

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, NATURALES Y AMBIENTALES
CARRERA DE MICROBIOLOGÍA

***Trichoderma* spp. como agente de control biológico de enfermedades
en cultivos ecuatorianos**

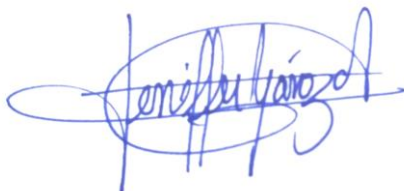
**Monografía previa a la obtención del título de Licenciada en
Microbiología**

Daniela Julieth Bosquez Vega

QUITO, 2026

CERTIFICACIÓN DE LA FINALIZACIÓN DE LA MONOGRAFÍA CONCEDIDA POR LA TUTORA

Certifico que la Monografía de la carrera de Microbiología de la Srta. DANIELA JULIETH BOSQUEZ VEGA con CI: 2100837943, ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.



Firma del tutor de la monografía

Mtr. JENIFFER MARCELA YANEZ ALTUNA

Quito, 12 de junio de 2026

DEDICATORIA

A Dios, por bendecirme cada día; por demostrarme su amor de mil formas; por darme tantas oportunidades de volver a empezar cuando quería rendirme; también porque me permitió terminar mi carrera profesional.

A mi abuelita Julia, por ser mi fuente de inspiración y deseos de superación lo que me ha permitido llegar a donde estoy; que al igual que mis padres, siempre puso mi nombre en sus oraciones y ponerme muchos ángeles de la guarda en esta vida.

A mis padres, Willans Bosquez y Ruht Vega, que han sido mi más grande apoyo y quienes sentaron las bases de responsabilidad; por ingeniárselas en la vida para seguir adelante.

A mi hermana Sari, por estar siempre presente; por darme consejos; por alegrarse y compartir mis logros; por ser sincera; espero que sigamos siendo unidas toda nuestra vida, te amo.

A mis mascotas, que trasnocharon junto a mi como muestra de su cariño, que esperaban en la puerta cada día a que llegara a descansar, me han demostrado que el amor viene en diferentes empaques.

A mis docentes, que nos hicieron amar a la carrera con todos sus conocimientos, en especial a mi directora de monografía, Jeniffer Yáñez, gracias.

A todas las personas que me acompañaron en esta trayectoria y me brindaron siempre un espacio, apoyo y cariño, mil gracias por creer en mí más de lo que yo misma creo.

TABLA DE CONTENIDOS

1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT.....	2
3. INTRODUCCIÓN.....	3
4. OBJETIVOS.....	8
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	8
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
5. MARCO TEÓRICO	9
5.1. Contexto agrícola del Ecuador y problemática fitosanitaria.....	9
5.1.1. Principales enfermedades fitopatógenas	10
5.2. Estrategias de manejo fitosanitario	12
5.2.1. Manejo químico de enfermedades fitosanitarias en cultivos ecuatorianos	12
5.2.2. Control biológico de fitopatógenos en cultivos ecuatorianos	15
5.3. Clasificación taxonómica y diversidad del género <i>Trichoderma</i>	16
5.3.1. Características biológicas y ecológicas de <i>Trichoderma</i> spp.	18
5.3.2. Interacción de <i>Trichoderma</i> spp. con la rizosfera y la microbiota del suelo	25
5.4. Mecanismos de acción de <i>Trichoderma</i> spp. en el control de fitopatógenos.....	28
5.4.1. Competencia por espacio y nutrientes	31
5.4.2. Micoparasitismo y antibiosis	33
5.4.3. Inducción de resistencia sistémica y promoción del crecimiento vegetal.....	34
5.5. <i>Trichoderma</i> spp. en cultivos ecuatorianos.....	35
5.5.1. Cultivo de cacao (<i>Theobroma cacao</i>) y banano (<i>Musa</i> spp.)	36
5.5.2. Cultivos hortícolas (tomate, ají y hortalizas en general)	39
5.5.3. Cultivo de arroz (<i>Oryza sativa</i>) y maíz (<i>Zea mays</i>)	41
5.5.4. Cultivo de pitahaya (<i>Selenicereus undatus</i>)	41
5.5.5. Cultivo de rosas (<i>Rosa</i> spp.).....	42
5.5.6. Variabilidad en la eficacia: cepas, formulaciones y métodos de aplicación	42
5.6. Limitaciones, retos y perspectivas del uso de <i>Trichoderma</i> spp. en Ecuador	43
5.6.1. Limitaciones técnicas y productivas en la aplicación en campo	44
5.6.2. Necesidad de caracterización de cepas nativas y estandarización de protocolos	45
5.6.3. Perspectivas de investigación y adopción en sistemas agrícolas sostenibles	46
6. CONCLUSIONES	49
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de pesticidas comerciales en Ecuador según su nivel de toxicidad..	14
Figura 2. Efectos sinérgicos y mecanismos de acción de la coinoculación de <i>Trichoderma</i> y bacterias en plantas.	16
Figura 3. Características culturales de cepas de <i>Trichoderma</i> spp. aisladas de diferentes fuentes en medio PDA.	19
Figura 4. Cultivo y colonización vegetal de <i>Trichoderma</i> spp. observados mediante cultivo y microscopía de fluorescencia.	18
Figura 5. Características morfológicas microscópicas de <i>Trichoderma asperellum</i>	19
Figura 6. Cepas de <i>Trichoderma</i> en cajas Petri.....	21
Figura 7. Caracterización microscópica de cepas de <i>Trichoderma</i> spp. a 4x.....	20
Figura 8. Mecanismos de defensa inducidos por metabolitos producidos por <i>Trichoderma</i> en plantas frente a fitopatógenos.	26
Figura 9. Sistemas de reconocimiento en la interacción multitrófica entre plantas, <i>Trichoderma</i> , bacterias beneficiosas y patógenos.	27
Figura 10. Factores ecológicos del suelo que afectan la supervivencia y función de bioinoculantes de <i>Trichoderma</i> en la rizosfera.	27
Figura 11. Mecanismos de percepción, señalización y respuesta de <i>Trichoderma</i> spp. frente a estímulos bióticos y abióticos en la rizosfera.....	32
Figura 12. Mecanismos de micoparasitismo de <i>Trichoderma</i> spp. sobre <i>Rhizoctonia solani</i> en el suelo.	33
Figura 13. Mecanismo de micoparasitismo de <i>Trichoderma</i> observado mediante microscopía electrónica de barrido.....	34

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Especies de <i>Trichoderma</i> reportadas en Ecuador según la literatura científica disponible.....	17
Tabla 2. Factores abióticos que modulan el metabolismo de <i>Trichoderma</i> spp.	22
Tabla 3. Factores bióticos que modulan el metabolismo de <i>Trichoderma</i>	24
Tabla 4. Compuestos bioactivos producidos por especies de <i>Trichoderma</i> y sus aplicaciones.	29

1. RESUMEN

La presente monografía analiza el uso de *Trichoderma* spp. como agente de control biológico de enfermedades en cultivos ecuatorianos, en el marco de la necesidad de adoptar prácticas agrícolas sostenibles que reduzcan la dependencia de agroquímicos. En Ecuador, cultivos estratégicos como banano, cacao, maíz, arroz y tomate enfrentan pérdidas significativas por hongos fitopatógenos, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas eficaces y ecológicas. El objetivo general fue evaluar la efectividad, alcances y limitaciones de *Trichoderma* spp. en el contexto agrícola nacional. Con este fin, se examinó la literatura actual sobre control fitosanitario, detallando los rasgos biológicos, ecológicos y las vías de acción del género. Estas últimas a las que aludimos corresponden a la realización de la antibiosis, micoparasitismo, competencia nutritiva y estimulación de las defensas en las plantas; incluyendo estudios realizados a nivel local en cultivos económicos, observándose la disminución de patologías y el aumento de cosechas por el uso del hongo. Sin embargo, es posible sostener que existen limitaciones como los diferentes criterios en dosis, la variabilidad genética de la generación de aislamientos y el escaso conocimiento acerca de aislamientos nativos aclimatados a los ambientes específicos. En conclusión, plantear el desarrollo de *Trichoderma* spp. como una alternativa válida para la agricultura sostenible en Ecuador, pero para hacerlo extensivo requerirá realizar más ensayos de campo, estandarización y creación de contenido técnico para garantizar los efectos que genere dicho microorganismo.

Palabras clave: agricultura sostenible, control biológico, fitopatógenos, *Trichoderma* spp., microbiota del suelo.

2. ABSTRACT

This monograph analyzes the use of *Trichoderma* spp. as a biological control agent for plant diseases in Ecuadorian crops, within the context of the need to adopt sustainable agricultural practices that reduce dependence on agrochemicals. In Ecuador, strategic crops such as banana, cacao, maize, rice, and tomato face significant losses due to fungal phytopathogens, which has driven the search for effective and environmentally friendly alternatives. The general objective was to evaluate the effectiveness, scope, and limitations of *Trichoderma* spp. in the national agricultural context. To this end, current literature on phytosanitary control was examined, detailing the biological and ecological characteristics and mechanisms of action of the genus. These mechanisms include antibiosis, mycoparasitism, nutritional competition, and stimulation of plant defenses. Local research on commercially important crops was also evaluated, where the fungus reduced diseases and optimized yields. Despite this, challenges remain, such as a lack of uniformity in dosage, intergenerational genetic variability, and limited knowledge of native isolates acclimated to specific environments. Ultimately, *Trichoderma* spp. emerges as a viable option for sustainable agriculture in Ecuador, but widespread use requires further field trials, standardization, and technical dissemination to ensure stable effects.

Keywords: biological control, phytopathogens, soil microbiota, sustainable agriculture, *Trichoderma* spp.

3. INTRODUCCIÓN

La sanidad vegetal constituye uno de los pilares fundamentales para garantizar la productividad agrícola y la seguridad alimentaria, especialmente en países con alta dependencia de cultivos comerciales como Ecuador. Las enfermedades causadas por hongos fitopatógenos representan una amenaza constante para sistemas productivos agrícolas. Se estima a nivel global que hasta el 40% de la producción agrícola se pierde anualmente debido a plagas y enfermedades de las plantas, lo que evidencia la magnitud del problema y la necesidad de desarrollar estrategias de manejo más sostenibles (FAO, 2024). Durante las últimas décadas, la búsqueda de alternativas sostenibles frente al uso intensivo de agroquímicos, asociado a la contaminación del suelo, la alteración de la microbiota edáfica y la creciente resistencia de fitopatógenos, ha impulsado el desarrollo de estrategias basadas en agentes biocontroladores, entre los cuales *Trichoderma* spp. se ha consolidado como uno de los grupos microbianos más investigados y aplicados a nivel mundial (Guzmán-Guzmán et al., 2023).

Trichoderma spp. comprende un género de hongos filamentosos caracterizados por su capacidad de competir, parasitar y antagonizar a numerosos fitopatógenos, además de promover el crecimiento vegetal (Guzmán-Guzmán et al., 2025). En la actualidad, se reconoce su interacción dinámica con el microbioma del suelo y de la rizosfera, modulando comunidades microbianas beneficiosas, así como su capacidad de producir metabolitos secundarios con actividad antifúngica, antibacteriana y señalizadora, lo que evidencia su rol multifuncional en los agroecosistemas (Guo et al., 2023). Estudios a nivel internacional han demostrado que la aplicación continua de cepas seleccionadas de *Trichoderma* contribuye a mejorar la tolerancia de las plantas frente a estrés biótico y abiótico, incluyendo sequía, salinidad y presencia de patógenos persistentes en el suelo. En países con agricultura intensiva, su incorporación en programas de manejo integrado ha permitido reducir significativamente el uso de fungicidas químicos, con beneficios económicos, ambientales y sociales (Abdul Halim et al., 2023).

Estudios en América Latina respaldan con regularidad la incorporación de este hongo en planes de manejo fitosanitario integrado. Su rendimiento máximo se da en ambientes agrícolas tropicales con alta presión de patógenos y en suelos ricos en materia orgánica, donde se muestra como un complemento o alternativa al control químico convencional. Sin embargo, esa combinación va a depender del medio edafoclimático y de las interacciones con el microbioma del suelo, potenciando la producción, atenuando la gravedad del ataque fúngico en ambientes tropicales y subtropicales (Gutiérrez Moreno et al. 2025; Marchuk Larrea et. al, 2023). En Ecuador los ensayos realizados en diferentes lugares han sido favorables, principalmente en el litoral y la zona andina, donde plantaciones de cacao, tomate, banano, arroz, plátano, maíz y frutales se ven severamente impactados por hongos. Un claro ejemplo ocurre en el contexto del cultivo de cacao, donde el introducir *Trichoderma* spp. redujo significativamente la incidencia de *Moniliophthora roreri* y aumenta considerablemente el vigor de las plántulas en condiciones controladas (Avilés et al., 2023). Sin embargo, gran parte del material disponible rehace ensayos en laboratorio o ensayos a corto plazo, lo cual no ha permitido comprobar las ventajas mencionadas en condiciones comerciales. Esta limitación, junto al abuso de insumos biológicos importados, pone de aliviar el retraso en ciencia básica en la selección, validación y uso de aislamientos nativos que se adaptan y que registran éxito en las condiciones climáticas del país, lo que carece de un adecuado soporte científico (Tituaña Peralta et al., 2025).

Por lo anteriormente expuesto, las investigaciones previas corroboran la utilidad de *Trichoderma* spp. de forma local, corroborando a su vez, su rol como recurso fundamental dentro de aquellos modelos agrícolas que buscan aumentar la resiliencia y disminuir los agroquímicos. Sin desestimar los beneficios aportados, la literatura científica presenta vacíos metodológicos que están, finalmente, frenando su uso generalizado. Hace falta la búsqueda de cepas locales con alta capacidad biocontroladora, corroborar la estabilidad bajo la variabilidad climática y diseñar metodologías estandarizadas de dosificación que garanticen un comportamiento estable en las condiciones de campo (Guzmán-Guzmán et. al., 2023). En el espacio nacional persiste

una oscilación apreciable en las respuestas de *Trichoderma* spp., relacionadas con el tipo de aislamiento, la presentación del producto, la época o técnica de aplicación y la afinidad con la planta hospedera (Gonzalez Chingaté et al., 2020). La inestabilidad mencionada da cuenta del imperativo de concretar normas técnicas probadas y que permitan conformar un manejo homogéneo en los sistemas de producción. De igual manera, la variabilidad de las dosis probadas y de las condiciones del medio natural afectan al reproducir los resultados o a la comparación de los trabajos (Ávila Oviedo y Chávez Avilés, 2026). El desequilibrio en estas variables ralentiza la transferencia de esta tecnología a partir del riesgo de mostrar fallas en la conexión entre la academia y el trabajo de campo. Las brechas hacen ver que, pese a los avances contemporáneos, el aplicar *Trichoderma* spp. en sistemas agrícolas ecuatorianos aún enfrenta limitaciones científicas y técnicas que requieren investigación sistemática (García et al., 2025).

El interés científico y productivo por *Trichoderma* spp. en Ecuador va en ascenso como consecuencia de su potencial en cultivos estratégicos. La tarea de campo más reciente que incluye un *Trichoderma* spp. indica que su potencializar í a el suelo, porque colabora con la microbiota de la rizósfera y la promueve a través de procesos como la solubilización de nutrientes, la evaluación de la materia orgánica y la estimulación del crecimiento radicular (Blanco Villacorta et al., 2024). Los beneficios indirectos que pueden llegar a generar poseen un valor muy alto en ambientes tropicales, porque la literatura reporta una grave bajada de la biodiversidad de microbiomas edáficos por culpa del uso excesivo de agroquímicos y por otros problemas áticos como la erosión, la acidificación o el desgaste biótico, que terminan reduciendo los rendimientos de la agricultura. En ese contexto, la aplicación de *Trichoderma* spp. No solo intenta dar una solución a una urgencia fitosanitaria: es también una alternativa global para revertir la vida del suelo, con la posibilidad de recuperar la producción tanto de la tierra como de las cosechas (Cortés Hernández et al., 2023).

Paralelamente, cabe señalar el éxito de esta especie como biocontrolador más todo de la biología pura, ya que se entrelazan con la técnica, la economía y el ámbito social. Tener presentaciones comerciales estables, saber dominarlas y formar al agricultor son factores que inciden directamente en la llegada a término de las aplicaciones en las parcelas. Distintas publicaciones afirman que la escasa asistencia técnica, la diferencia entre la calidad de los bioinsumos o el escaso control de sus procesos de fabricación o venta son las monedas de un cambio bastante habitual que obstaculizan su incorporación a la práctica (Gutiérrez Moreno et al., 2025). Por tanto, construir un conocimiento de tipo científico que sea simple, validado a escala local y que guarde correlación con programas de extensión rural se plantea como necesario para ayudar a la toma de decisiones del productor, atenuando así la distancia existente entre la academia y el campo en el sentido estricto de la expresión. Como he visto, investigar sobre el uso de *Trichoderma* spp. se torna relevante de cara al futuro del sector rural y de la sostenibilidad del agro ecuatoriano (Martínez et al., 2023).

En el ámbito socioeconómico, avanzar hacia insumos biológicos como *Trichoderma* spp. contempla las agendas de Estado que deben atender la búsqueda de la sostenibilidad del campo, atender el alivio medioambiental y obtener alimentos limpios, sintonizando con los requerimientos internacionales de hacer una moratoria a los pesticidas químicos y promover modelos agroecológicos (Martínez et al., 2023). Dentro del contexto de Ecuador, donde el motor del agro gira en torno a pequeños y medianos agricultores, promover proyectos en torno a *Trichoderma* spp., permite que se consolide un esquema agrícola menos dependiente de insumos sintéticos y mucho más adherido a la soberanía agroecológica.

La consolidación de este enfoque favorece la protección del ambiente, la salud de los productores y consumidores, y la competitividad de la agricultura ecuatoriana frente a los desafíos actuales del sector agrícola (Guzmán-Guzmán et al., 2025).

En este marco, el contenido de la monografía se organizará de manera progresiva, en primer lugar, se abordarán los fundamentos teóricos, incluyendo la biología, la taxonomía y mecanismos

de acción del género *Trichoderma*; posteriormente, se revisarán los antecedentes nacionales que sustentan su aplicación, es decir, se analizarán estudios recientes desarrollados en Ecuador, destacando resultados, limitaciones y aportes al conocimiento; y, finalmente, se discutirán las oportunidades, retos y proyecciones para el uso de este hongo como agente de control biológico en cultivos ecuatorianos, aportando así una visión integradora que sustenta futuras investigaciones y orienta la toma de decisiones técnicas y productivas hacia una agricultura sostenible, resiliente y acorde con las necesidades actuales del país (Guzmán-Guzmán et al., 2025).

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar el uso de *Trichoderma* spp. como agente de control biológico de enfermedades en cultivos ecuatorianos, con el fin de evaluar su efectividad, alcances y limitaciones en el contexto agrícola nacional.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el estado del arte sobre los principales cultivos de importancia económica en Ecuador y las estrategias de manejo fitosanitario empleadas para el control de enfermedades, con énfasis en el uso de agentes de control biológico y, en particular, en la aplicación de *Trichoderma* spp.
- Describir las características biológicas y los principales mecanismos de acción de *Trichoderma* spp. involucrados en el control de fitopatógenos en cultivos agrícolas.
- Discutir las oportunidades, retos y proyecciones para el uso de *Trichoderma* spp. como agente de control biológico en cultivos ecuatorianos apoyada en la literatura científica internacional.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Contexto agrícola del Ecuador y problemática fitosanitaria

El sector agrícola del Ecuador representa un componente clave de la economía por su aporte al producto interno bruto (PIB), la generación de empleo y la seguridad alimentaria, además de su importancia en las exportaciones (FAO, 2022). Las condiciones agroecológicas del país, determinadas por las regiones Costa, Sierra y Amazonía, permiten la producción de diversos cultivos de importancia económica y alimentaria (Guamán Rivera y Flores Mancheno, 2023; SIPA, 2025).

Entre los principales cultivos destacan el banano (*Musa* spp.), principal producto tradicional de exportación del país, junto con las flores, especialmente las rosas, que posicionan al Ecuador como uno de los principales exportadores florícolas a nivel mundial (Altamirano Pérez et al., 2024; Jadán Sánchez et al., 2025; León Ajila et al., 2018); el cacao (*Theobroma cacao*), relevante por su impacto económico y social; y cultivos básicos como arroz (*Oryza sativa*) y maíz (*Zea mays*), esenciales para la soberanía alimentaria. Así mismo, el tomate (*Solanum lycopersicum*), y cultivos emergentes como la pitahaya (*Selenicereus undatus*) reflejan la diversificación productiva del país (Carrera Sánchez et al., 2025; León Serrano et al., 2020).

No obstante, tales escenarios climáticos también aceleran la aparición de fitopatógenos, sobre todo de origen fúngico, mermando los rendimientos en el campo y dañando la calidad de las cosechas (INIAP, 2021). Dichas patologías ganan terreno bajo esquemas de monocultivo e intensivos, donde variables ambientales como el calor y la humedad constante aceleran la dispersión (Beltrán Carguacundo et al., 2026). Por ello, la protección de los cultivos integra hoy herramientas de control biológico, recurriendo a microorganismos protectores como *Trichoderma* spp., útiles para mitigar plagas, estimular el desarrollo vegetal y potenciar las defensas del hospedero (Tuz Guncay et al., 2025).

5.1.1. Principales enfermedades fitopatógenas

El escenario fitosanitario en Ecuador está marcado por patologías complejas donde hongos, bacterias, virus y nemátodos atacan tanto las raíces como la parte aérea del cultivo. Dichas afecciones provocan graves caídas financieras que, de no ser controladas a tiempo, llegan a mermar más del 30–35% de los rendimientos en las cosechas (Anzules Toala et al., 2021).

En el cultivo de banano (*Musa* spp.), las amenazas no se limitan a agentes fúngicos. Si bien la sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*) representa uno de los mayores costos operativos debido a la alta frecuencia de ciclos de fumigación (García Bastidas et al., 2020), y el marchitamiento por *Fusarium* (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza 4 tropical) se mantiene bajo estricta vigilancia epidemiológica, la incidencia de enfermedades bacterianas es crítica. La presencia de *Ralstonia solanacearum* raza 2 representa un riesgo inminente. Esta bacteria es el agente causal del Moko que afecta específicamente a musáceas (banano y plátano), enfermedad que obstruye de forma irreversible los haces vasculares de la planta. Su propagación ocurre con rapidez a través de herramientas contaminadas, insectos vectores o el movimiento de suelos infectados (Saquicela Cruz et al., 2023).

En el caso del cacao (*Theobroma cacao*), la producción enfrenta limitaciones por enfermedades fúngicas de alto impacto como la moniliasis (*Moniliophthora roreri*), la cual provoca pérdidas considerables en el rendimiento, especialmente en condiciones de alta humedad donde afecta de forma directa al fruto, y la escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*), que afecta el desarrollo estructural de la planta y reduce la productividad a largo plazo (Anzules Toala et al., 2021; Pilaloe David et al., 2021).

Por otro lado, en cultivos ornamentales como las Rosas (*Rosa* spp.) presentan una alta susceptibilidad al hongo *Botrytis cinerea* (moho gris) en los botones florales y al oídio (*Sphaerotheca pannosa*) (Valdivieso Ochoa, 2021). Así mismo, nemátodos agalladores del

género *Meloidogyne* atacan el sistema radicular, lo cual reduce la absorción de nutrientes y el vigor del tallo (Revelo Morán y Delgado Espinoza, 2026). En crisantemos (*Chrysanthemum* spp.) y claveles (*Dianthus caryophyllus*.) se reportan marchiteces vasculares causadas por el hongo *Fusarium oxysporum* y manchas foliares de origen bacteriano por *Pseudomonas* spp., las cuales afectan la estética comercial de la flor (INIAP, 2021; Magdama, 2019).

Así mismo en cultivos hortícolas, se han registrado ataques severos en solanáceas como tomate de riñón (*Solanum lycopersicum*), la bacteria *Ralstonia solanacearum* raza 1 causante de la marchitez bacteriana, el virus del marchitamiento del tomate (TSWV) y la enfermedad del tizón tardío por el hongo *Phytophthora infestans* causan el colapso total de la planta (Albuja Illescas y Reyes Enríquez, 2025; Saquicela Cruz et al., 2023). En el sistema radicular, el complejo de hongos del suelo como *Rhizoctonia solani* y *Pythium* spp. provoca la muerte prematura de plántulas (INIAP, 2021). En cebolla y ajo (*Allium* spp.) el ataque de la "raíz rosada" causada por el hongo *Setophoma terrestris* y nemátodos del género *Ditylenchus* limitan el desarrollo del bulbo y su posterior almacenamiento. Crucíferas como brócoli y coliflor (*Brassica* spp.) son afectadas por la bacteria *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* causante de la podredumbre negra, enfermedad que inutiliza los tejidos aéreos (INIAP, 2021). En cucurbitáceas como melón (*Cucumis melo* L.), sandía (*Citrullus lanatus* T.) y pepino (*Cucumis sativus* L.) son afectadas en áreas fotosintéticas por el virus del mosaico (WMV) y los hongos causantes del mildiu vellosa (*Pseudoperonospora cubensis*) (Chóez Guaranda et al., 2023).

La interacción entre estos patógenos ocurre de manera compleja y sinérgica, donde los nemátodos fitoparásitos facilitan el ingreso de hongos y bacterias mediante lesiones radiculares. Esto favorece la colonización sistémica de los tejidos vegetales, provocando reducción de biomasa, deformación de órganos cosechables y, en casos severos, la pérdida total del cultivo. En conjunto, estas enfermedades representan una de las principales limitantes para la productividad agrícola, la seguridad alimentaria y la competitividad exportadora del país (Gonzalez Vega et al., 2025; INIAP, MAG y Agrocalidad, 2021; Pilaloe David et al., 2021).

5.2. Estrategias de manejo fitosanitario

Las situaciones fitosanitarias que aquí se han expuesto establecen la protección de cultivos como un aspecto muy relevante dentro del agro, pues tiene como objetivo poder evadir, reducir o anular aquellas enfermedades que afectan el rendimiento y valor de los cultivos. La realización de planes de control también es muy importante para el Ecuador porque sus condiciones tropicales y subtropicales determinan una mayor facilidad para la multiplicación de los patógenos dañinos.

Preocupado por los problemas emanados de la creciente dependencia del uso de pesticidas sintéticos para la contención de las enfermedades, el interés por alternativas ecológicas como el control biológico aumentado en las últimas últimas décadas, gracias a los trabajos de investigación ambiental, económica y de salud pública que han surgido a raíz del abuso de los agroquímicos (Cortés Hernández et al., 2023; FAO, 2022).

Con esta perspectiva, el MIE se posiciona como un modelo técnico que relaciona los enfoques químicos, biológicos, culturales y genéticos, con la meta de maximizar los potenciales resultados del control y minimizar los efectos colaterales en el entorno. Este enfoque promueve la reducción del uso de pesticidas y favorece la incorporación de agentes de control biológico, contribuyendo a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y a la conservación de la biodiversidad del suelo (Guzmán-Guzmán et al., 2025; Yao et al., 2023).

5.2.1. Manejo químico de enfermedades fitosanitarias en cultivos ecuatorianos

El control químico ha sido históricamente la estrategia predominante para el manejo de enfermedades en cultivos agrícolas debido a su eficacia inmediata, facilidad de aplicación en campo y su capacidad para reducir rápidamente la carga de patógenos y prevenir brotes epidémicos, razón por la cual los fungicidas sintéticos son ampliamente utilizados de manera frecuente y sistemática en sistemas de producción intensiva y en cultivos estratégicos en Ecuador.

Para el control de la sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*) en cultivos de banano (*Musa* spp.), los productores emplean de forma rotativa grupos químicos como los triazoles (ej. propiconazol), junto con estrobilirubinas (ej. azoxistrobina) y las succinato deshidrogenasa (SDHI). Estos principios activos permiten frenar la germinación de esporas en zonas de alta pluviosidad.

En cuanto a la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y la escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*) en los cultivos de cacao (*Theobroma cacao*), destaca la aplicación de fungicidas a base de cobre (como el óxido cuproso) y protectantes del grupo de los clorotalonilos, los cuales crean una barrera física sobre la superficie de los frutos y tejidos jóvenes.

En el cultivo de arroz (*Oryza sativa*) se concentra en el control del complejo de hongos que causan el manchado del grano y la quemazón (*Pyricularia oryzae*). Los agricultores de las zonas arroceras del litoral utilizan fungicidas sistémicos del grupo de los bencimidazoles, como el carbendazim, y triazoles como el tebuconazol. La aplicación de estos químicos ocurre principalmente en las etapas de embuchado y floración para asegurar la calidad comercial del grano.

En los cultivos de papa (*Solanum tuberosum*) y tomate (*Solanum lycopersicum*), la dependencia de agroquímicos es elevada debido a la presión ejercida por enfermedades como el tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y el tizón temprano (*Alternaria solani*), lo que ha promovido el uso frecuente de fungicidas preventivos, curativos, sistémicos y de contacto, entre ellos mancozeb, cymoxanil, fluazinam y metalaxil, especialmente en provincias andinas como Carchi y Chimborazo, donde las condiciones de alta humedad y bajas temperaturas favorecen el desarrollo de estos patógenos y generan importantes pérdidas económicas en la producción agrícola nacional.

En cultivos de exportación como el brócoli y las flores, la industria emplea fungicidas específicos como el fenhexamid para el control de *Botrytis* spp., además de bactericidas a base de estreptomicina o kasugamicina para mitigar infecciones por *Xanthomonas* y *Erwinia*.

No obstante, el uso continuo e indiscriminado de agroquímicos ha generado una serie de problemáticas que limitan su sostenibilidad a largo plazo. Entre ellas destacan la aparición de cepas de fitopatógenos resistentes a los fungicidas, la contaminación de suelos y fuentes de agua, y los efectos negativos sobre organismos benéficos, incluyendo la microbiota del suelo. Así mismo, la exposición prolongada a estos compuestos puede representar riesgos para la salud de los agricultores y consumidores (ver Figura 1) (Cortés Hernández et al., 2023; Guzmán-Guzmán et al., 2025).

Además, el alto costo de los insumos químicos y la dependencia de productos importados representan una limitante adicional, especialmente para pequeños y medianos productores. En este escenario, el control químico, aunque sigue siendo una herramienta importante, requiere ser complementado con otras estrategias que permitan reducir su uso y mejorar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (FAO, 2022).



Figura 1. Clasificación de pesticidas comerciales en Ecuador según su nivel de toxicidad. Pesticidas comerciales en Ecuador (el nivel de toxicidad de cada pesticida se indica con etiquetas de diferentes colores) (Struelens et al., 2022).

5.2.2. Control biológico de fitopatógenos en cultivos ecuatorianos

El control biológico se ha consolidado como una alternativa sostenible y eficiente para el manejo de enfermedades en cultivos agrícolas, basada en el uso de microorganismos antagonistas capaces de inhibir el desarrollo de fitopatógenos. Esta estrategia utiliza microorganismos antagonistas con capacidad para inhibir el desarrollo de fitopatógenos. El enfoque se fundamenta en procesos ecológicos naturales como la competencia, el parasitismo y la producción de metabolitos antimicrobianos. Estos mecanismos permiten la reducción de la dependencia de insumos químicos y mitigan los impactos ambientales negativos (Guzmán-Guzmán et al., 2023; Yao et al., 2023).

En Ecuador, el repertorio de agentes de control biológico es muy ampliado, incluso no se agota exclusivamente con hongos del suelo. Aunque bacterias, como *Bacillus* y hongos del género *Trichoderma* spp. son los más utilizados en el sector, el agro local incluye además las levaduras del tipo *Saccharomyces* spp. junto con hongos entomopatógenos, como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* en el control de insectos, transmisores de virus y bacterias. En cultivos emblemáticos como el cacao, la combinación de *Trichoderma* más *Bacillus subtilis* hace viable el control de la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y de la escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*). Analizándose finalmente, en las plantaciones de bananeras, estos microorganismos frenan la fusariosis producida por *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense, limitándose los daños foliares originados por diversos hongos fitopatógenos.

Es necesario enfatizar el uso de herramientas biológicas para la resolución de problemas bacterianos, uno de los aspectos normalmente considerados como no prioritarios para las agendas de manejo en el campo. En él se utilizan aislamientos de *Pseudomonas fluorescens* y bacteriófagos específicos para controlar infecciones sistémicas como *Ralstonia solanacearum* o *Pectobacterium* spp. Dichos agentes beneficiosos operan mediante la exclusión competitiva y el quórum de extinción; es decir, consiguen reducir la agresividad del daño que las hortalizas y las

musáceas suelen sufrir. Por otra parte, en el arroz y el maíz, se utilizan líneas seleccionadas de *Trichoderma harzianum* como bioestimuladores de la planta, lo que se traduce en un crecimiento productivo, pero también en un descenso de las enfermedades de raíz. Y, en hortalizas y el tomate, la mezcla de *Bacillus* spp. y *Trichoderma* spp. enfrenta con éxito a patógenos como *Alternaria solani*, *Botrytis cinerea* y *Fusarium* spp., al mejorar la salud del suelo (Poveda et al., 2022).

Estos microorganismos forman parte de la microbiota benéfica del suelo y cumplen un papel clave en la regulación de las interacciones planta-patógeno. Su presencia mantiene el equilibrio biológico de la rizósfera, fortalece las defensas de las plantas y favorece la creación de sistemas productivos más resilientes y sostenibles (ver Figura 2) (Guzmán-Guzmán et al., 2025).

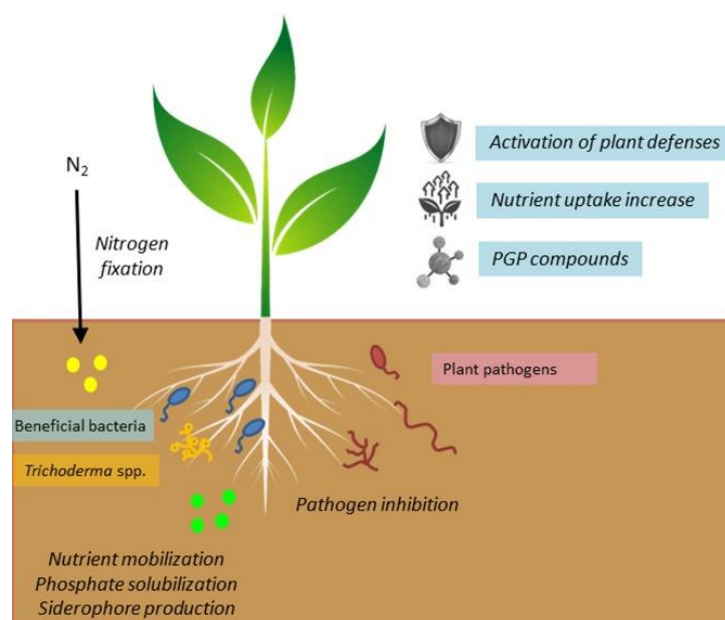


Figura 2. Efectos sinérgicos y mecanismos de acción de la coinoculación de *Trichoderma* y bacterias en plantas. Efectos sinérgicos de la coinoculación de *Trichoderma* spp. y bacterias benéficas en plantas, incluyendo la promoción del crecimiento, la mejora en la absorción de nutrientes, la activación de defensas y la inhibición de fitopatógenos (Poveda et al., 2022).

5.3. Clasificación taxonómica y diversidad del género *Trichoderma*

El género *Trichoderma* pertenece al reino Fungi, filo Ascomycota, subfilo Pezizomycotina, clase Sordariomycetes, orden Hypocreales y familia Hypocreaceae. Históricamente, la fase sexual de estas especies se agrupó dentro del género *Hypocrea*; sin embargo, la nomenclatura

moderna adopta únicamente el nombre *Trichoderma* para referirse tanto a la fase sexual como a la asexual (Ahedo Quero et al., 2024).

La diversidad del género es considerable. En la actualidad se han descrito y validado más de 375 especies de *Trichoderma*, distribuidas en una amplia variedad de ecosistemas, desde bosques y suelos tropicales hasta agroecosistemas intensivos a nivel internacional. En Ecuador, no existe aún un inventario taxonómico nacional consolidado del género *Trichoderma*; sin embargo, diferentes investigaciones agrícolas y microbiológicas han reportado al menos siete especies de importancia biotecnológica y fitosanitaria, entre ellas *T. harzianum*, *T. asperellum*, *T. virens*, *T. atroviride* y *T. viride*, asociadas principalmente a cultivos de interés económico y programas de control biológico (ver Tabla 1) (Zaruma Valverde et al., 2025).

Tabla 1. Especies de *Trichoderma* reportadas en Ecuador según la literatura científica disponible.

Especie reportada en Ecuador	Contexto / cultivo asociado
<i>Trichoderma harzianum</i>	Control biológico en banano, cacao y otros cultivos agrícolas
<i>Trichoderma asperellum</i>	Suelos agrícolas y cultivo de pitahaya en la costa ecuatoriana
<i>Trichoderma virens</i>	Formulaciones comerciales y estudios de antagonismo en Ecuador
<i>Trichoderma atroviride</i>	Reportes de biocontrol y estudios microbiológicos agrícolas
<i>Trichoderma viride</i>	Uso agrícola y biofungicidas comerciales

Fuente: Adaptado de Farías González et al. (2026), García et al. (2025), Ponce et al. (2025) y Zaruma Valverde et al. (2025).

La clasificación de las especies ha evolucionado notablemente gracias a las herramientas de biología molecular. El empleo de técnicas de secuenciación de regiones ITS, genes como *tef1-α* y marcadores filogenéticos ha permitido identificar especies crípticas, diferenciar cepas estrechamente relacionadas y comprender la variabilidad funcional dentro del género. Esta diversidad genética es especialmente importante en agricultura, ya que diferentes especies e

incluso diferentes cepas de una misma especie pueden presentar variaciones significativas en su capacidad de colonización, producción de metabolitos y eficacia como agentes de control biológico (Sun et al., 2025).

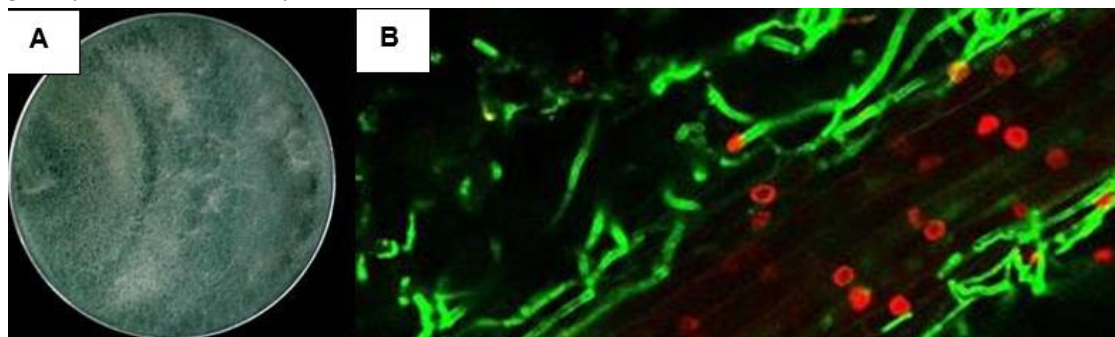


Figura 3. Cultivo y colonización vegetal de *Trichoderma* spp. observados mediante cultivo y microscopía de fluorescencia. (A) Cultivo de *Trichoderma* spp. Característico color verde es típico de la producción masiva de conidios (esporas). (C) Imagen de microscopía de fluorescencia muestra hifas de *Trichoderma* (color verde) colonizando tejidos vegetales (color rojo) (Mukherjee et al., 2022).

5.3.1. Características biológicas y ecológicas de *Trichoderma* spp.

Especies de *Trichoderma* se caracterizan por presentar un rápido crecimiento micelial, elevada tasa de esporulación y gran capacidad para colonizar sustratos orgánicos y suelos agrícolas. Morfológicamente, desarrollan micelio hialino, septado y ramificado, conidios generalmente de color verde que facilitan su dispersión y supervivencia en el ambiente (Ruayaree, 2023). En la Figura 4, se observan características morfológicas macroscópicas distintivas de aislamientos provenientes de suelo, raíces y hojas en agar PDA de cepas nacionales de *Trichoderma* spp. Estas características les otorgan una ventaja competitiva frente a otros hongos presentes en el suelo (Terrero Yépez et al., 2025).

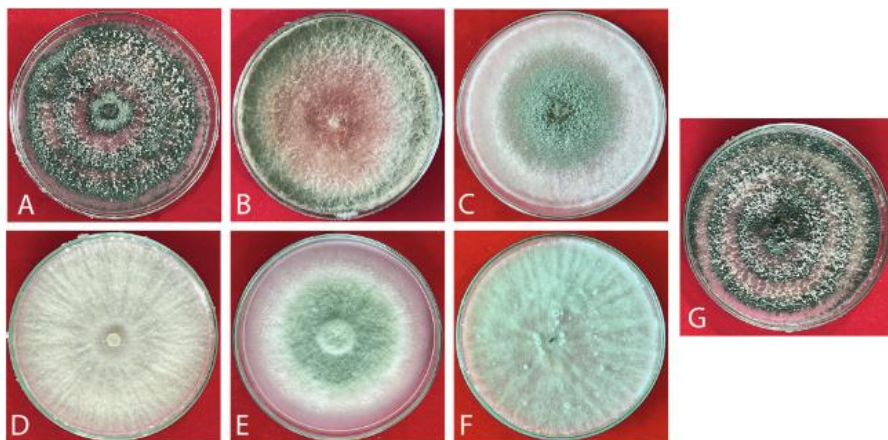


Figura 4. Características culturales de cepas de *Trichoderma* spp. aisladas de diferentes fuentes en medio PDA. (A) F74 suelo, (B) F84 suelo, (C) F78 suelo, (D) F73 raíz, (E) F19 suelo, (F) F17 hoja, (G) F76 suelo (Terrero Yépez et al., 2025).

En la Figura 5, se observan características morfológicas microscópicas distintivas de un cultivo monospórico de *Trichoderma asperellum*. obtenidos del suelo de un cultivo de pitahaya en la costa ecuatoriana (García et al., 2025).

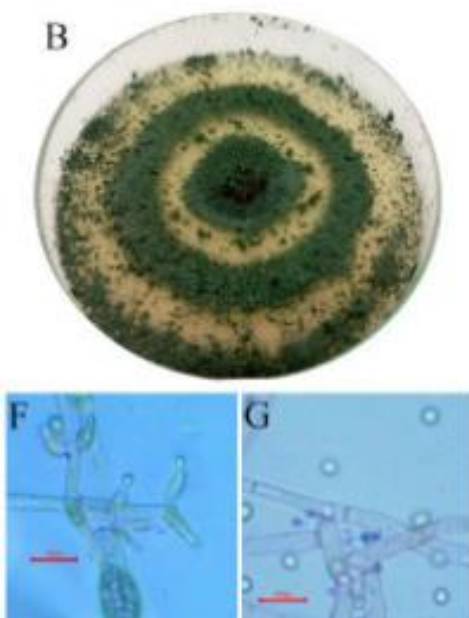


Figura 5. Características morfológicas microscópicas de *Trichoderma asperellum*. (B) *T. asperellum*; (F,G) conidióforos, conidios e hifas tabicadas (García et al., 2025).

Echeverría Suqui et al. (2025) señalan que la versatilidad del género *Trichoderma* se manifiesta a través de variaciones morfológicas específicas entre especies, las cuales son fundamentales para su identificación taxonómica preliminar. Como se observa en la Figura 6, los aislamientos nacionales presentan patrones de crecimiento macroscópico que coinciden con las descripciones típicas del género: un desarrollo micelial acelerado y una colonización eficiente del sustrato. Dentro de estos aislamientos nativos, la línea de *T. asperellum* (Figura 6, A1-A2) desarrolla colonias con notorios anillos concéntricos, en tanto que *T. harzianum* (Figura 6, B1-B2) resalta por un aspecto aterciopelado al inicio junto a bordes algodonosos, y *T. atroviride* (Figura 6, C1-C2) muestra un crecimiento micelial sumamente rápido con tonos típicos.

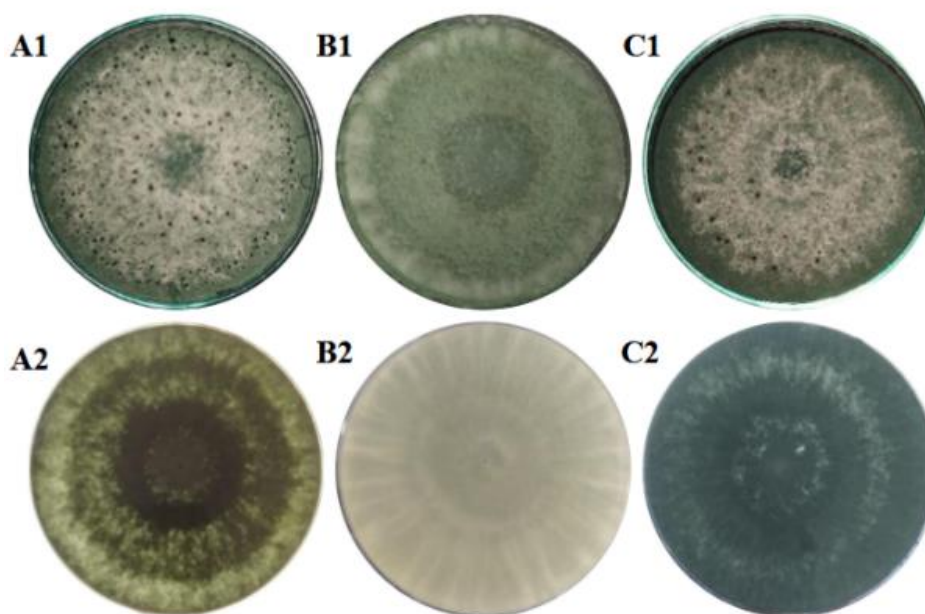


Figura 6. Caracterización microscópica de cepas de *Trichoderma* spp. a 4x. (Echeverría Suqui et al., 2025)

Apoyando dicha evaluación, el examen microscópico expuesto en la Figura 7 facilita distinguir de forma exacta cepas con morfologías parecidas mediante el estudio de sus órganos reproductivos. Para las muestras locales de *T. asperellum*, se aprecia una organización ramificada en conidióforos dicotómicos y fiálides con forma de botella que producen conidios casi esféricos lisos. El análisis microscópico de *T. harzianum* indica que el tipo de conidióforo es

piramidal, que las masas de conidias son globosos de superficie levemente rugosa. *T. atroviride* se caracteriza microscópicamente por ramificaciones de menor complejidad con fiálides en verticilos aglutinados. Además, su conidio es elipsoidal, oscuro y con ornamentación espinosa y rugosa, que aparece producto de la disposición de la pared celular, siendo un carácter taxonómico esencial para el grupo, y que a la vez favorece la adherencia física de la espora a la superficie del patógeno o al hospedador en el periodo de la infección. Por su parte, *T. harzianum* presenta hifas hialinas y fiálides ampuliformes en verticilos que aglutinan masas de conidios globosos. En cambio, *T. atroviride* presenta fiálides delgadas ligeramente curvadas hacia fuera y con ápices arqueados; estas estructuras coinciden con los descritos en García et al. (2025) y en Terrero Yépez et al. (2025), por lo que validan la pormenorizada identificación taxonómica alcanzada y corroboran el valor biotecnológico de las cepas ecuatorianas , que han sido utilizadas desde los cultivos agrícolas clave.

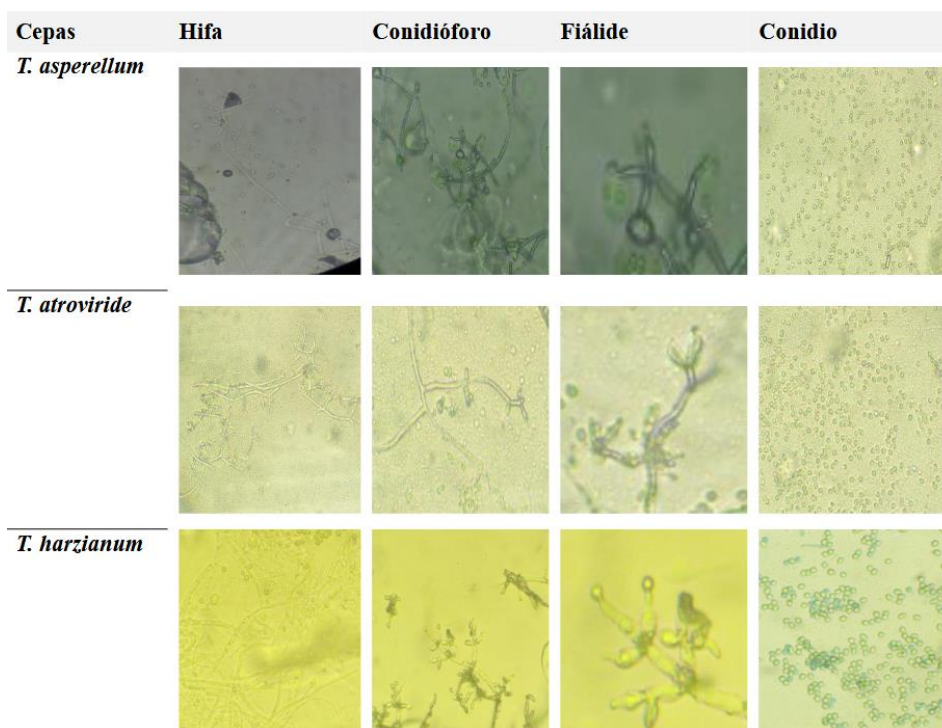


Figura 7. Cepas de *Trichoderma* en cajas Petri. Lado anverso y reverso: *T. asperellum* (A1-A2), *T. atroviride* (B1-B2), *T. harzianum* (C1-C2) (Echeverría Suqui et al., 2025).

La plasticidad metabólica de *Trichoderma* spp. Esto es notable y depende de las condiciones ambientales. Variables abióticas como la disponibilidad de nutrientes (fuentes de carbono y de nitrógeno), los cambios de pH o por la luminosidad determinan la producción de enzimas hidrolíticas y de metabolitos secundarios. La plasticidad metabólica le permite seguir viva en nichos diferentes, pero es la que define su actividad como controladoras de fitopatógenos. La Tabla 2 y 3 sintetizan, mediante evidencia experimental, cómo estos parámetros realizados alteran su metabolismo.

A su vez, *Trichoderma* spp. produce un variado arsenal enzimático cuyas principales enzimas son: quitinasas, β -1,3-glucanasas y proteasas, cuya función a cumplir es la de descomponer las paredes celulares de los hongos competidores. Además, también se suman la producción de metabolitos secundarios con alta actividad antimicrobiana como, por ejemplo, peptaiboles, poliquétidos, pironas y compuestos volátiles que son parte fundamental de su actividad antagonista (Saldaña Mendoza et al., 2023; Zaruma Valverde et al., 2025). Estos dos mecanismos interrelacionados le permiten al hongo ejecutar un control biológico versátil y eficaz en el marco de la complejidad de los ecosistemas agrícolas actuales.

Tabla 2. Factores abióticos que modulan el metabolismo de *Trichoderma* spp.

Factores abióticos	Especies de <i>Trichoderma</i>	Efecto observado
Fuentes de carbono y nitrógeno	<i>T. harzianum</i> (ThJt1), <i>T. viride</i> (TvHt2)	La quitina y las paredes celulares de <i>Sclerotium rolfsii</i> , así como el nitrato de amonio, indujeron la mayor actividad de quitinasa. Por el contrario, la fructosa y la glucosa (ThJt1), así como la fructosa y la sacarosa (TvHt2), suprimieron la producción de enzimas (quitinasa y β -1,3-glucanasa).
Fuente de nitrógeno (extracto de levadura vs. peptona vs. extracto de carne vs. (NH ₄) ₂ SO ₄)	<i>T. asperellum</i> TG4	El extracto de levadura promovió la mayor biomasa y actividad de quitinasa; la peptona y el extracto de carne dieron una actividad moderada; el sulfato de amonio mostró la menor biomasa y producción de quitinasa.
Fuente de nitrógeno (NaNO ₃ vs. NH ₄ NO ₃)	<i>T. harzianum</i>	El NaNO ₃ indujo alcalinización, promoviendo la esporulación. El NH ₄ NO ₃ causó una acidificación sostenida, favoreciendo el crecimiento micelial y el metabolismo secundario específico (ej. producción de ácidos hialurónicos).
Nutriente preferido (fuente de C y N) en presencia de <i>Phytophthora capsici</i>	<i>T. atroviride</i> (NI-1)	La glucosa, la dextrina y el amonio mejoraron la expresión génica; la celulosa, la sacarosa, el glicerol y el PDA redujeron la expresión génica.
Diferentes fuentes de carbono (celulosa, soforosa y glucosa)	<i>T. reesei</i>	Expresión diferencial de genes lignocelulolíticos; la glucosa reprimió muchos de estos genes.

Factores abióticos	Especies de <i>Trichoderma</i>	Efecto observado
Medios ricos vs. pobres en nutrientes	<i>T. harzianum</i> M10	Diferentes perfiles de metabolitos secundarios (ej. 5-hidroxi-2,3-dimetil-7-metoxicromona) y sideróforos.
Luria Bertani (LB) vs. PDA e interacción de <i>Trichoderma</i> sp. y <i>Colletotrichum acutatum</i>	<i>T. atroviride</i> IMI206040, <i>T. asperellum</i> T1 y T3, <i>Trichoderma</i> sp. T2	El medio LB indujo una mayor actividad antifúngica y producción de compuestos orgánicos volátiles (2-pentil furano, dimetil disulfuro y α -felandreno). Glucosa y CMC promovieron mayor biomasa; el perfil metabólico se mantuvo rico en manitol, trehalosa y aminoácidos. La lactosa aumentó intermediarios de galactosa; el CMC indujo glicolato y malato (activación del ciclo del glioxilato).
Diversas fuentes de carbono (glucosa, lactosa, CMC, bagazo de caña)	<i>T. reesei</i> RUT-C30	
Luz vs. oscuridad	<i>T. atroviride</i>	Supresión de la producción de 6PP bajo condiciones de luz.
Luz (longitud de onda y régimen)	<i>T. atroviride</i> (IMI206040 y P1)	La luz moduló la conidiación, el micoparasitismo y la producción de 6PP de manera dependiente de la cepa. Producción duplicada o triplicada de metabolitos secundarios (viridina, viridiol); mejora de la antibiosis contra <i>Pythium aphanidermatum</i> y regulación positiva del micoparasitismo.
Mutagénesis por rayos gamma	<i>T. virens</i> G2 (mutante)+	La respuesta a la luz mediante ENV1 modula la producción de celulasa, respuestas al estrés, metabolismo secundario y desarrollo sexual.
Luz (vía fotorreceptor ENV1)	<i>T. reesei</i>	Modulación de la actividad enzimática, mejora de la formación de estructuras asexuales y alteración de la morfología conidial.
Luz azul (láser)	<i>T. atroviride</i>	
Incubación 40 °C, pH 7, 96 h	<i>T. asperellum</i> PQ34	Máxima actividad de quitinasa.
Incubación 30 °C, pH 6, 120 h	<i>T. asperellum</i> TG4	Máxima producción de quitinasa y biomasa.
pH ácido vs. alcalino	<i>T. harzianum</i> (ThJt1), <i>T. viride</i> (TvHt2)	Producción de quitinasa y β -1,3-glucanasa significativamente mayor en pH ácido que en alcalino.
pH ácido + polisacárido	<i>T. harzianum</i>	Incremento en la producción de quitinasas y β -1,3-glucanasas.

Fuente: Adaptado de Ávila Oviedo y Chávez Avilés (2026).

Tabla 3. Factores bióticos que modulan el metabolismo de *Trichoderma*.

Factores bióticos	Especies de <i>Trichoderma</i>	Efecto observado
Co-cultivo con <i>Sinorhizobium meliloti</i>	<i>T. velutinum</i>	Modulación específica de la expresión génica que deriva en un cambio metabólico significativo, el cual incluye respuestas al estrés, remodelación del citoesqueleto y un cambio hacia la fermentación. Ocurre una represión de rutas relacionadas con la biosíntesis de esteroides/terpenoides y genes relacionados con auxinas.
Co-cultivo con <i>Aspergillus</i> y <i>Bacillus</i>	<i>Trichoderma</i> spp.	La interacción triple mejora la diversidad y abundancia de metabolitos. Este proceso activa rutas crípticas que producen compuestos únicos como Trichodermarina N y Trichodermatida D.
Co-inoculación con <i>Bacillus</i> spp. y <i>Rhizobium</i> sp.	<i>Trichoderma</i> sp. AM6	Mejora sinérgica de la acumulación de flavonoides en plántulas de té mediante la regulación positiva de los genes de biosíntesis de flavonoides.
Co-cultivo con <i>B. subtilis</i> y micelio inactivado de <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	<i>Trichoderma</i> sp.	Inducción de compuestos antifúngicos (ej. acetato de butilo, butanoato de etilo). El acetato de butilo afecta la morfología del patógeno, inhibe el crecimiento y la esporulación, y altera la textura de la colonia.
Co-cultivo con <i>B. velezensis</i> y mutante Δ Tgmfs4	<i>T. guizhouense</i>	Reducción del antagonismo con <i>B. velezensis</i> e incremento de la acumulación de bacilisina. Este proceso mejora el control de la marchitez por <i>Fusarium</i> y promueve la inmunidad vegetal mediante la regulación positiva de genes CAZyme en la rizosfera.
Co-cultivo con <i>Aspergillus niger</i>	<i>T. viride</i>	Mejora en la producción de enzimas celulolíticas.
Co-cultivo con <i>Ganoderma lucidum</i>	<i>T. viride</i>	Inducción de la producción de exo-glucanasa y β -glucosidasa.
Co-cultivo con <i>Pleurotus ostreatus</i>	<i>T. viride</i>	Inducción de alteraciones en el patrón de isoenzimas de laccasa en <i>P. ostreatus</i> .
Interacción entre raíces de tomate y <i>Trichoderma</i> (cepas productoras vs. no productoras de gliotoxina)	<i>T. virens</i>	Las cepas productoras de gliotoxina inducen resistencia sistémica y una expresión más fuerte de genes de defensa vegetal (pr1 y pti-5), lo cual mejora la protección contra patógenos foliares.
Interacción con <i>Fusarium oxysporum</i> y <i>Fusarium equiseti</i> (ensayos de antibiosis)	<i>T. asperellum</i>	Producción de metabolitos secundarios antifúngicos: pironas, ácidos grasos, alcoholes y carbohidratos.
Co-cultivo con <i>Dendrobium nobile</i>	<i>T. longibrachiatum</i> MD33	Incremento en la producción del compuesto dendrobina.
Co-cultivo con <i>Macrophomina phaseolina</i>	<i>T. longibrachiatum</i> EF5	Modulación del metabolismo e incremento de metabolitos (1-pentanol, 1-hexanol, bisabolol, entre otros) con propiedades antimicrobianas y promotoras del crecimiento vegetal. Se activa el metabolismo de aminoazúcares para ayudar en la colonización y defensa.

Fuente: Adaptado de Ávila Oviedo y Chávez Avilés (2026).

En términos ecológicos, *Trichoderma* spp. presenta una distribución cosmopolita y puede encontrarse en suelos, restos vegetales en descomposición, madera, compost y rizosfera de múltiples especies vegetales. Su presencia es especialmente frecuente en ambientes ricos en materia orgánica y con alta actividad microbiana (Woo et al., 2022). Además, Cavalcante et al. (2025) señalan que este género es capaz de tolerar amplios rangos de temperatura, humedad y pH, lo que explica su adaptación a diversos agroecosistemas tropicales y subtropicales (Cavalcante et al., 2025). En el contexto de Ecuador, las cepas nativas reportadas en la literatura científica han sido recolectadas y aisladas principalmente en los agroecosistemas de la Región Litoral destacando suelos de pitahaya, banano y cacao en provincias como Guayas (zona de Naranjal) así como en zonas agrícolas de la Sierra, incluyendo cultivos hortícolas y florícolas en Imbabura (Chaltura), Pichincha (cantón Quito) y las provincias andinas de Carchi y Chimborazo, demostrando una alta adaptación evolutiva a las condiciones edafoclimáticas locales (Albuja Illescas y Reyes Enríquez, 2025; Echeverría Suqui et al., 2025; García et al., 2025; Revelo Morán y Delgado Espinoza, 2026; Sandoya Villafuerte et al., 2025)

Otra característica relevante es su capacidad para establecer relaciones tanto saprofitas como endofíticas con las plantas. En algunos casos, *Trichoderma* puede colonizar tejidos internos de raíces, tallos e incluso semillas sin causar daño, actuando como un simbionte oportunista (Guzmán-Guzmán et al., 2025). Esta interacción permite que el hongo permanezca asociado a la planta durante periodos prolongados, favoreciendo la expresión continua de mecanismos de defensa y crecimiento.

5.3.2. Interacción de *Trichoderma* spp. con la rizosfera y la microbiota del suelo

La rizosfera constituye una zona altamente dinámica del suelo donde interactúan raíces, microorganismos y compuestos orgánicos liberados por las plantas. En este microambiente, *Trichoderma* spp. desempeña un papel fundamental al colonizar la superficie radicular y participar activamente en la estructura y funcionamiento del microbioma del suelo. La colonización de la rizosfera por *Trichoderma* permite establecer interacciones beneficiosas con la planta,

favoreciendo procesos relacionados con la nutrición vegetal, el crecimiento radicular y la protección frente a patógenos (Guzmán-Guzmán et al., 2025).

Diversos estudios han demostrado que *Trichoderma* spp. actúa como un modulador del microbioma rizosférico, influyendo en la composición y actividad de las comunidades microbianas del suelo. La Figura 8, muestra la producción de metabolitos secundarios, enzimas y compuestos señalizadores, este hongo puede inhibir microorganismos patógenos y favorecer la proliferación de microorganismos beneficiosos (Philip et al., 2025). Estas interacciones contribuyen a la formación de comunidades microbianas más estables y funcionales, capaces de mejorar la fertilidad del suelo y reducir la incidencia de enfermedades en los cultivos.

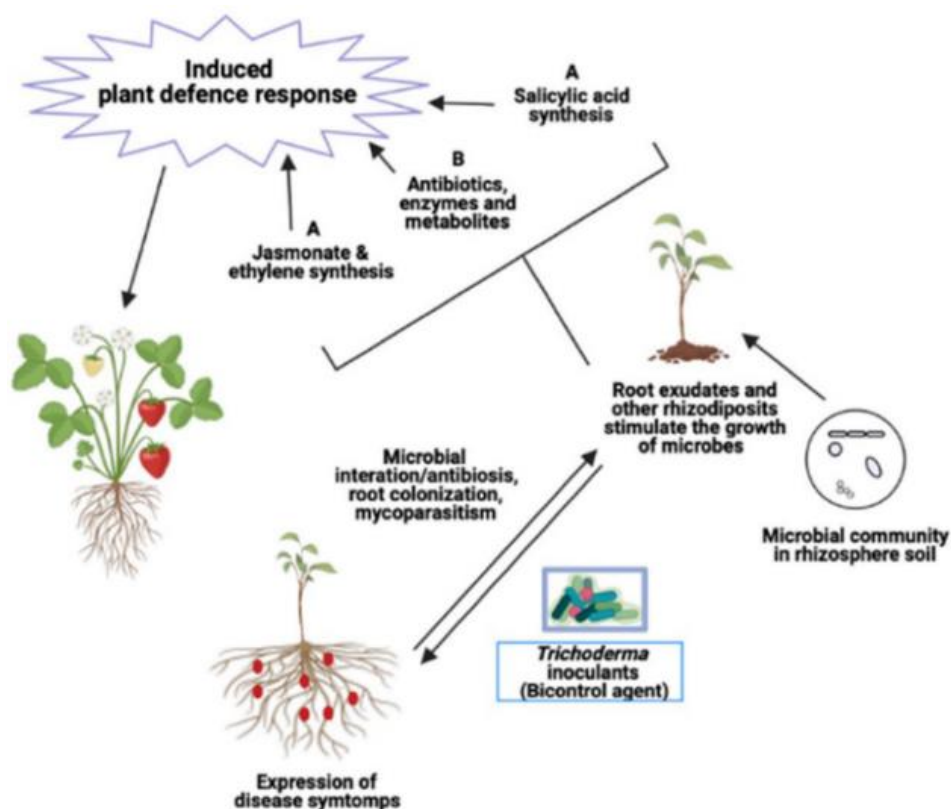


Figura 8. Mecanismos de defensa inducidos por metabolitos producidos por *Trichoderma* en plantas frente a fitopatógenos. Los metabolitos (antibióticos y enzimas) producidos por *Trichoderma* inducen respuestas de defensa en las plantas contra los patógenos: (A) *Trichoderma* libera antibióticos, enzimas y metabolitos secundarios (MS) a través de vías metabólicas que antagonizan a los fitopatógenos. (B) Las señales involucradas en la interacción *Trichoderma*-planta potencian las respuestas de defensa de la planta. (Shahriar et al., 2022).

Además, la interacción entre *Trichoderma* spp. y las plantas está mediada por señales químicas presentes en los exudados radiculares, los cuales pueden atraer y estimular el crecimiento de cepas específicas del hongo (ver Figura 9) (Chóez Guaranda et al., 2023). Una vez establecida la colonización, *Trichoderma* puede inducir cambios fisiológicos en la planta, incluyendo la activación de mecanismos de defensa, la mejora en la absorción de nutrientes y el incremento del crecimiento radicular (Shahriar et al., 2022). Estas interacciones simbióticas contribuyen a fortalecer la resiliencia de las plantas frente a estrés biótico y abiótico, lo que explica el creciente interés en su aplicación dentro de sistemas agrícolas sostenibles (Figura 10).

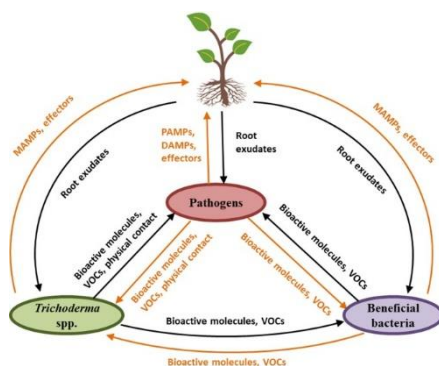


Figura 9. Sistemas de reconocimiento en la interacción multitrofica entre plantas, *Trichoderma*, bacterias beneficiosas y patógenos (Poveda et al., 2022).

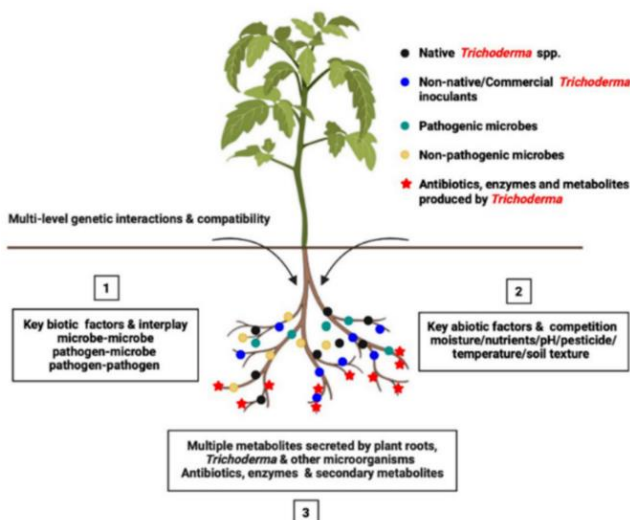


Figura 10. Factores ecológicos del suelo que afectan la supervivencia y función de bioinoculantes de *Trichoderma* en la rizosfera. (1. Bióticos, 2. Abióticos y 3. Metabolómicos) (Shahriar et al., 2022).

5.4. Mecanismos de acción de *Trichoderma* spp. en el control de fitopatógenos

El género *Trichoderma* spp. ejerce su función como agente de biocontrol mediante una compleja red de mecanismos directos e indirectos que operan de manera sinérgica sobre los fitopatógenos y la fisiología de la planta hospedadora. Estas estrategias abarcan la competencia excluyente por espacio y recursos, el micoparasitismo activo, la secreción de metabolitos secundarios (antibiosis) y la estimulación de las defensas sistémicas vegetales. La eficacia de esta interacción no es un valor constante; varía según la plasticidad ecológica de la cepa, su sintonía con el cultivo y el impacto de los factores edafoclimáticos del sitio (Manzar et al., 2022). Bajo esta premisa, estudios recientes, como los presentados por Guevara Viejó et al. (2024), enfatizan que el éxito en el biocontrol depende del balance cuantitativo entre distintos mecanismos; factores que permiten aplicar modelos estadísticos para anticipar la respuesta del hongo ante patógenos críticos como *Moniliophthora roreri*. De igual manera, *Trichoderma* posee una versatilidad única para alternar entre una acción antagonista directa y un establecimiento simbiote en la raíz. Esta dualidad garantiza una defensa sistémica que supera la simple inhibición del inóculo, promoviendo una resistencia más duradera en todo el agroecosistema (Guzmán-Guzmán et al., 2025).

Dicha protección se sustentaba en la producción de un conjunto de moléculas bioactivas de amplio espectro que el hongo liberaba, las cuales estaban reguladas estrechamente por el entorno, por la presencia del hospedante y por la competencia. La diversidad química de estas constituye el elemento determinante que configurará la especificidad y el rango accional del control biológico. La Tabla 4 recoge los principales compuestos bioactivos definidos en diversas especies de *Trichoderma*, así como las funciones biológicas principales que desempeñan y la importancia técnica que tienen para el control de enfermedades que está teniendo un fuerte impacto económico en el sector agrícola actual, constituyendo así una buena fuente de información detallada sobre su potencial operativo en campo y en el control de cultivos.

Tabla 4. Compuestos bioactivos producidos por especies de *Trichoderma* y sus aplicaciones.

Metabolito o enzima	Especies de <i>Trichoderma</i>	Funciones, efectos y relevancia agrícola
Aspartato proteasa P6281 (recombinante: rP6281)	<i>T. harzianum</i>	Inhibición de la germinación de esporas y crecimiento hifal de hongos patógenos, incluidos <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Mucor circinelloides</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>Aspergillus flavus</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> y <i>Candida albicans</i> . Supresión del moho gris en manzanas, naranjas y pepinos.
Th-LAAO (L-aminoácido oxidasa)	<i>T. harzianum</i>	Reducción del daño foliar causado por <i>B. cinerea</i> en col; aumento de la expresión de genes relacionados con la fotosíntesis, transporte de sacarosa, actividad de ascorbato peroxidasa y activación de la resistencia sistémica inducida (ISR).
Hidrofobina Clase II ThHyd1	<i>T. harzianum</i>	Resistencia contra <i>B. cinerea</i> mediante las rutas de señalización de brasinoesteroides y ácido jasmónico/etileno (JA/ET).
L-aminoácido oxidasa (ThLAAO)	<i>T. harzianum</i> ETS323	Activación de mecanismos de defensa vegetal (genes relacionados con la defensa, rutas SA, JA y ET); inducción de resistencia sistémica contra <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> y <i>B. cinerea</i> ; acumulación sustancial de H ₂ O ₂ en cloroplastos y membranas celulares.
Nueva azafilona; otros dos metabolitos principales	<i>T. harzianum</i> T22	Inhibición <i>in vitro</i> de <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Pythium ultimum</i> y <i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i> .
Dos metabolitos conocidos, nueva butenolida	<i>T. harzianum</i> T39	Actividad antagónica contra <i>R. solani</i> .
Tricodermina, alameticina, paracelsina, tricorzinaz	<i>T. harzianum</i>	Actividad antifúngica contra <i>B. cinerea</i> .
Compuestos fenólicos: Crisofanol, fomarina, endocrina, tricofenol A y COVs	<i>T. harzianum</i> LBAT-53	Actividad antagónica contra <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> .
Harzianolida	<i>T. harzianum</i> SQR-T037	Promoción del crecimiento de plántulas de tomate e incremento de la resistencia sistémica contra <i>S. sclerotiorum</i> .
Endopoligalacturonasas (TvPG1, TvPG2)	<i>T. virens</i> 10	Inducción de resistencia sistémica en tomate contra <i>B. cinerea</i> .
Gliotoxina (ETPs)	<i>T. virens</i>	Inducción de estrés oxidativo; interferencia con proteínas del hospedero patógeno.
Tricodión, sorbicilina	<i>T. virens</i>	Actividad antifúngica y antibacteriana.
Xilanasa (TvX)	<i>T. viride</i>	Activación de la expresión de genes de defensa en plántulas de tabaco; retraso reversible del crecimiento de la raíz primaria; alteración de la arquitectura radicular; actúa como señal ambiental en la rizosfera.
Alameticina	<i>T. viride</i>	Inducción de poros en membranas celulares y orgánulos; remodelación de la membrana protectora de la planta; ayuda al crecimiento radicular mediante el control de microbios.
Cpe1 (proteína secretada tipo cerato-platanina)	<i>T. longibrachiatum</i> SMF2	Mejora de la resistencia inducida en <i>Trifolium repens</i> contra <i>B. cinerea</i> mediante la regulación positiva de SOD, POD y CAT.

Fuente: Adaptado de Ávila Oviedo y Chávez Avilés (2026).

Tabla 4. (continuación...)

Metabolito o enzima	Especies de <i>Trichoderma</i>	Funciones, efectos y relevancia agrícola
Norsesquiterpeno; sesquiterpenos; ciclodepsipéptidos	<i>T. longibrachiatum</i>	Actividad antifúngica potente contra <i>Colletotrichum lagenarium</i> . Actividad nematocida moderada contra <i>Meloidogyne incognita</i> .
Sorbicilinoideos (ej. bisvertinolona, tricodimerol, etc.)	<i>T. longibrachiatum</i> SFC100166	Inhibición de <i>Phytophthora infestans</i> , <i>B. cinerea</i> y <i>Magnaporthe oryzae</i> ; reducción de enfermedad en plantas de tomate.
Koningininas	<i>T. koningii</i>	Efecto antifúngico contra <i>G. graminis</i> var. <i>tritici</i> .
6PP	<i>T. koningii</i> CTX1172	Inducción de resistencia sistémica en tabaco contra ToMV.
Sesquiterpenos; Monoterpenos; Tricodenonas; Diketopiperazina	<i>T. asperellum</i> cf44-2	Inhibición del crecimiento de especies de fitoplancton marino y bacterias patógenas.
6-PP	<i>T. asperellum</i>	Actividad antifúngica contra <i>Magnaportheiopsis maydis</i> ; mejora de la biomasa vegetal y peso de la mazorca en ensayos de campo.
Extracto crudo (21 compuestos: hexadecanoico, ergosterol, etc.)	<i>T. asperellum</i>	Supresión de <i>Fusarium solani</i> mediante antibiosis, competencia y micoparasitismo. Aumento de la emergencia de plantas en frijol seco.
<i>Tricokonina VI (TK VI)</i>	<i>T. pseudokoningii</i>	Inducción de disfunción mitocondrial, acumulación de ROS, fragmentación de ADN y apoptosis en <i>F. oxysporum</i> .
Cerinolactona, harzianolida, butenolida T39	<i>T. cerinum</i>	Actividad antifúngica contra <i>P. ultimum</i> , <i>R. solani</i> y <i>B. cinerea</i> .
Tricodermina	<i>T. brevicompactum</i>	Actividad antifúngica contra <i>R. solani</i> , <i>B. cinerea</i> y <i>Colletotrichum lindemuthianum</i> .
Péptido Epl1	<i>T. formosa</i>	Resistencia inducida en <i>Nicotiana benthamiana</i> contra ToMV.
COVs: fluoro(trinitro)metano, 2-feniletanol y otros 15	<i>T. asperelloides</i> TSU1	Inhibición del crecimiento micelial de <i>Corynespora cassicola</i> , <i>Fusarium incarnatum</i> , <i>Sclerotium rolfsii</i> , entre otros.
Harzianolida, 6PP, harzianopiridona, azafilona y antraquinonas	<i>T. harzianum</i> (T22, T39, A6); <i>T. atroviride</i> P1	Inducción de resistencia sistémica en <i>Lycopersicon esculentum</i> y <i>Brassica napus</i> contra <i>B. cinerea</i> y <i>Leptosphaeria maculans</i> .
Filtrados de cultivo, COVs (HA, ácidos linoleicos, hidroximetilfurfural)	<i>T. harzianum</i> , <i>T. longibrachiatum</i> y <i>T. atroviride</i>	La aplicación foliar reduce la severidad de <i>Alternaria solani</i> ; incrementa la producción de enzimas antioxidantes y compuestos fenólicos en tomate.
Extractos de <i>Chlorella vulgaris</i> y <i>Trichoderma</i> spp.	<i>T. harzianum</i> , <i>T. koningii</i> , <i>T. viride</i> y <i>T. virens</i>	Reducción significativa de la incidencia de marchitez tardía en maíz (<i>Cephalosporium maydis</i>) y aumento del rendimiento de grano.
POD, Polifenoloxidasas y Quitinasas	<i>T. harzianum</i> y <i>T. koningii</i>	Mayor resistencia contra la infección por <i>Sclerotium cepivorum</i> en plantas de cebolla.

Fuente: Adaptado de Ávila Oviedo y Chávez Avilés (2026).

5.4.1. Competencia por espacio y nutrientes

Trichoderma spp. es frenante el desarrollo de fitopatógenos en la rizosfera principalmente por la rápida ocupación de los nichos y el uso efectivo de los recursos disponibles. Este hongo tiene la capacidad de crecer rápidamente respecto de otros microorganismos, estableciéndose preventivamente en los nichos importantes del suelo. Cuando el carbono y el nitrógeno son escasos, *Trichoderma* se garantiza la entrada a los sustratos un paso por delante de los organismos infecciosos que encuentran en ellos la fuente de sustento para su proliferación (Ávila Oviedo y Chávez Avilés, 2026; Guzmán-Guzmán et al., 2023).

Un factor clave es la síntesis de sideróforos, compuestos que captan el hierro férrico (Fe^{3+}) del entorno. Al secuestrar este micronutriente, el hongo priva a los patógenos de un elemento vital para su metabolismo (Shahriar et al., 2022). Esta estrategia resulta efectiva incluso en suelos con baja disponibilidad de nutrientes, donde la eficiencia en la captación marca la diferencia. A la par, el hongo coloniza la superficie de las raíces rápidamente, configurando una defensa biológica que funciona como un escudo físico biológico. Dicha exclusión competitiva no solo lo impide el acceso de los invasores a los tejidos vegetales, sino que además es capaz de incrementar la competencia de respuesta del cultivo ante potenciales infecciones para reforzar su salud general en contra de patógenos bióticos (ver Figura 11) (Ávila Oviedo y Chávez Avilés, 2026).

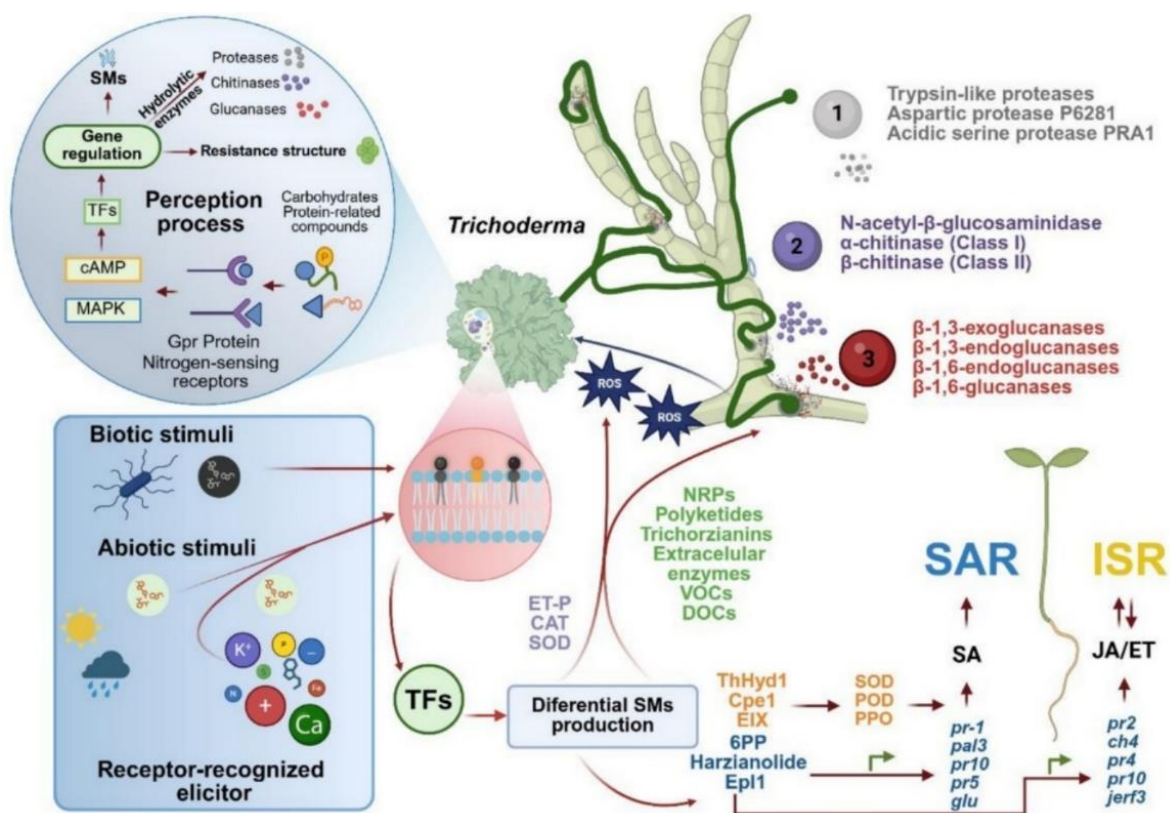


Figura 11. Mecanismos de percepción, señalización y respuesta de *Trichoderma* spp. frente a estímulos bióticos y abióticos en la rizosfera. Los elicitores microbianos (hidrofobina de clase II [ThHyd1], proteínas tipo cerato-platanina [Cpe1], xilanas inductoras de etileno [EIX] y proteínas tipo elicitor [Epl1]), junto con señales ambientales como nutrientes, luz y estrés, son reconocidos por receptores de membrana que activan cascadas de señalización intracelular mediadas por AMPc (cAMP) y quinasas activadas por mitógenos (MAPK). Estas rutas regulan factores de transcripción implicados en la síntesis de enzimas hidrolíticas (quitinasas, glucanasas, proteasas), metabolitos secundarios (péptidos no ribosomales, compuestos orgánicos volátiles como 6-pentil- α -pirona y compuestos orgánicos difusibles como harzianolida), así como sistemas antioxidantes (Ávila Oviedo y Chávez Avilés, 2026).

5.4.2. Micoparasitismo y antibiosis

El micoparasitismo es un mecanismo directo mediante el cual *Trichoderma* spp. reconoce, se adhiere e invade las estructuras de hongos fitopatógenos. Este proceso coordinado inicia con la detección quimiotáctica del hospedero, seguida por el crecimiento dirigido y el enrollamiento hifal. La penetración de la pared celular del patógeno se logra mediante la secreción de enzimas hidrolíticas como quitinasas y glucanasas, las cuales degradan los polímeros estructurales del competidor. Un ejemplo documentado por Abbas et al. (2022) ilustra cómo este micoparasitismo sobre *Rhizoctonia solani* deriva en la destrucción física del micelio y la consecuente reducción del inóculo infeccioso en el suelo (ver Figura 12 y 13).

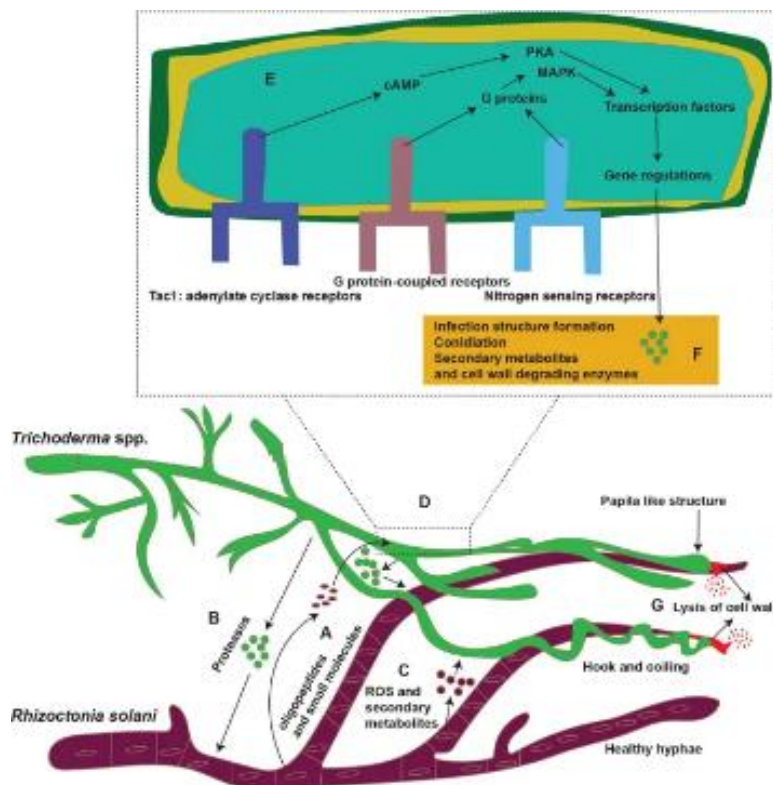


Figura 12. Mecanismos de micoparasitismo de *Trichoderma* spp. sobre *Rhizoctonia solani* en el suelo. *Trichoderma* spp. reconoce y parasita a *R. solani* mediante señales moleculares y rutas de señalización intracelular que inducen la producción de enzimas hidrolíticas y metabolitos secundarios responsables de la degradación de la pared celular del fitopatógeno. GPCR, receptores acoplados a proteína G; TOR, diana de rapamicina; MAPK, proteínas quinasas activadas por mitógenos; PKA, proteína quinasa A; FT, factores de transcripción; ROS, especies reactivas de oxígeno (Abbas et al., 2022).



Figura 13. Mecanismo de micoparasitismo de *Trichoderma* observado mediante microscopía electrónica de barrido. Se muestra el enrollamiento de las hifas de *Trichoderma* alrededor de las hifas de un hongo fitopatógeno durante el proceso de micoparasitismo (Mukherjee et al., 2022).

Complementariamente, la antibiosis actúa como un mecanismo de inhibición a distancia mediado por la liberación de metabolitos secundarios y compuestos orgánicos volátiles. Según Chóez Guaranda et al. (2023), el análisis químico de los extractos de *Trichoderma* pone de manifiesto que estos contienen moléculas bioactivas que provocan alteraciones en la permeabilidad de las membranas del patógeno, haciendo la incidencia de la posterior fase de ataque físico más favorable. Esta sinergia entre la degradación enzimática y la toxicidad química se ve correspondida por complejas interacciones metabolómicas en la rizósfera, en la que factores como la disponibilidad de nutrientes o la señalización química entre los microorganismos van a marcar, en última instancia, el éxito del biocontrol (Shahriar et al., 2022).

5.4.3. Inducción de resistencia sistémica y promoción del crecimiento vegetal

Trichoderma spp., además de sus efectos antagónicos directos, tiene la capacidad de activar los mecanismos de defensa de la planta mediante la inducción de resistencia sistémica (ISR) y la llamada resistencia sistémica adquirida (SAR). Este mecanismo de defensa se basa en el estímulo de las vías hormonales, las cuales están asociadas al etileno, al ácido salicílico y al ácido jasmónico, estimulando así la producción de compuestos fenólicos y de enzimas de carácter antioxidante, que estabilizan el sistema inmunológico y la estructura celular. Salwan et

al. (2022) sostienen que este vínculo genera un estado de cebado ("priming"), capacitando al vegetal para responder con superior rapidez y efectividad frente al ataque de patógenos.

Simultáneamente, *Trichoderma* spp. funciona como un eficaz estimulante del desarrollo en los cultivos. Dicha cualidad va más allá de segregar fitohormonas (tales como giberelinas y auxinas), pues también abarca la optimización de la estructura radicular junto a la liberación de nutrientes edáficos. Sobre este punto, Bacusoy Sánchez et al. (2023) señalan que la excreción microbiana de ácidos orgánicos simplifica la asimilación de minerales clave, favoreciendo la robustez vegetativa y la capacidad adaptativa ante condiciones de estrés abiótico. Integradas, estas funciones secundarias reducen el impacto patogénico e incrementan los rendimientos en campo, posicionando a este microorganismo como un recurso clave para la agricultura sustentable (Dutta et al., 2023; Salwan et al., 2022).

5.5. *Trichoderma* spp. en cultivos ecuatorianos

A nivel local, el uso de este microorganismo constituye un eje clave para alinearse con las exigencias globales de inocuidad alimentaria, disminuyendo de forma drástica la presencia de trazas químicas en las cosechas (INIAP, 2021; MAG, 2022). Investigaciones contemporáneas recalcan que la efectividad de su empleo en campos ecuatorianos se debe a la flexibilidad ecológica de cepas autóctonas, desarrolladas bajo las particularidades climáticas de las zonas andina y costera. Sobre este punto, El Salous et al. (2020) apuntan que la dirección técnica y organizativa de dichos insumos biológicos logra sostener los niveles productivos, resguardando además las propiedades comerciales y organolépticas de productos insignia como el cacao fino de aroma.

Dentro del agro ecuatoriano, el análisis de *Trichoderma* spp. bajo el enfoque del biocontrol ha tomado fuerza por la urgencia de establecer alternativas sustentables ante la propagación de plagas y el abuso de pesticidas sintéticos. Evaluaciones lideradas por entidades como el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) junto a universidades del país confirman que

los aislamientos endémicos muestran un acoplamiento óptimo a los entornos edafoclimáticos de la región. Particularmente en el litoral, donde el calor constante y la saturación hídrica elevan la vulnerabilidad fitosanitaria, el antagonista manifiesta una superior capacidad de exclusión competitiva frente a los patógenos (INIAP, 2021). Las especies más estudiadas en el país corresponden principalmente a *T. harzianum*, *T. asperellum*, *T. viride* y *T. virens*, las cuales han mostrado alta capacidad antagonista frente a diversos hongos fitopatógenos de importancia económica.

5.5.1. Cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) y banano (*Musa* spp.)

Para fundamentar el alcance de este bioantagonista en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*), se han desarrollado investigaciones clave orientadas a frenar los daños en la mazorca. Inicialmente, Anzules Toala et al. (2021) evaluaron bajo condiciones de campo en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas la eficacia de tratamientos basados en suspensiones de *Trichoderma* spp. aplicados de forma complementaria o sustitutiva al manejo químico tradicional. Sus resultados experimentales demostraron que la inclusión sistemática de estos bioinsumos mitigó la severidad de la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y la escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*), reduciendo significativamente las pérdidas de producción en la zona en comparación con los testigos absolutos sin tratar. Posteriormente, Avilés et al. (2023) ampliaron esta línea de defensa al evaluar en condiciones de campo y vivero la eficacia de esporas microencapsuladas de *Trichoderma* spp. formuladas en polímeros de alginato contra el patógeno foliar y de frutos *Moniliophthora roreri*. Sus hallazgos demostraron que la microencapsulación permitió una liberación controlada del hongo y otorgó una mayor resistencia ambiental, mejorando la protección y el desarrollo vegetativo del cacao frente a factores abióticos adversos.

Hacia un enfoque bioquímico y analítico, Chóez Guaranda et al. (2023) examinaron el perfil metabólico de extractos crudos provenientes de aislados nativos de *Trichoderma* spp. mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS). A través de

bioensayos de difusión en agar, los autores lograron la identificación de metabolitos secundarios específicos que ejercieron una inhibición biológica directa *in vitro* sobre el crecimiento micelial de los fitopatógenos *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora palmivora*. De igual manera, Guevara-Viejó et al. (2024) evaluaron el potencial antagónico de diversas cepas nativas ecuatorianas de *Trichoderma* spp. frente a *Moniliophthora roreri* utilizando un análisis estadístico multivariante mediante la técnica de Biplot. Al registrar variables cuantitativas como el porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR), la velocidad de colonización y el grado de micoparasitismo, sus resultados permitieron clasificar y seleccionar con exactitud los aislados locales más eficientes para el control fitosanitario de la moniliasis en el cacao fino de aroma.

Cerrando la evidencia en este sistema agroforestal, Zaruma Valverde et al. (2025) condujeron ensayos de confrontación directa *in vitro* utilizando la escala de Bell para evaluar la actividad antagónica de cepas nativas recolectadas en el litoral ecuatoriano de *Trichoderma* spp. frente a *Colletotrichum* sp., agente causal de la antracnosis. Los resultados determinaron que las cepas adaptadas localmente superaron significativamente en radio de crecimiento y porcentaje de inhibición a los biofungicidas comerciales importados, demostrando una especificidad regional clave para el control del patógeno en las mazorcas. Complementariamente, Beltrán Carguacundo et al. (2026) estudiaron en plantaciones comerciales de la región amazónica la efectividad fitosanitaria de suspensiones de esporas de *Trichoderma* spp. aplicadas de forma dirigida sobre los frutos para la reducción de la moniliasis (*Moniliophthora roreri*). Los resultados de campo determinaron que la colonización temprana de los tejidos del fruto mediante esta estrategia de biocontrol directo disminuyó drásticamente la tasa de infección, reduciendo la pérdida de mazorcas y optimizando la sanidad general del cultivo.

Esta eficiencia en la protección de tejidos y haces conductores se conecta de forma directa con las investigaciones ejecutadas en el sector bananero y de plátano (*Musa* spp.), donde su aplicación se ha vinculado a la mitigación del impacto de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* y nemátodos fitoparásitos, confirmando mejoras en el vigor vegetal y una reducción del deterioro

vascular en fincas del litoral ecuatoriano (Echeverría Suqui et al., 2025; INIAP, 2021). En este contexto, Echeverría Suqui et al. (2025) desarrollaron una caracterización morfológica, fisiológica y cultural de aislados nativos orientados al control fitosanitario de las enfermedades de la raíz en el banano. Los resultados experimentales permitieron identificar y diferenciar con precisión microscópica aislados locales de *T. asperellum*, *T. harzianum* y *T. atroviride* basándose en sus tasas de expansión micelial en medio PDA, morfología de conidióforos y fiálides, lo que facultó la selección de cepas hiperagresivas para su posterior validación fitosanitaria en programas de manejo integrado.

Por su parte, Sandoya Villafuerte et al. (2025) evaluaron en la zona de Naranjal (provincia del Guayas) la eficacia preventiva de cepas nativas de *Trichoderma* spp. inoculadas directamente en el suelo frente al marchitamiento causado por *Fusarium oxysporum* raza 1 en banano variedad 'Gros Michel'. El estudio experimental en campo demostró que el hongo colonizó y protegió eficientemente el sistema radicular de las variedades tradicionales expuestas a la presencia natural del patógeno en el suelo, reduciendo de forma significativa los índices de mortalidad vegetal y el deterioro vascular. Así mismo, Terrero Yépez et al. (2025) condujeron un estudio experimental en la costa ecuatoriana para medir la resiliencia de plantas de plátano inoculadas con aislados locales de *Trichoderma* spp. ante la marchitez bacteriana provocada por *Ralstonia solanacearum* raza 2 (Moko). Los resultados evidenciaron que la aplicación controlada del bioinsumo incrementó significativamente la biomasa vegetal y atenuó el colapso de los haces vasculares del sistema radicular, limitando la colonización sistémica de la bacteria y mejorando ostensiblemente el vigor vegetal.

Ampliando las alternativas de control en musáceas, Tituaña Peralta et al. (2025) realizaron ensayos integrados *in vitro* e *in vivo* en plantas jóvenes de vivero para evaluar el antagonismo de *Trichoderma* spp. contra un complejo de patógenos foliares del banano. Los resultados cuantificados demostraron que las aplicaciones preventivas redujeron de forma significativa la severidad y dispersión de las lesiones necróticas en las hojas, limitando la

viabilidad del inóculo fúngico en condiciones controladas. Para concluir este bloque de musáceas, Veloz Castillo et al. (2025) desarrollaron un ensayo comparativo para evaluar la eficiencia de alternativas de origen biológico basadas en *Trichoderma* spp. frente al control químico convencional de *Fusarium oxysporum* raza 1. Los resultados finales evidenciaron que las aplicaciones biológicas preventivas dirigidas al suelo alcanzaron niveles de control comercialmente aceptables y disminuyeron de forma drástica la incidencia de la enfermedad, igualando la eficiencia técnica de los tratamientos sintéticos tradicionales.

5.5.2. Cultivos hortícolas (tomate, ají y hortalizas en general)

Resultados similares se han obtenido en cultivos hortícolas y sistemas bajo invernadero, donde *Trichoderma* spp. ha mostrado efectividad frente a patógenos de suelo y follaje como *Rhizoctonia* spp., *Botrytis* spp., *Sclerotium rolfsii* y *Pythium* spp. (Moya et al., 2022). Específicamente, en cultivos de tomate, pimiento y hortalizas de ciclo corto, su aplicación se ha relacionado con una reducción significativa de enfermedades radiculares, mayor porcentaje de germinación y mejor desarrollo vegetativo, respuestas atribuidas tanto a su acción antagonista como a su capacidad para estimular procesos de crecimiento vegetal mediante la producción de fitohormonas y metabolitos promotores del desarrollo vegetal (MAG, 2022; Tuz Guncay et al., 2025). Con el fin de precisar estos efectos en solanáceas, Gonzalez Chingaté et al. (2020) desarrollaron ensayos de confrontación directa (cultivos pareados) en laboratorio para evaluar el potencial antagónico de aislados de *Trichoderma* sp. frente a hongos fitopatógenos radiculares aislados de cultivos de solanáceas. Los datos cuantitativos arrojaron elevados porcentajes de inhibición del crecimiento micelial del patógeno, validando la agresividad biológica de estas cepas nativas para su uso como bioinoculantes en tomate y pimiento.

Paralelamente, Blanco Villacorta et al. (2024) llevaron a cabo una investigación experimental para determinar el efecto combinado de los hongos benéficos *Paecilomyces* y *Trichoderma* spp. aplicados al sustrato para el control biológico de nematodos fitoparásitos del género *Meloidogyne* sp. Los conteos poblacionales de laboratorio demostraron una acción

sinérgica que redujo significativamente la cantidad de nematodos en el suelo y previno eficientemente el daño nodular (formación de agallas) en las raíces de tomate. Siguiendo con el sector de las hortalizas, Albuja Illescas y Reyes Enríquez (2025) desarrollaron un seguimiento en campo y análisis sanitario en plantas de tomate riñón injertadas bajo invernadero dentro de Chaltura (Imbabura). Los análisis fitopatológicos cuantificaron la incidencia basal de patógenos del suelo y validaron la pertinencia epidemiológica de introducir cepas locales de *Trichoderma* spp. como tratamientos biológicos preventivos para mitigar enfermedades radiculares y estabilizar la productividad de la zona.

Por su parte, Moya et al. (2022) evaluaron *in vitro* e *in vivo* el efecto biocontrolador de 18 cepas nativas pertenecientes a las especies *T. asperellum*, *T. longibrachiatum* y *T. harzianum* frente a patógenos radiculares de los géneros *Fusarium*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia* y *Pythium*. En la fase de invernadero, las inoculaciones controladas en plántulas de ají (*Capsicum annum* L.) demostraron de forma cuantitativa que las cepas nativas controlaron eficientemente la mortalidad inducida por el complejo de patógenos durante un periodo de monitoreo de 10 semanas.

Avanzando en las estrategias hortícolas combinadas, Philip et al. (2025) evaluaron bajo condiciones de invernadero el efecto sinérgico de la coinoculación de *Trichoderma hamatum* en combinación con extractos vegetales activos de *Rumex dentatus* en plantas de tomate. Los resultados experimentales demostraron que la aplicación combinada disminuyó sustancialmente la incidencia de marchiteces, mejoró el porcentaje de germinación y estimuló de forma significativa el desarrollo de raíces secundarias en comparación con los tratamientos individuales. Finalmente, Sánchez Rivera et al. (2025) realizaron un meta-análisis apoyado en ensayos controlados para examinar la eficacia a largo plazo de *Trichoderma* spp. en el manejo integral de fitopatógenos del suelo en cultivos hortícolas. Los datos recopilados validaron que las aplicaciones dirigidas al sustrato reducen drásticamente la viabilidad de estructuras de resistencia fúngica (esclerocios y clamidosporas) de géneros como *Rhizoctonia* spp., *Botrytis*

spp., *Sclerotium rolfsii* y *Pythium* spp., minimizando la dependencia de nematicidas y fungicidas de síntesis química.

5.5.3. Cultivo de arroz (*Oryza sativa*) y maíz (*Zea mays*)

Este impacto técnico e integrador se extiende de manera equivalente hacia los cereales y otros cultivos industriales de alta relevancia económica para el país. En cultivos de arroz, Bacusoy Sánchez et al. (2023) demostraron la eficacia de *Trichoderma harzianum* como un potente biofertilizante en el cultivo. Los resultados de su investigación evidenciaron incrementos significativos en variables gastronómicas e industriales clave, tales como la altura de la planta y el número de macollos activos, lo que derivó en una mejora directa del rendimiento y peso del grano. Además, los autores destacaron que la implementación de esta alternativa biológica no solo optimiza la productividad del cereal, sino que facilita la transición hacia modelos de producción ecosostenibles al reducir la dependencia de fertilizantes químicos sintéticos en las zonas arroceras del país. Vinculado a este avance en gramíneas, Cuenca Sedamanos et al. (2022) condujeron un estudio experimental enfocado en optimizar las metodologías de propagación y las dosis de aplicación de *Trichoderma* spp. en el cultivo de maíz (*Zea mays*). Los resultados de campo demostraron que la dosificación biológica estandarizada redujo el volumen total de insumos sintéticos requeridos por ciclo agrícola, manteniendo estables los rendimientos agronómicos y potenciando el desarrollo vegetativo del cultivo.

5.5.4. Cultivo de pitahaya (*Selenicereus undatus*)

En frutas exóticas emergentes, García et al. (2025) evaluaron mediante bioensayos de difusión en agar el control biológico de enfermedades fúngicas radiculares en pitahaya (*Selenicereus undatus*) mediante la acción combinada de *Talaromyces tumulis* y *Trichoderma asperellum*. Los resultados demostraron una inhibición mutua y sinérgica del crecimiento del patógeno radicular *Fusarium* spp., disminuyendo de forma significativa los índices de pudrición de raíz y tallo en las muestras analizadas.

5.5.5. Cultivo de rosas (*Rosa* spp.)

Para concluir esta evidencia experimental multi-rubro, Revelo Morán y Delgado Espinoza (2026) evaluaron bajo un diseño de bloques al azar diferentes alternativas biológicas, botánicas y nematocidas sintéticos para el control del nematodo del nudo de la raíz (*Meloidogyne incognita*) en cultivos de rosa (*Rosa* spp.) bajo invernadero en el cantón Quito. Los resultados evidenciaron que las aplicaciones sistemáticas de *Trichoderma* disminuyeron drásticamente el conteo poblacional del parásito y la formación de agallas en las raíces comerciales de la rosa, igualando la eficiencia técnica de los tratamientos nematocidas químicos tradicionales.

Adicionalmente, investigaciones recientes en Ecuador destacan el potencial de las cepas nativas de *Trichoderma* para integrarse dentro de programas de agricultura sostenible y manejo integrado de plagas y enfermedades. Su empleo permite disminuir la aplicación indiscriminada de fungicidas químicos, reducir los impactos ambientales asociados a la contaminación de suelos y fuentes hídricas, y favorecer la conservación de la microbiota benéfica del suelo. Estas características han incrementado el interés por el desarrollo de bioinsumos comerciales elaborados a partir de aislamientos locales adaptados a las condiciones agroecológicas ecuatorianas (Farías Gonsález et al., 2026).

5.5.6. Variabilidad en la eficacia: cepas, formulaciones y métodos de aplicación

A pesar de los resultados positivos reportados, la eficacia de *Trichoderma* spp. fluctúa considerablemente debido a factores críticos como la especificidad de la cepa, el tipo de formulación, la técnica de aplicación y las condiciones ambientales. Esta variabilidad constituye uno de los mayores desafíos para su escalabilidad técnica, dificultando la obtención de una respuesta consistente en condiciones de campo. Al respecto, Zaruma Valverde et al. (2025) sostienen que la "especificidad regional" es determinante, pues las cepas nativas suelen superar en actividad antagónica a las comerciales debido a su adaptación evolutiva a las condiciones agroecológicas locales y a los patógenos autóctonos, como *Colletotrichum* sp.

Por otro lado, la consistencia de la protección biológica depende directamente del método de formulación y suministro. Investigaciones de Avilés et al. (2023) evidencian que la técnica de microencapsulación disminuye las fluctuaciones en campo al resguardar las estructuras fúngicas contra el estrés ambiental, favoreciendo una dosificación paulatina y el establecimiento duradero del antagonista ante amenazas como *Moniliophthora roreri*. Paralelamente, el método de dispersión incide en la viabilidad posterior del hongo; al respecto, Tuz Guncay et al. (2025) indican que la permanencia de *T. asperellum* en plantaciones bananeras varía si el tratamiento se realiza vía drench, pulverización foliar o adición directa al suelo, alterando el equilibrio del biocontrol.

Del mismo modo, la efectividad del proceso se encuentra influenciada por variables externas a la contienda entre el antagonista y el hospedador. Cavalcante et al. (2025) afirman que la sensibilidad de las cepas fúngicas a las condiciones climáticas o a los residuos de fitosanitarios de síntesis propicia que su desarrollo se ve mermado, si no existe una planificación integrada adecuada y muy cuidada, con lo cual un aspecto crucial lo va a constituir el correcto carácter técnico de la identificación de las variedades apropiadas, así como la homogeneización de los manejos en el campo para potenciar al biológico. La compleja trama de relaciones que se establece entre la planta y los microorganismos nativos requiere de estudios que profundicen en la evaluación de tales comportamientos en el contexto de entornos comerciales favorecidos.

5.6. Limitaciones, retos y perspectivas del uso de *Trichoderma* spp. en Ecuador

En el ámbito agronómico en Ecuador, el uso de organismos para el control biológico presenta cifras prometedoras en los cultivos clave para la economía, llegando a mostrar una disminución de la severidad de las fitopatologías y también mejoras en los índices de crecimiento vegetal y volumen de cosecha. No obstante, su implementación a gran escala se topa con los enormes obstáculos de la variabilidad de su rendimiento en campos comerciales, la falta de homogeneidad en la composición de los productos comerciales y el escaso traspaso de los conocimientos técnicos hacia el agricultor (Farías González et al., 2026). A parte de estos límites,

la protección biológica se establece como un componente ordinal dentro de los programas de sanidad. Esta visión se establece el eje del que se vale la necesaria transición hacia modelos de producción agropecuaria con un enfoque de sostenibilidad y adaptabilidad en el país (Martínez et al., 2023; Sánchez Rivera et al., 2025).

5.6.1. Limitaciones técnicas y productivas en la aplicación en campo

Un obstáculo primordial para el uso de *Trichoderma* spp. en el entorno agrícola ecuatoriano residen en la irregularidad de sus efectos al dar el salto de condiciones controladas a cultivos comerciales. El puesto de los aspectos agronómicos, el cambio inevitable del clima, los distintos atributos fisicoquímicos del suelo y la competencia con la microflora autóctona inducen en gran medida su comportamiento ya que tales características ambientales pueden reproducir cambios en la viabilidad, en el establecimiento radicular y en los efectos inhibidores de tal agente, disminuyendo en consecuencia su potencial de protección frente a patógenos fitopatogénicos (Gutiérrez Moreno et al., 2025).

El desfase entre los ensayos de laboratorio y el campo se intensifica ante las dificultades para mantener la duración metabólica del hongo. Chóez Guaranda et al. (2023) indican que, si bien los sobrenadantes de *Trichoderma* poseen un evidente potencial de biocontrol in vitro, la realidad del campo requiere una larga producción de esos metabolitos bajo presiones de estrés abiótico. A este respecto, Shahriar et al. (2022) remarcaban que los cruces metabolómicos dentro de la rizosfera constituyen un mayor reto ecológico dado que las comunidades nativas compiten fuertemente por el espacio y los nutrientes, lo que interfiere en la fijación del bioinsumo que se les propone.

Asimismo, se dan problemas relacionados con el estado de los formulados comerciales que, a menudo, no alcanzan la densidad de propágulos viables solicitada ni la protección frente al transporte y el almacenamiento. A este desajuste operativo, se le suma una barrera social clave, esto es el gasto en capacitación. Struelens y cols. (2022) señalan que la mala adopción de tales herramientas en el seno de las regiones de la Sierra se intensifica por el sesgo

informativo de los propios comercios locales, que se orientan al gasto de agroquímicos convencionales. Esta falta de información sobre dosis y calendarios adecuados induce fallos en el control y los agricultores alimentan la desconfianza hacia estos insumos (Martínez et al., 2023).

5.6.2. Necesidad de caracterización de cepas nativas y estandarización de protocolos

La utilización de aislamientos autóctonos de *Trichoderma* spp. representa una alternativa válida para incrementar el éxito del biocontrol en Ecuador debido a su adecuación a ciertas variables edafoclimáticas presentes. Sin embargo, a pesar de esto, actualmente existe un vacío en la identificación molecular, fisiológica y funcional de estos microorganismos que impide su explotación industrial. En este contexto, según Chóez Guaranda et al. (2023), dichos análisis deben incorporar mapeos metabolómicos extensos que permitan establecer las moléculas químicas que median la actividad antagonista. Por lo tanto, el descarte y la selección de variedades competitivas implica llevar a cabo evaluaciones sistemáticas para medir por un lado la acción supresora y, por el otro lado, la estabilidad y afinidad en campo (Echeverría Suqui et al., 2025; Suárez Palacios et al., 2023).

Simultáneamente, la escasez de metodologías homogéneas converge en un obstáculo sumamente significativo para poder conseguir efectos que puedan ser replicables. Que se refiere a esto, el diseño de pautas de inoculación debe dilucidar la potestad de adaptación climática del hongo; Cavalcante et al. (2025) hacen incidir la necesidad de estandarizar los rangos de tolerancia fúngica frente a provocadores abióticos y con pesticidas convencionales para garantizar su eficacia comercial. Por último, la implementación de bioinsumos estables pasa por la salida de consorcios microbianos de tal manera que hacer lo idóneo de asociar este antagonista con las otras comunidades benéficas marca pautas de operación más firmes y con más eficiencia de trabajo dentro del contexto agrícola nacional (Poveda y Eugui, 2022; Martínez et al., 2023).

5.6.3. Perspectivas de investigación y adopción en sistemas agrícolas sostenibles

Más allá de los inconvenientes logísticos y de campo detallados con anterioridad, las proyecciones para certificar e incorporar a *Trichoderma* spp. dentro del entorno rural del Ecuador resultan muy prometedoras frente al cambio mundial hacia esquemas agroecológicos. La creciente demanda de los mercados externos por conseguir alimentos con nulas o bajas trazas de plaguicidas sintéticos sitúa a la protección biológica como un recurso estratégico en los programas sanitarios, guiando los futuros trabajos de investigación hacia el control dirigido de enfermedades y el incremento del rendimiento integral en las fincas.

A pesar de esto, un obstáculo de peso en el país estriba en que, aun cuando se registra una cantidad importante de pruebas de laboratorio y campo, gran parte de esta información científica se queda resguardada únicamente en los repositorios digitales de tesis de pregrado de las universidades locales, sin llegar a difundirse mediante artículos en revistas indexadas de prestigio internacional. Dicha dispersión del conocimiento disminuye la trascendencia de los descubrimientos locales, mermando su difusión externa y retrasando la producción a nivel industrial de bioinsumos formulados con cepas endémicas.

En este marco de producción académica que no siempre trasciende a revistas arbitradas, la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) ha establecido bases técnicas de gran relevancia mediante la Facultad de Ciencias Exactas, Naturales y Ambientales. A modo de ilustración, dentro del campo de protección de cultivos de la Sierra y el manejo de microorganismos nocivos edáficos, Chicaiza Villacís (2018) examinó en dicha institución la capacidad inhibitoria de aislamientos nativos de *Trichoderma* spp. frente a los agentes causales del marchitamiento y el daño radicular. Sus pruebas *in vitro* arrojaron niveles de supresión del crecimiento del micelio por encima del 70%, comprobando la competitividad de las variedades locales contra hongos patógenos de difícil manejo. Poco después, en el ámbito hortofrutícola, Salazar Romero (2020) coordinó un estudio enfocado en medir el éxito biocontrolador de cepas de *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma asperellum* custodiadas en la colección de la PUCE

ante *Botrytis cinerea* y *Fusarium* spp. Los resultados de sus ensayos de cultivos pareados demostraron que los aislados universitarios ejercieron un micoparasitismo activo mediante el enrollamiento de hifas y la lisis de la pared celular del patógeno, confirmando la viabilidad técnica de estas colecciones biológicas para el diseño de biofungicidas protectantes.

Así mismo, la investigación de pregrado en la PUCE ha explorado la aplicación del hongo benéfico en rubros no tradicionales y cultivos de exportación no tradicionales. Al respecto, Villacís Núñez (2021) desarrolló un estudio enfocado en la colonización endofítica y el uso de *Trichoderma* spp. para el control de la antracnosis provocada por *Colletotrichum* sp. en frutos de exportación. Sus análisis cuantitativos determinaron que la inoculación temprana de suspensiones de esporas en plántulas de vivero estimuló significativamente el desarrollo de biomasa radicular y foliar, reduciendo en más del 40% la incidencia de lesiones necróticas postcosecha a través de mecanismos indirectos de inducción de resistencia sistémica. De igual forma, en el manejo integrado de solanáceas, Simbaña Quishpe (2023) investigó la persistencia en el suelo y la capacidad promotora del crecimiento de formulados artesanales de *Trichoderma* spp. en plantas de tomate riñón (*Solanum lycopersicum* L.). Los conteos de unidades formadoras de colonias (UFC) en sustrato evidenciaron que, bajo condiciones controladas de invernadero, el hongo mantuvo poblaciones estables durante un ciclo de monitoreo de ocho semanas, mejorando paralelamente el porcentaje de germinación y la longitud del sistema radicular debido a la solubilización activa de nutrientes.

Finalmente, complementando esta línea de evidencia académica de la PUCE, Cevallos Andrade (2024) ejecutó una evaluación comparativa in vitro de la actividad biocontroladora de aislados nativos de *Trichoderma virens* frente al hongo fitopatógeno *Rhizoctonia solani*. Al evaluar parámetros clave como la síntesis de compuestos orgánicos volátiles difusibles y la tasa de colonización, los análisis evidenciaron que los aislamientos endémicos de la PUCE alcanzaron una supresión micelial competitiva superior a la de los controles comerciales utilizados como referencia. La presencia de tales investigaciones de pregrado resalta la necesidad de estrechar

los lazos entre las instituciones de educación superior y el sector agrícola, impulsando la divulgación metódica de los trabajos de titulación para estructurar una base de datos científica que sirva de guía en la elaboración masiva de insumos biológicos acoplados a las particularidades climáticas del Ecuador.

Al analizar el porvenir de la ciencia universal, se observa que el progreso de la protección biológica en el territorio nacional ir sustentándose progresivamente en tecnologías epigenómicas y genómicas, consideradas o azulejos para cartografiar los efectos y los mecanismos moleculares que están operando en el cruce multitrófico entre el hospedador, el hongo y el patógeno. Recuérdese que esta área de estudio avanzado está relacionada con la propiedad de los *Trichoderma* spp. de inducir un estado cebado ("priming") en la defensa de la planta, condicionando los mecanismos de alerta de la planta para actuar con una mayor rapidez y contundencia ante los ataques bióticos que pueden determinarse. De esta forma, el traspaso real de los conocimientos gestados en los laboratorios de la Costa y de la Sierra complementado con la prueba de fincas junto a la asistencia técnica estructurada y vinculada a los agricultores será á la clave para realizar el encuadre de *Trichoderma* spp. como una herramienta fundamental para edificar un agro ecuatoriano eficaz, adaptable y sostenible.

6. CONCLUSIONES

1. El análisis del núcleo agrícola del modelo productivo ecuatoriano pone claramente de manifiesto que cultivos de suma importancia para la economía y la seguridad alimentaria, entre ellos musáceas, cacao, solanáceas, gramíneas y flores, presentan una alta susceptibilidad frente a complejos fitopatológicos que están constituidos por bacterias, nematodos y hongos, el manejo convencional de tales amenazas ha estado basado, durante decenas de años, en el uso habitual de agroquímicos de síntesis; como consecuencia de toda esta situación se han producido la degradación de la salud del suelo, la reducción del microbioma nativo benéfico y la aparición de organismos resistentes. En este sentido, la incorporación de estrategias respaldadas por agentes de biocontrol, tal como *Trichoderma* spp., ha pasado de ser una opción complementaria a convertirse en una necesidad técnica imprescindible para restituir el equilibrio biológico y garantizar la sostenibilidad productiva de los agroecosistemas en el país.

2. Es indiscutible que la gran habilidad de *Trichoderma* para controlar enfermedades está interrelacionada gracias a la acción en conjunto de diferentes mecanismos biológicos y bioquímicos. Se trata de un hongo filamentoso con efecto antagonista mediante la competencia por nutrientes y espacio en la rizosfera, junto con el micoparasitismo, la producción de metabolitos secundarios o de enzimas líticas que son capaces de atacar las estructuras celulares de los patógenos. Simultáneamente, la colonización de las raíces induce las vías de resistencia sistémica inducida (RSI) de la planta hospedadora, propiciando, además, un desarrollo radicular, mejorando la captura de minerales. Como resultado, este microorganismo deviene una herramienta de control polivalente, ampliando su faceta de protección fitosanitaria, además de ser una herramienta para el desarrollo de cultivos dentro de los sistemas agrícolas modernos.

3. La información científica recabada a nivel nacional ratifica el desempeño sobresaliente de este agente de biocontrol en diversas cadenas productivas de exportación. En los cultivos de cacao, se observa una disminución estadísticamente comprobable de

enfermedades como la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y la escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*); simultáneamente, en la industria florícola protegida, logra atenuar la presión de nematodos (*Meloidogyne incognita*) y diversas patologías foliares, igualando el rendimiento operativo de los pesticidas convencionales. Pese a esto, la efectividad del control biológico muestra variaciones importantes en el manejo de arrozales y bananeras bajo esquemas de monocultivo extenso. En tales contextos, la capacidad de colonización y supresión patogénica depende estrictamente de la optimización en los métodos de aplicación ya sea por aspersión, inmersión o vía sustrato y, fundamentalmente, de la resiliencia y adaptabilidad del hongo ante las particulares condiciones edafoclimáticas del entorno donde se despliega.

4. Pese a los beneficios documentados, la adopción de *Trichoderma* spp. en el país enfrenta limitaciones estructurales que frenan su potencial. Destaca, primordialmente, la excesiva confianza en insumos biológicos importados, cuyos perfiles genéticos suelen carecer de la flexibilidad ecológica indispensable para una colonización exitosa dentro de las diversas condiciones edafoclimáticas que caracterizan a las regiones de la Costa y la Sierra. Sumado a esto, el agro local padece de una carencia de normas técnicas que estandaricen los métodos de aplicación, así como una oferta insuficiente de formulaciones estables que garanticen la sobrevivencia de las conidias tras periodos prolongados de almacenamiento. Finalmente, la falta de ensayos a escala comercial impide la traslación de resultados prometedores de laboratorio hacia soluciones prácticas en campo, generando una brecha entre la experimentación científica y la implementación necesaria para consolidar su uso como alternativa real frente a las prácticas convencionales.

5. La incorporación definitiva de estas biotecnologías microbianas en la matriz productiva nacional va más allá del ámbito fitopatológico y requiere cambios regulatorios y educativos de carácter prioritario. La ausencia de controles adecuados sobre la calidad de los bioproductos elaborados localmente, junto con la limitada capacitación técnica dirigida a los agricultores, genera incertidumbre y restringe su adopción. En este contexto, resulta fundamental

fortalecer las alianzas entre las instituciones de investigación académica y los programas estatales de transferencia tecnológica. Solo mediante la formación práctica de pequeños y medianos productores será posible ampliar el uso de bioinsumos, reducir los costos asociados al empleo de agroquímicos importados y fortalecer la presencia del Ecuador en mercados internacionales que valoran la inocuidad alimentaria y las prácticas de comercio sostenible.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbas, A., Mubeen, M., Zheng, H., Sohail, M. A., Shakeel, Q., Solanki, M. K., Iftikhar, Y., Sharma, S., Kashyap, B. K., Hussain, S., del Carmen Zuñiga Romano, M., Moya-Elizondo, E. A., y Zhou, L. (2022). Trichoderma spp. Genes Involved in the Biocontrol Activity Against Rhizoctonia solani. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.884469>
- Abdul Halim, A. M., Shivanand, P., Krishnamoorthy, S., y Taha, H. (2023). A review on the biological properties of Trichoderma spp. as a prospective biocontrol agent and biofertilizer. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*. <https://doi.org/10.7324/jabb.2023.11504>
- Ahedo Quero, H. O., Aquino-Bolaños, T., Ortiz-Hernández, Y. D., y García-Sánchez, E. (2024). Trichoderma Diversity in Mexico: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Diversity*, 16(1), 68. <https://doi.org/10.3390/d16010068>
- Albuja Illescas, L. M., y Reyes Enríquez, K. A. (2025). Diagnóstico de plagas y enfermedades en plantas injertadas de tomate riñón (Solanum Lycopersicum L.) bajo invernadero en Chaltura-Imbabura. *Utn.Edu.Ec*. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/18158>
- Altamirano Pérez, H. R., Ortega Galarza, M., y Páez Romero, V. G. (2024). Exportaciones de flores ecuatorianas y su estacionalidad. *Ciencias Administrativas | Revista Digital FCE - UNLP*, 153. <https://doi.org/10.24215/23143738e153>
- Anzules Toala, V., Pazmiño Bonilla, E., Alvarado Huamán, L., Borjas Ventura, R., Castro Cepero, V., y Julca Otiniano, A. (2021). Control of cacao (Theobroma cacao) diseases in Santo Domingo de los Tsachilas, Ecuador. *Agronomía Mesoamericana*, 45939. <https://doi.org/10.15517/am.v33i1.45939>
- Ávila-Oviedo, J. L., y Chávez-Avilés, M. N. (2026). Ecological versatility and biocontrol mechanisms of Trichoderma spp.: toward sustainable agriculture. *Discover Applied Sciences*, 8(2). <https://doi.org/10.1007/s42452-026-08253-5>
- Avilés, D., Espinoza, F., Villao, L., Alvarez, J., Sosa, D., Santos-Ordóñez, E., y Galarza, L. (2023). Application of microencapsulated Trichoderma spp. against Moniliophthora roreri during the vegetative development of cocoa. *Scientia Agropecuaria*, 14(4), 539–547. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.045>
- Bacusoy Sánchez, J. E., Fienco Bacusoy, A. R., Hernández Escobar, A. A., y Cano Andrade, R. J. (2023). Trichoderma harzianum como biofertilizante en el cultivo de arroz (Oryza sativa L.) para una producción ecosostenible. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 9762–9776. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.5089

- Beltrán Carguacundo, K., Rodríguez Maldonado, E., Santamaría Poveda, K., y Román Ramos, A. (2026). *Trichoderma* spp. como estrategia de biocontrol para reducir la incidencia de moniliasis en plantaciones de cacao. *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 6(1), e1287. <https://doi.org/10.51252/raa.v6i1.1287>
- Blanco Villacorta, M. W., Cadena Miranda, F. A., Challco Challco, G. J., y Lopez Loza, G. (2024). Efecto de *Paecilomyces* y *Trichoderma* spp., en el control biológico de nemátodos en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*), en la Estacion Experimental Patacamaya. *Apthapi*, 10(3), 2758–2766. <https://doi.org/10.53287/pgiv2172jk63w>
- Carrera Sánchez, K. M. E., Suntasig Negrete, E. R., Manobanda Pinto, P. M., y Dominguez Brito, J. (2025). Caracterización cultural, morfológica y fisiológica de *fusarium* spp. en pitahaya, Palora, Ecuador. *Agroecología Global. Revista Electrónica de Ciencias Del Agro Y Mar*, 7(12), 73–95. <https://doi.org/10.35381/a.g.v7i12.4442>
- Castro Castro, J. G., Cedeño Moreira, Ángel V., Belezaca Pinargote, C. E., De La Cruz Vichicela, K. M., y Suin Miranda, P. M. (2025). Evaluación de cepas Antagónicas de *Trichoderma* spp., contra *Phytophthora* sp., en *Tectona grandis* L.f. *CONECTIVIDAD*, 6(3), 1–16. <https://doi.org/10.37431/conectividad.v6i3.260>
- Cavalcante, A. L. A., Negreiros, A. M. P., Melo, N. J. d. A., Santos, F. J. Q., Soares Silva, C. S. A., Pinto, P. S. L., Khan, S., Sales, I. M. M., y Sales Júnior, R. (2025). Adaptability and Sensitivity of *Trichoderma* spp. Isolates to Environmental Factors and Fungicides. *Microorganisms*, 13(7), 1689. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13071689>
- Cevallos Andrade, M. J. (2024). *Evaluación in vitro de la actividad biocontroladora de aislados nativos de Trichoderma virens frente al hongo fitopatógeno Rhizoctonia solani* [Trabajo de titulación de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional PUCE.
- Chicaiza Villacís, L. A. (2018). *Potencial antagónico de aislados nativos de Trichoderma spp. frente al complejo de patógenos causantes del marchitamiento y la pudrición radicular en cultivos andinos* [Trabajo de titulación de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional PUCE.
- Chóez Guaranda, I., Espinoza Lozano, F., Reyes Araujo, D., Romero, C., Manzano, P., Galarza, L., y Sosa, D. (2023). Chemical Characterization of *Trichoderma* spp. Extracts with Antifungal Activity against Cocoa Pathogens. *Molecules*, 28(7), 3208. <https://doi.org/10.3390/molecules28073208>
- Cortés Hernández, F. del C., Alvarado Castillo, G., y Sanchez Viveros, G. (2023). *Trichoderma* spp., una alternativa para la agricultura sostenible: una revisión. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 25(2), 62–76. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v25n2.111384>

- Cuenca Sedamanos, J. A., Quevedo Guerrero, J. N., Tuz Guncay, I. G., y Chabla Carillo, J. E. (2022). Trichoderma spp: Propagación, dosificación y aplicación en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Ciencia Y Agricultura*, 19(3). <https://doi.org/10.19053/01228420.v19.n3.2022.14692>
- Dutta, P., Mahanta, M., Singh, S. B., Thakuria, D., Deb, L., Kumari, A., Upamanya, G. K., Boruah, S., Dey, U., Mishra, A. K., Vanlaltani, L., VijayReddy, D., Heisnam, P., y Pandey, A. K. (2023). Molecular interaction between plants and Trichoderma species against soil-borne plant pathogens. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1145715>
- Echeverría Suqui, A. M., Ajila Medina, J. C., Quevedo Guerrero, J. N., Tuz-Guncay, I. G., y Vera Cruz, E. F. (2025). Caracterización y Evaluación de Trichoderma Spp. en el Control de Enfermedades del Cultivo de Banano. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(4), 4512–4529. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i4.19096
- El Salous, A., Marcillo, J., Gómez Vargas, J. A., y Martínez Alcivar, F. R. (2020). Mejoramiento de la calidad del cultivo de cacao en Ecuador. *Revista Venezolana de Gerencia: RVG*, 25(3), 368–380. <https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8890912.pdf>
- Farías González, M. J., Luna Cedillo, M., Gualan Pacheco, E., Ruano Balseca, M., y 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). <https://doi.org/10.56712/latam.v7i1.5235>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). *Ecuador country profile – Agriculture*. <https://www.fao.org/countryprofiles/index/en/?iso3=ECU>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2024). *The hidden health crisis: How plant diseases threaten global food security*. <https://www.fao.org/one-health/highlights/how-plant-diseases-threaten-global-food-security/>
- García Bastidas, F. A., Quintero Vargas, J. C., Ayala Vasquez, M., Schermer, T., Seidl, M. F., Santos Paiva, M., Noguera, A. M., Aguilera Galvez, C., Wittenberg, A., Hofstede, R., Sorensen, A., y Kema, G. H. J. (2020). First Report of Fusarium Wilt Tropical Race 4 in Cavendish Bananas Caused by *Fusarium odoratissimum* in Colombia. *Plant Disease*, 104(3), 994–994. <https://doi.org/10.1094/pdis-09-19-1922-pdn>
- García, Y., Valdez, D., Delcioppo, J., Urjilez, H., Santos-Pinargote, J., y Mancero-Castillo, D. (2025). Reporte de *Talaromyces tumulis* y *Trichoderma asperellum* asociados al cultivo de pitahaya en la costa ecuatoriana y su efecto en la producción. *Idesia (Arica)*, 43. <https://doi.org/10.4067/0718-3429-idesia-2025-43-e03>

- Garófalo, J., Ponce Molina, L., Noroña, P., Campaña, D., Cuesta Subía, H. X., Rivadeneira Ruales, J. E., Monteros, C. J., Racines Jaramillo, M. R., Coronel, J., y Jiménez, C. (2021). *Ecuador: fitomejoramiento de cultivos de seguridad alimentaria, cebada y papa*. <https://repositorio.iniap.gob.ec/items/c5d1255c-a135-4aea-9e95-0f2300e09c99>
- Gonzalez Chingaté, E. J., Liévano, K. S., y Cubillos, D. D. (2020). Evaluación de la efectividad de antagonismo de *Trichoderma* sp. sobre diferentes hongos Fitopatógenos presentes en el cultivo de maíz (*Zea mays*). *Ciencias Agropecuarias*, 6(1), 19–34. <https://doi.org/10.36436/24223484.279>
- Gonzalez Vega, A. S., Granja Guerra, E., y Espinosa Cunuhay, K. A. (2025). Experiencia de manejo de Moko *Ralstonia solanacearum* raza 2 en el Ecuador. *Conciencia Digital*, 8(3.1), 6–25. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v8i3.1.3501>
- Guevara Viejó, F., Valenzuela Cobos, J. D., Noriega Verdugo, D., Garcés Moncayo, M. F., y Basurto Quilligana, R. (2024). Application of Biplot Techniques to Evaluate the Potential of *Trichoderma* spp. as a Biological Control of Moniliasis in Ecuadorian Cacao. *Applied Sciences*, 14(13), 5481. <https://doi.org/10.3390/app14135481>
- Guamán Rivera, S. A., y Flores Mancheno, C. I. (2023). Seguridad Alimentaria y Producción Agrícola Sostenible en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 2(1), 1–20. <https://doi.org/10.69484/rcz/v2/n1/35>
- Guo, Q., Shi, L., Wang, X., Li, D., Yin, Z., Zhang, J., Ding, G., y Chen, L. (2023). Structures and Biological Activities of Secondary Metabolites from the *Trichoderma* genus (Covering 2018–2022). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(37), 13612–13632. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04540>
- Gutiérrez Moreno, K., Olguín Martínez, A. I., Montoya Martínez, A. C., y de los Santos Villalobos, S. (2025). *Trichoderma* in Sustainable Agriculture and the Challenges Related to Its Effectiveness. *Diversity*, 17(10), 734. <https://doi.org/10.3390/d17100734>
- Guzmán-Guzmán, P., Etesami, H., y Santoyo, G. (2025). *Trichoderma*: a multifunctional agent in plant health and microbiome interactions. *BMC Microbiology*, 25(1), 434–434. <https://doi.org/10.1186/s12866-025-04158-2>
- Guzmán-Guzmán, P., Kumar, A., de los Santos-Villalobos, S., Parra-Cota, F. I., Orozco-Mosqueda, Ma. del C., Fadji, A. E., Hyder, S., Babalola, O. O., y Santoyo, G. (2023). *Trichoderma* Species: Our Best Fungal Allies in the Biocontrol of Plant Diseases—A Review. *Plants*, 12(3), 432. <https://doi.org/10.3390/plants12030432>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP]. (2021). *Publicaciones sobre cultivos y sanidad vegetal en Ecuador* <https://www.iniap.gob.ec>

- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], y Agrocalidad. (2021). *Capacitaciones sobre enfermedades fitosanitarias en Ecuador*. <https://www.iniap.gob.ec/iniap-mag-y-agrocalidad-capacitan-sobre-enfermedades-fitosanitarias-en-banano-y-platano/>
- Jadán Sánchez, V. M., Belduma Pizarro, N. A., y Elizalde Orellana, M. V. (2025). Evolución y proyección de la producción agrícola (Banano y Café) en Ecuador en el periodo 2012-2025. *Revista InveCom*, 4(2), -. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10850807>
- Jeyaseelan, A., Murugesan, K., Thayanithi, S., y Palanisamy, S. B. (2024). A review of the impact of herbicides and insecticides on the microbial communities. *Environmental Research*, 245, 118020. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.118020>
- León Ajila, J. P., Espinosa Aguilar, M. A., Carvajal Romero, H. R., y Quezada Campoverde, J. (2018). Análisis de la producción y comercialización de banano en la provincia de El Oro en el periodo 2018-2022. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 7494–7507. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4981
- León Serrano, L. A., Matailo Pinta, A. M., Romero Ramón, A. A., y Portalanza Chavarría, C. A. (2020). Ecuador: producción de banano, café y cacao por zonas y su impacto económico 2013-2016. *Revista Científica UISRAEL*, 7(3), 97–114. <https://doi.org/10.35290/rcui.v7n3.2020.324>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2022). *Manual de manejo integrado de plagas y enfermedades en cultivos estratégicos*. <https://www.agricultura.gob.ec>
- Magdama, F. (2019). *Fusarium oxysporum* - El hongo más temido en la industria del banano: *Ecuador ES Calidad*, 6(1). <https://doi.org/10.36331/revista.v6i1.61>
- Manzar, N., Kashyap, A. S., Goutam, R. S., Rajawat, M. V. S., Sharma, P. K., Sharma, S. K., y Singh, H. V. (2022). *Trichoderma*: Advent of Versatile Biocontrol Agent, Its Secrets and Insights into Mechanism of Biocontrol Potential. *Sustainability*, 14(19), 12786. <https://doi.org/10.3390/su141912786>
- Martínez, Y., Ribera, J., Schwarse, F., y De France, K. (2023). Biotechnological development of *Trichoderma*-based formulations for biological control. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 107(18), 5595–5612. <https://doi.org/10.1007/s00253-023-12687-x>
- Marchuk Larrea, C. N., Benítez Rodas, G. A., Sandoval-Espínola, W. J., Fernández Ríos, D., y Arrúa, A. A. (2023). *Trichoderma* un aliado de la agricultura. *Reportes Científicos de La FACEN*, 14(2), 183–189. <https://doi.org/10.18004/rcfacen.2023.14.2.183>

- Moya Franco, J. de D. ., García, S. ., Morel , M. ., Avilés Quezada, E. ., Núñez, P. ., y Matos , L. (2022). Efectividad de cepas nativas de *Trichoderma* spp. en el control de *Fusarium*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia* y *Pythium* en ají (*Capsicum annuum* L.) en invernadero. *APF*, 10(2), 41–56. Recuperado a partir de <https://www.sodiaf.org.do/apf/index.php/apf/article/view/129>
- Mukherjee, P. K., Horwitz, B. A., Vinale, F., Hohmann, P., Atanasova, L., y Artemio Mendoza-Mendoza. (2022). Editorial: Molecular Intricacies of Trichoderma-Plant-Pathogen Interactions. *Frontiers in Fungal Biology*, 3, 892228–892228. <https://doi.org/10.3389/ffunb.2022.892228>
- Philip, B., Eid, A. R., Bayoumi, S. R., Heflish, A., Atallah, O. O., Abdelwahab, E. A., Michalecka, M., Behiry, S. I., Abdelkhalek, A., y Al-Askar, A. A. (2025). Synergistic curative effects of *Trichoderma hamatum* and *Rumex dentatus* against *Alternaria alternata*, the causal agent of tomato leaf spot disease. *Frontiers in plant science*, 16, 1700051. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1700051>
- Pincay, A., Noboa, M., Viera, W., Herrera, K., León, A., y Jackson, T. (2021). Evaluación in vitro del potencial antagonista de *Trichoderma* sp. y hongos endófitos de mora (*Rubus glaucus* Benth) para el control de *Botrytis cinerea*. *Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research)*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4917695>
- Poveda, J., y Eugui, D. (2022). Combined use of *Trichoderma* and beneficial bacteria (mainly *Bacillus* and *Pseudomonas*): Development of microbial synergistic bio-inoculants in sustainable agriculture. *Biological Control*, 176, 105100. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105100>
- Revelo Morán, J. A., y Delgado Espinoza, M. S. (2026). Eficiencia de nematocidas de naturaleza biológica, química y botánica en el control del nemátodo del nudo de la raíz (*meloidogyne incognita*) en rosas cultivadas bajo invernadero en el cantón Quito. *Utn.Edu.Ec*. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/2684>
- Ruayaree, P. (2023). Trichoderma: Biology, ecology and Trichoderma-plant and Trichodermapathogen interactions. *Journal of Science and Agricultural Technology*, 4(2), 1–4. <https://doi.org/10.14456/jsat.2023.7>
- Saldaña Mendoza, S. A., Pacios Michelena, S., Palacios Ponce, A. S., Chávez González, M. L., y Aguilar, C. N. (2023). Trichoderma as a biological control agent: mechanisms of action, benefits for crops and development of formulations. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39(10). <https://doi.org/10.1007/s11274-023-03695-0>
- Salazar Romero, K. E. (2020). *Eficiencia biocontroladora de cepas de Trichoderma harzianum y Trichoderma asperellum provenientes del banco de germoplasma de la PUCE contra Botrytis cinerea y Fusarium spp.* [Trabajo de titulación de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional PUCE.

- Salwan, R., Sharma, A., Kaur, R., Sharma, R., y Sharma, V. (2022). The riddles of *Trichoderma* induced plant immunity. *Biological Control*, 174, 105037. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105037>
- Sánchez Rivera, G., Flores Moctezuma, H. E., Castrejón Ayala, F., Gutiérrez Rojas, M., y Juárez, D. R. (2025). Análisis de estudios de *Trichoderma* spp. como agente de control de fitopatógenos del suelo. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 28(2). <https://doi.org/10.56369/tsaes.5914>
- Sandoya Villafuerte, J. W., Chica Contreras, G. D., y Maldonado Camposano, C. E. (2025). Prevención de *Fusarium oxysporum* raza 1, en el cultivo de banano variedad Gros Michel, utilizando *Trichoderma* spp. en la zona de Naranjal – Ecuador. *Arandu UTIC*, 12(1), 721–744. <https://doi.org/10.69639/arandu.v12i1.639>
- Saquicela Cruz, P. S., Romanova, E. V., Guamán Guamán, R. N., Ulloa Cortázar, S. M., y Villavicencio Abril, Á. F. (2023). Caracterización morfológica y bioquímica de *Ralstonia solanacearum* Raza 2, bacteria patógena en cultivos de banano y plátano en El Carmen, Manabí, Ecuador. *Siembra*, 10(1), e4305. <https://doi.org/10.29166/siembra.v10i1.4305>
- Shahriar, S. A., Islam, M. N., Chun, C. N. W., Kaur, P., Rahim, M. A., Islam, M. M., Uddain, J., y Siddiquee, S. (2022). Microbial Metabolomics Interaction and Ecological Challenges of *Trichoderma* Species as Biocontrol Inoculant in Crop Rhizosphere. *Agronomy*, 12(4), 900. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040900>
- Simbaña Quishpe, D. F. (2023). *Persistencia en el suelo y capacidad promotora del crecimiento de formulados artesanales de Trichoderma spp. en plantas de tomate riñón (Solanum lycopersicum L.) bajo invernadero* [Trabajo de titulación de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional PUCE.
- Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA). (2025). *Panorama Agroestadístico: Reporte de superficie y producción de los principales cultivos del Ecuador*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. <https://sipa.agricultura.gob.ec/>
- Sosa Bueno, G. C., Gómez Segarra, R. A., Parra Menoscal, J. D., y Rodríguez Suarez, G. G. (2025). Control de la Moniliasis en la Producción de Cacao con *Trichoderma* Spp. *Revista Veritas de Difusão Científica*, 6(2), 1418–1443. <https://doi.org/10.61616/rvdc.v6i2.697>
- Suárez Palacios, C. W., Remache Sánchez, N. M., Pico Rosado, J. T., Paredes Puga, E., Jiménez Cumbicus, J., Andrade Olaya, L., y Delgado Párraga, A. G. (2023). Aislamiento y evaluación de cepas nativas de *Trichoderma* spp., como promotor de desarrollo radicular. *CIENCIA UNEMI*, 16(42), 45–54. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol16iss42.2023pp45-54p>
- Sun, W., Zhang, Y., Hua, L., y Zhong, Z. (2025). Genomic and epigenomic insights into *Trichoderma*–plant interactions. *Phytopathology Research*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s42483-025-00359-9>

- Struelens, Q. F., Rivera, M., Alem Zabalaga, M., Ccanto, R., Quispe Tarqui, R., Mina, D., Carpio, C., Yumbra Mantilla, M. R., Osorio, M., Roman, S., Muñoz, D., y Dangles, O. (2022). Pesticide misuse among small Andean farmers stems from pervasive misinformation by retailers. *PLOS Sustainability and Transformation*, 1(6), e0000017. <https://doi.org/10.1371/journal.pstr.0000017>
- Terrero Yépez, P. I., Factos, N., Rodulfo, P., Solís, K., Molina, C., y Mayorga, K. R. (2025). *Trichoderma* spp. y su influencia en la resiliencia de plantas de plátano ante *Ralstonia solanacearum* (Smith) filotipo II. *Siembra*, 12(1), 17. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/10470429.pdf>
- Tituaña Peralta, J., Granja Guerra, E., Claudio Pruna, D., y Sotelo Erazo, V. (2025). Evaluación in vitro del antagonismo de cepas de *Trichoderma* contra hongos fitopatógenos foliares del cultivo de banano (*Musa* spp.). *Agroindustrial Science*, 15(2), 143-153. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2025.02.06>
- Tuz Guncay, I. G., Simbaña Villarreal, A., Quevedo Guerrero, J. N., y Vera Cruz, E. F. (2025). *Trichoderma asperellum*: persistencia en el suelo bajo distintos métodos de aplicación en cultivo de banano. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 8(4), 77–86. <https://doi.org/10.62452/bj7q9284>
- Valdivieso Ochoa, A. (2021). Evaluación de biofungicidas para el control de *Botrytis cinerea* en rosas (*Rosa* sp.). *Usfq.Edu.Ec*. <https://doi.org/http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/11312>
- Varas Carvajal, I. A., Macías Holguín, J. M., Mendoza Thompson, J. U., Cárdenas Briones, D. K., y Bravo Díaz, L. F. (2024). Biocontrol de *Moniliophthora roreri* con *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis* en cacao CCN-51. *Código Científico Revista de Investigación*, 5(E4), 77–92. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/ne4/462>
- Veloz Castillo, A. D., Echeverría Espinoza, E. E., Quevedo Guerrero, J. N., y Tuz-Guncay, I. G. (2025). Eficiencia del antagonista *Trichoderma* Spp., sobre *Fusarium Oxysporum* R1 en Laboratorio y Vivero. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(4), 4690-4707. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i4.19112
- Vera Bravo, V., Santana Carrasco, B., Suárez Palacios, C., Delgado Párraga, A., López Alava, G., Valarezo Beltrón, C., y Vélez Zambrano, S. (2024). *Vista de Potencial de Trichoderma spp. y Bacillus sp. en el rendimiento del cultivo de fréjol caupí (Vigna unguiculata L. Walp) en Manabí, Ecuador*. Umsa.bo. <https://riiarn.umsa.bo/index.php/RIIARn/article/view/348/284>
- Villacís Núñez, J. P. (2021). *Colonización endofítica y uso de Trichoderma spp. para el control de la antracnosis provocada por Colletotrichum sp. en frutos de exportación* [Trabajo de titulación de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional PUCE.
- Woo, S. L., Hermosa, R., Lorito, M., y Monte, E. (2022). *Trichoderma*: a multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. *Nature Reviews Microbiology*, 21(5), 312–326. <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00819-5>

- Yao, X., Guo, H., Zhang, K., Zhao, M., Ruan, J., y Chen, J. (2023). *Trichoderma* and its role in biological control of plant fungal and nematode disease. *Frontiers in microbiology*, 14, 1160551. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1160551>
- Zaruma Valverde, S. J., Macias Tandanzo, C. R., Herrera Reyes, S. N., Jaramillo Aguilar, E. E., y Moreno Herrera, A. (2025). Actividad Antagónica de Cepas Nativas y Comerciales de *Trichoderma* SPP., Frente al Hongo *Colletotrichum* Sp., Aislado de Mazorcas de Cacao. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(4), 4907–4926. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i4.19128