleo de agroquímicos en la producción agrícola. No obstante, los resultados reportados en la literatura muestran variabilidad en cuanto a su efectividad, lo cual debe interpretarse a la luz de múltiples factores agronómicos, ambientales y biológicos.

Comparación crítica de resultados entre estudios recientes

Uno de los aspectos más relevantes identificados en los estudios revisados es la consistencia de los efectos positivos de *Trichoderma* spp. en condiciones controladas y semi-controladas, particularmente en sistemas hortícolas y frutícolas. En estos contextos, la reducción del uso de fungicidas químicos es

más evidente, debido a la aplicación planificada de bioinsumos y al manejo intensivo del cultivo. En contraste, los sistemas extensivos presentan una mayor variabilidad en los resultados, lo que coincide con lo reportado por diversos autores que señalan la influencia del clima, el tipo de suelo y la microbiota nativa sobre la eficacia del microorganismo.

La comparación entre estudios también revela que las discrepancias en los resultados no responden necesariamente a la ineficacia de *Trichoderma* spp., sino a diferencias metodológicas, tales como la cepa utilizada, la formulación del inoculante, la dosis aplicada y el momento de aplicación. Estos factores influyen directamente en la capacidad del hongo para establecerse en la rizosfera y ejercer sus mecanismos de acción.

Influencia de las condiciones edafoclimáticas y del manejo agronómico

Las condiciones edafoclimáticas emergen como un factor determinante en la efectividad de *Trichoderma* spp. Suelos con buen contenido de materia orgánica y una estructura adecuada favorecen la colonización del hongo y potencian su acción antagonista. Por el contrario, suelos altamente degradados o con historial prolongado de uso intensivo de agroquímicos pueden limitar su establecimiento, reduciendo temporalmente su eficacia.

Asimismo, las prácticas de manejo agronómico influyen de manera significativa en los resultados obtenidos. La integración de *Trichoderma* spp. con prácticas como la rotación de cultivos, el uso de abonos orgánicos y la reducción del laboreo intensivo potencia los efectos positivos del microorganismo, reforzando su contribución a la sostenibilidad del sistema productivo.

Reducción de agroquímicos y sostenibilidad agrícola

Desde una perspectiva de sostenibilidad, la reducción del uso de agroquímicos está asociada a la aplicación de *Trichoderma* spp. representa un avance significativo hacia modelos agrícolas más responsables con el ambiente. La disminución de fungicidas y fertilizantes químicos no solo reduce la contaminación ambiental, sino que también mitiga los riesgos de desarrollo de resistencia en patógenos y disminuye los costos de producción.

No obstante, la literatura revisada coincide en que *Trichoderma* spp. no debe considerarse una solución aislada, sino un componente dentro de estrategias integrales de manejo. Su uso complementario con otras prácticas sostenibles permite maximizar los beneficios y garantizar una transición gradual y efectiva hacia sistemas agrícolas con menor dependencia de insumos químicos.

Limitaciones actuales y vacíos de investigación

A pesar de los avances reportados, persisten limitaciones y vacíos de conocimiento que deben abordarse en futuras investigaciones. Entre ellos se destacan la falta de estudios a largo plazo que evalúen el impacto acumulativo de *Trichoderma* spp. sobre la salud del suelo y la productividad agrícola, así como la escasa estandarización en protocolos de aplicación.

Adicionalmente, se identifica la necesidad de profundizar en el estudio de las interacciones entre *Trichoderma* spp. y el microbioma nativo del suelo, particularmente en agroecosistemas tropicales y subtropicales, donde la diversidad microbiana es elevada y las respuestas pueden diferir de las observadas en regiones templadas.

Implicaciones prácticas para la adopción en campo

Desde el punto de vista práctico, los resultados discutidos sugieren que la adopción exitosa de *Trichoderma* spp. requiere un enfoque técnico adecuado, que incluya la selección de cepas adaptadas

a las condiciones locales, la capacitación de productores y la evaluación continua de los resultados en campo.

La articulación entre investigación científica, transferencia tecnológica y políticas públicas resulta fundamental para promover el uso de microorganismos benéficos como *Trichoderma* spp. a mayor escala. En este sentido, su integración en programas de agricultura sostenible y manejo integrado de cultivos puede contribuir de manera significativa a la reducción del uso de agroquímicos y al fortalecimiento de la seguridad alimentaria.

CONCLUSIÓN

El análisis integral de la literatura científica reciente permite concluir que el uso de *Trichoderma* spp. representa una estrategia biológica eficaz y sostenible para reducir la dependencia de agroquímicos en la producción agrícola. La evidencia revisada demuestra que este género fúngico no solo actúa como agente de control biológico frente a diversos patógenos del suelo, sino que también contribuye de manera significativa a la promoción del crecimiento vegetal y a la mejora de la eficiencia en el uso de nutrientes.

Los resultados analizados indican que la incorporación de *Trichoderma* spp. en programas de manejo integrado de cultivos puede disminuir de forma progresiva la aplicación de fungicidas sintéticos, sin comprometer el rendimiento ni la estabilidad productiva de los sistemas agrícolas. Esta reducción se traduce en beneficios ambientales, económicos y sanitarios, alineados con los principios de la agricultura sostenible.

Asimismo, se concluye que la efectividad de *Trichoderma* spp. depende de múltiples factores, entre ellos la cepa utilizada, las condiciones edafoclimáticas y las prácticas de manejo agronómico. Por tanto, su aplicación debe considerarse como parte de un enfoque integral y adaptado a las condiciones locales, más que como una solución aislada.

Finalmente, el presente artículo de revisión confirma el alto potencial de *Trichoderma* spp. como herramienta clave en la transición hacia sistemas agrícolas más resilientes, eficientes y ambientalmente responsables.

RECOMENDACIONES

A partir de los hallazgos de la presente revisión científica, se recomienda promover la incorporación de *Trichoderma* spp. en los sistemas agrícolas como parte de programas de manejo integrado, con el fin de reducir progresivamente el uso de agroquímicos y sus efectos adversos sobre el ambiente y la salud humana.

Con base en los resultados y el análisis crítico realizado, se recomienda promover el uso de *Trichoderma* spp. dentro de esquemas de manejo integrado de cultivos, priorizando su aplicación preventiva y combinada con prácticas agrícolas sostenibles. Es fundamental fortalecer los programas de capacitación dirigidos a productores y técnicos, a fin de garantizar una correcta selección de cepas, formulaciones y métodos de aplicación.

Asimismo, se recomienda incentivar investigaciones futuras orientadas a estudios de largo plazo que evalúen el impacto acumulativo de *Trichoderma* spp. sobre la salud del suelo, la productividad agrícola y la reducción sostenida del uso de agroquímicos. Resulta igualmente necesario avanzar en la estandarización de protocolos de aplicación y en la evaluación de su efectividad en diferentes regiones agroecológicas, especialmente en zonas tropicales.

Finalmente, se recomienda fortalecer la capacitación de productores y técnicos agrícolas en el uso adecuado de bioinsumos, así como fomentar políticas públicas que impulsen la adopción de prácticas agrícolas sostenibles basadas en el uso de microorganismos benéficos.

REFERENCIAS

- Amaresan, N., Jayakumar, V., Kumar, K., & Thajuddin, N. (2021). Beneficial microbes in sustainable agriculture. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 33, 101995.
- Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., ... Smith, D. L. (2023). Plant growth-promoting rhizobacteria: Context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1145612.
- Bisen, K., Keswani, C., Patel, J. S., Sarma, B. K., & Singh, H. B. (2021). *Trichoderma* spp.: Efficient biocontrol agents against plant pathogens. *Biological Control*, 159, 104602.
- Bononi, L., Chiaramonte, J. B., Pansa, C. C., Moitinho, M. A., & Melo, I. S. (2020). Phosphorus-solubilizing *Trichoderma* spp. as plant growth promoters. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1177.
- Contreras-Cornejo, H. A., López-Bucio, J., & Herrera-Estrella, A. (2020). *Trichoderma*-induced plant immunity and growth promotion. *Current Opinion in Plant Biology*, 56, 1–7.
- Druzhinina, I. S., Kopchinskiy, A. G., & Kubicek, C. P. (2021). Diversity and biocontrol potential of *Trichoderma*. *Fungal Biology Reviews*, 36, 35–46.
- Fiorentino, N., Ventrino, V., Woo, S. L., Pepe, O., & De Rosa, A. (2023). *Trichoderma*-based biostimulants and soil health improvement in sustainable agriculture. *Applied Soil Ecology*, 185, 104787.
- Harman, G. E., Doni, F., Khadka, R. B., & Uphoff, N. (2021). Endophytic strains of *Trichoderma* increase plant growth and stress tolerance. *Plants*, 10(1), 38.
- Keswani, C., Singh, H. B., García-Estrada, C., Caradus, J., He, Y. W., Mezaache-Aichour, S., & Glare, T. (2020). Antimicrobial secondary metabolites from agricultural microbes. *Molecules*, 25(1), 206.
- López-Bucio, J., Pelagio-Flores, R., & Herrera-Estrella, A. (2020). *Trichoderma* as plant biostimulant. *Current Opinion in Plant Biology*, 56, 1–7.
- Malmierca, M. G., Cardoza, R. E., Alexander, N. J., McCormick, S. P., & Hermosa, R. (2021). Secondary metabolites produced by *Trichoderma* spp. and their relevance in plant–microbe interactions. *Fungal Genetics and Biology*, 148, 103508.
- Mukherjee, P. K., Horwitz, B. A., Herrera-Estrella, A., Schmoll, M., & Kenerley, C. M. (2022). *Trichoderma* research in the genome era. *Annual Review of Phytopathology*, 60, 145–170.
- Pieterse, C. M. J., Van der Does, D., Zamioudis, C., Leon-Reyes, A., & Van Wees, S. C. M. (2021). Hormonal modulation of plant immunity. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 37, 489–521.
- Poveda, J. (2021). *Trichoderma* as biocontrol and plant growth promoter. *Agronomy*, 11(2), 318.
- Singh, D., Sharma, R., & Singh, H. B. (2023). Role of *Trichoderma* spp. in sustainable crop production. *Journal of Fungi*, 9(4), 389.
- Sood, M., Kapoor, D., Kumar, V., Sheteiwy, M. S., Ramakrishnan, M., Landi, M., & Sharma, A. (2020). *Trichoderma*: The “secrets” of a multitasking biocontrol agent. *Plants*, 9(6), 762.
- Woo, S. L., & Pepe, O. (2023). Microbial consortia and sustainable agriculture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 107, 1273–1288.

Zin, N. A., & Badaluddin, N. A. (2020). Biological functions of Trichoderma. *Journal of Microbiology*, 58(4), 293–302.

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons .