

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2025,
Volumen 9, Número 4.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2

CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE TRICHODERMA SPP. EN EL CONTROL DE ENFERMEDADES DEL CULTIVO DE BANANO

**CHARACTERIZATION AND EVALUATION OF
TRICHODERMA SPP. IN THE CONTROL OF BANANA
CROP DISEASES**

Alisson Mariza Echeverría Suqui
Universidad Técnica de Machala, Ecuador

Josselyn Camila Ajila Medina
Universidad Técnica de Machala, Ecuador

José Nicasio Quevedo Guerrero
Universidad Técnica de Machala, Ecuador

Ivanna Gabriela Tuz-Guncay
Universidad Técnica de Machala, Ecuador

Edison Fabricio Vera Cruz
DITABA, Ecuador

Caracterización y Evaluación de *Trichoderma* Spp. en el Control de Enfermedades del Cultivo de Banano

Alisson Mariza Echeverría Suqui¹
aecheverr5@utmachala.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0673-7436>
Universidad Técnica de Machala
Ecuador

Josselyn Camila Ajila Medina
jajila6@utmachala.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0004-3598-7412>
Universidad Técnica de Machala
Ecuador

José Nicasio Quevedo Guerrero
jnquevedo@utmachala.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8974-5628>
Universidad Técnica de Machala
Ecuador

Ivanna Gabriela Tuz-Guncay
ituz@utmachala.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0085-3495>
Universidad Técnica de Machala
Ecuador

Edison Fabricio Vera Cruz
verafabricio22@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7950-5049>
Departamento de Investigaciones Técnicas
Agronómicas y biológicas de AgriSum
DITABA
Ecuador

RESUMEN

El presente estudio se centró en la caracterización y evaluación de cepas nativas de *Trichoderma* spp., para el control de enfermedades que afectan al cultivo de banano en Ecuador, específicamente en la provincia de El Oro. Se identificaron tres cepas mediante claves morfológicas: *T. harzianum*, *T. atroviride* y *T. asperellum*. Posteriormente, se analizó su capacidad antagónica frente a los fitopatógenos *Fusarium oxysporum*, *Erwinia* sp. y *Ralstonia solanacearum* a través de ensayos in vitro. Los resultados indicaron que *T. harzianum* y *T. atroviride* mostraron una alta eficacia inhibiendo el desarrollo de *Erwinia* y *Ralstonia*, mientras que *T. asperellum* presentó un menor efecto antagónico. Entre las cepas estudiadas, *T. harzianum* se destacó por su mayor capacidad de inhibición del crecimiento de los patógenos, evidenciando su potencial como agente de biocontrol para enfermedades del banano. La aplicación de cepas de *Trichoderma* como controladores biológicos representa una alternativa sostenible frente al uso excesivo de agroquímicos, que genera problemas de resistencia en los patógenos, afecta la biodiversidad microbiana del suelo y contamina el ambiente. En este sentido, el estudio reafirma la importancia de promover el uso de microorganismos benéficos autóctonos como parte de estrategias integradas para una agricultura más sostenible, especialmente en cultivos de alto valor económico como el banano.

Palabras clave: antagonismo, control biológico, fitopatógenos banano

¹ Autor principal
Correspondencia: aecheverr5@utmachala.edu.ec

Characterization and Evaluation of Trichoderma Spp. in the Control of Banana Crop Diseases

ABSTRACT

This study focused on the characterization and evaluation of native strains of *Trichoderma* spp. for the control of diseases affecting banana crops in Ecuador, specifically in the province of El Oro. Three strains were identified using morphological keys: *T. harzianum*, *T. atroviride*, and *T. asperellum*. Their antagonistic capacity against the phytopathogens *Fusarium oxysporum*, *Erwinia* sp., and *Ralstonia solanacearum* was subsequently analyzed through in vitro assays. The results indicated that *T. harzianum* and *T. atroviride* showed high efficacy in inhibiting the development of *Erwinia* and *Ralstonia*, while *T. asperellum* presented a lesser antagonistic effect. Among the strains studied, *T. harzianum* stood out for its greater capacity to inhibit the growth of pathogens, demonstrating its potential as a biocontrol agent for banana diseases. The use of *Trichoderma* strains as biological control agents represents a sustainable alternative to the excessive use of agrochemicals, which generates resistance problems in pathogens, affects soil microbial biodiversity, and pollutes the environment. In this sense, the study reaffirms the importance of promoting the use of native beneficial microorganisms as part of integrated strategies for more sustainable agriculture, especially for high-value crops such as bananas.

Keywords: antagonism, biological control, phytopathogens, banana

Artículo recibido 05 julio 2025

Aceptado para publicación: 25 julio 2025



INTRODUCCIÓN

La agricultura ha sido, desde los inicios de la civilización, una actividad esencial para el sustento humano y el desarrollo de las sociedades. Actualmente, continúa siendo un pilar fundamental para la seguridad alimentaria global, la reducción de la pobreza y el crecimiento económico, especialmente en países en vías de desarrollo, donde millones de pequeños productores dependen del campo (FAO, 2021). Dentro de este amplio sector, los cultivos frutales han cobrado relevancia por su contribución a la diversificación de la producción agrícola y al comercio internacional. Así, el banano se ha consolidado como uno de los frutales de mayor importancia a nivel mundial, tanto por su alta demanda en el comercio internacional como por el rol crucial que desempeña en la generación de empleos y en el impulso de la economía en países tropicales (Rey y Martínez, 2021).

En Ecuador, este cultivo representa uno de los principales productos agrícolas de exportación, consolidándose como el segundo rubro no petrolero más importante del país y cubriendo aproximadamente el 29 % del mercado internacional (León et al., 2023). En este contexto, la provincia de El Oro destaca como una de las mayores zonas productoras, con un impacto notable en la economía nacional (MAG, 2020). Sin embargo, este cultivo enfrenta amenazas fitosanitarias persistentes que comprometen su sostenibilidad.

Entre los patógenos más agresivos que atacan al banano se encuentran el hongo *Fusarium oxysporum* Raza Tropical 4, un patógeno que presenta en el suelo un largo periodo de resistencia, que infecta al xilema, provoca el marchitamiento y causa la muerte de la planta (Magdama, 2019). También se encuentran enfermedades bacterianas como la pudrición acuosa, causada por el género *Erwinia*, que afecta tejidos vegetales, provocando su descomposición y generando pérdidas en la calidad y cantidad de la fruta. Estudios realizados en zonas productoras del país han identificado la presencia de esta bacteria como agente patógeno en plantaciones de banano, incluyendo la provincia de El Oro (Escobar et al., 2023).

Otra fitopatología de origen bacteriano que afecta al cultivo es el moko, causada por *Ralstonia solanacearum* Raza 2, que se presenta mediante una marchitez, necrosis vascular y muerte de la planta. Esta enfermedad es de alta preocupación pues representa una amenaza significativa para la producción y exportación de las musáceas (Agrocalidad, 2022).



Tradicionalmente, las alternativas de control de las enfermedades se han sustentado en la utilización intensiva de agroquímicos, lo que ha derivado en problemas como la resistencia de los patógenos, daños ambientales y presencia de residuos en el producto final.

Frente a esta situación, el uso de agentes de control biológico surge como una alternativa viable y sostenible, puesto que estudios científicos muestran que estos agentes, que incluyen microorganismo como bacterias, hongos y virus benéficos, ejercen efectos inhibitorios o antagónicos contra los patógenos (Smith et al., 2020).

Dentro de estos agentes, el género *Trichoderma* spp., presente de forma natural en los suelos agrícolas, es capaz de colonizar la rizosfera de manera eficiente. Actúa como biocontrolador y se destaca por la combinación de estrategias que incluyen micoparasitismo, antibiosis, competencia por nutrientes y espacio, y la inducción de defensas sistémicas en la planta (Manzar et al., 2022). Su uso ha demostrado resultados positivos en diversos cultivos; sin embargo, su eficacia depende de la cepa utilizada y las condiciones agroecológicas específicas del lugar (Yao et al., 2023).

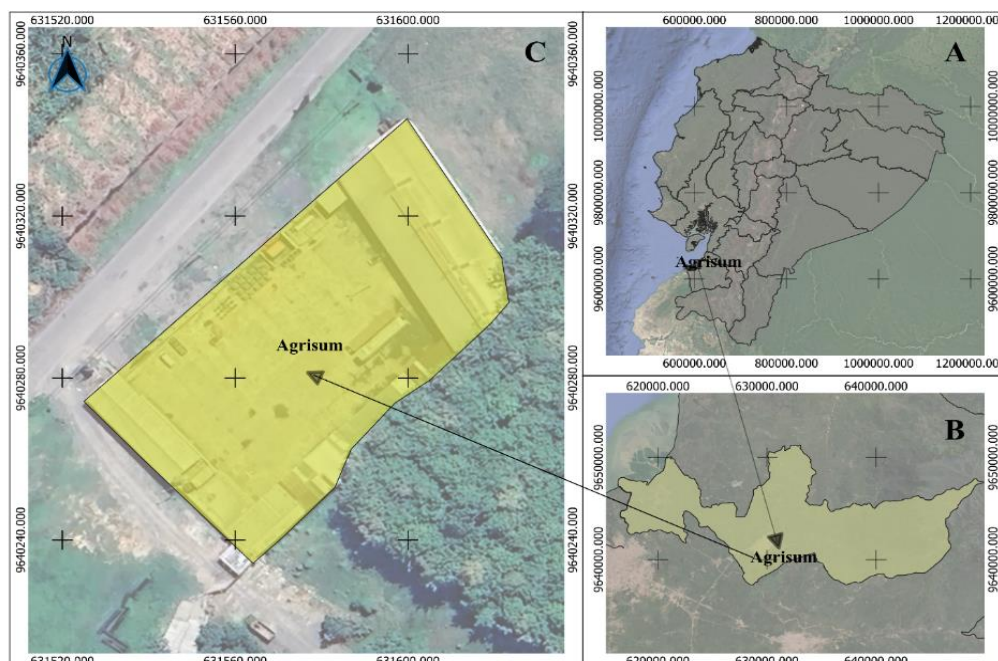
En este contexto, la identificación y análisis funcional de cepas nativas de *Trichoderma* spp. representa una necesidad urgente para el desarrollo de estrategias de manejo biológico adaptadas a las condiciones locales.

Por tanto, este estudio tiene como objetivos caracterizar de forma taxonómica, a través de claves morfológicas, tres accesiones de *Trichoderma* spp., capturadas en la provincia de El Oro, y evaluar su acción antagónica in vitro, con el fin de ofrecer una alternativa viable y sostenible que contribuya a reducir el impacto de enfermedades y fortalecer la producción agrícola.

METODOLOGÍA

Esta investigación se realizó en el Departamento de Investigación y Desarrollo de Tecnologías Agrícolas y Biológicas (DITABA), correspondiente a la empresa AGRISUM ubicado en El Vergel, Km. 1,5, vía El Guabo – Pasaje, cuyas coordenadas geográficas son: 3°14'12" S y 79°49'06" W (Figura 1).

Figura 1 Mapa de ubicación del área de estudio.

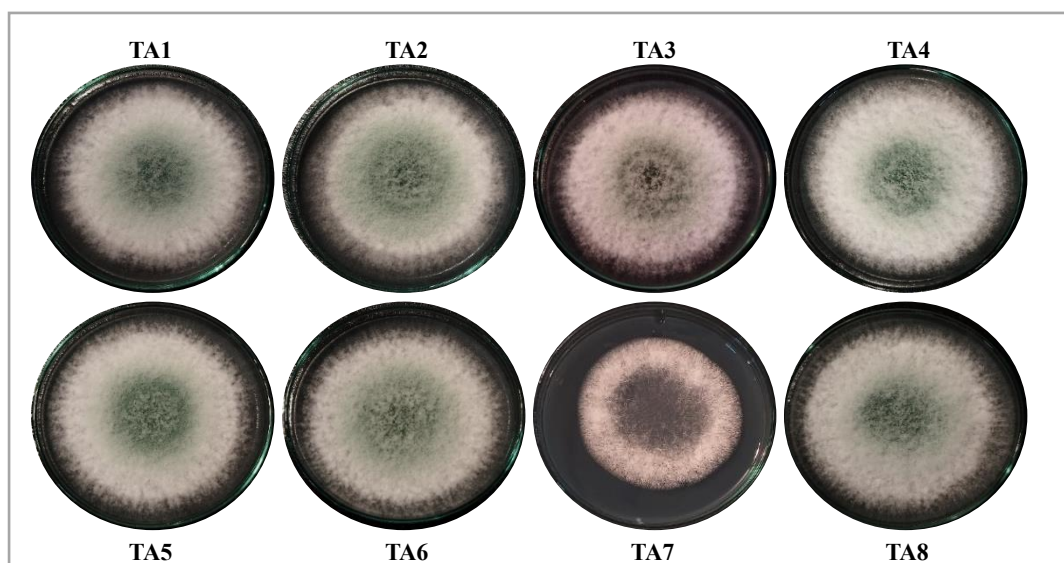


A continuación, se explica con detalle los métodos utilizados, que abarca tanto la preparación de los medios de cultivo, como la identificación de los microorganismos mediante el uso de microscopio, la caracterización de las cepas, la ejecución de las pruebas de antagonismo y el procedimiento estadístico.

Obtención de las cepas de *Trichoderma* spp.

Se utilizaron ocho aislados de *Trichoderma* spp. sin identificación, provenientes del Laboratorio de Agrisum (DITABA) los cuales fueron recolectados de diferentes muestreos realizados en fincas bananeras en El Oro, Ecuador (Figura 2).

Figura 2. Colonias de las ocho cepas de *Trichoderma* spp., en medio de cultivo PDA.



Purificación de cepas

Se purificaron las cepas de *Trichoderma* spp. en un medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA). Para su preparación, se disolvieron 10,14 g del medio y 0,01 g de cloranfenicol en pastilla en 260 ml de agua destilada. La mezcla fue esterilizada en un autoclave automático a 125 °C, lo que garantiza la eliminación de bacterias y otras posibles contaminaciones. Posteriormente, en una cámara de flujo laminar, se dispensaron 15 ml del medio en cajas Petri, para luego solidificarse durante 15 minutos bajo exposición a luz ultravioleta (UV).

La siembra de las diferentes cepas de *Trichoderma* spp. se realizó mediante la técnica de punción, conforme a la metodología descrita por Alma et al. (2010). Con un asa de punta, se extrajo un fragmento del hongo y se inoculó en el centro de cada caja Petri con medio solidificado. Este procedimiento se repitió para todas las cepas analizadas.

Caracterización morfológica macroscópica

Una vez purificadas las cepas de *Trichoderma* spp., se agruparon las cajas Petri que presentaban características morfológicas similares, con base en criterios como la pigmentación de las esporas, el tiempo de expansión del micelio, así como la formación y tamaño de anillos concéntricos. A partir de esta clasificación, se identificaron tres grupos distintos de cepas con rasgos morfológicos comunes.

Caracterización morfológica microscópica

Para la caracterización microscópica, se extrajo un fragmento del micelio de cada cepa de *Trichoderma* spp. directamente desde las cajas Petri, mediante el uso cinta adhesiva transparente. El fragmento se colocó sobre un portaobjetos sin ningún tipo de coloración adicional y se observó de forma directa bajo un microscopio óptico, utilizando aumentos de 4x.

Durante la observación, se analizaron estructuras características del género, como conidióforos, fiálides, conidios e hifas. Las características morfológicas observadas en cada cepa se compararon con las descripciones taxonómicas disponibles en la literatura especializada, lo que permitió identificar diferencias entre los aislados y realizar su correspondiente caracterización microscópica.

Pruebas de antagonismo

Para las pruebas de confrontación entre hongos, se empleó la técnica de punción adaptada de Alma et al. (2010).



El ensayo se realizó en cajas Petri con 15 ml de medio Papa Dextrosa Agar (PDA) previamente solidificado. En un extremo de la placa se inoculó por punción el patógeno (*F. oxysporum*), y en el extremo opuesto se inoculó la cepa antagonista *Trichoderma* spp. Las placas fueron incubadas a 28 °C durante seis días.

El crecimiento radial del micelio se midió a los seis días desde la siembra inicial y se registró su avance. Luego se calculó el porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR), mediante la fórmula $PICR = (R1 - R2) / R1 \times 100$ (Ezziyyani et al., 2004), donde R1 es el crecimiento radial del hongo en el control (sin confrontación) y R2 es el crecimiento radial en presencia del antagonista.

Para evaluar el antagonismo entre *Trichoderma* spp. y bacterias fitopatógenas (*Erwinia* sp. y *R. solanacearum*), se adaptó el protocolo descrito por Rojas et al. (2017). Se prepararon diluciones bacterianas ajustadas a 10^8 UFC·ml⁻¹. Se aplicaron 0,1 ml de la suspensión en cajas Petri con 15 ml de medio Papa Dextrosa Agar (PDA), y la distribución sobre la superficie del medio se realizó de forma uniforme con un asa de Drigalski. Luego, las cajas se dejaron en reposo durante 15 minutos para permitir la adhesión y el inicio de la proliferación de las bacterias antes de la inoculación del hongo.

Posteriormente, se inoculó el antagonista en el centro de la placa mediante la técnica de punción (Alma et al., 2010), lo que permitió el contacto directo entre hongo y bacteria. Las placas se encubaron a 28 °C durante 6 días. Para la evaluación antagónica se utilizó una escala de valoración del grado de inhibición adaptada de Ezziyyani et al. (2004).

Tabla 1 Escala de valoración del grado de capacidad antagónica y potencial antagónico de cepas frente a patógenos.

Grado	Capacidad antagónica	Potencial antagónico
0	Ninguna invasión de la superficie de la cepa patógena.	Muy malo
1	¼ Invasión de la superficie de la cepa patógena.	Malo
2	½ Invasión de la superficie de la cepa patógena.	Deficiente
3	Total invasión de la superficie de la cepa patógena.	Bueno
4	Total invasión de la superficie de la cepa patógena y esporulación sobre ella.	Muy bueno

Diseño experimental y procedimiento estadístico

El diseño experimental empleado en este estudio fue completamente al azar (DCA) 3x3, desarrollado bajo condiciones homogéneas en laboratorio. Se evaluaron tres cepas de *Trichoderma* spp. frente a un patógeno fúngico (*F. oxysporum*) y dos bacterias fitopatógenas (*R. solanacearum* y *Erwinia* sp.), con el propósito de determinar su capacidad antagónica. Para cada combinación de interacción se realizaron tres repeticiones y se registró el porcentaje de inhibición variable dependiente. Los datos obtenidos del ensayo se sometieron a un análisis estadístico utilizando Análisis de Varianza (ANOVA) de un solo factor para determinar la significancia de las diferencias entre las cepas en cuanto a su efecto inhibitorio sobre cada patógeno. Se verificó el cumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene. Este supuesto se cumplió en *F. oxysporum* y *Erwinia* sp. (p-valor > 0,05); no obstante, *R. solanacearum* presentó heterogeneidad de varianzas (p-valor = 0,01). Por tanto, se aplicó la prueba de Tukey para la comparación de medias porque se encontraron diferencias significativas (p-valor ≤ 0,05). El procesamiento de datos se realizó utilizando el software estadístico R studio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización morfológica macro y microscópicamente de las cepas de *Trichoderma* spp.

La identificación de los aislados de *Trichoderma* spp., se basó en las características morfológicas macroscópicas y microscópicas de las colonias, donde se identificaron tres cepas. Las colonias de *Trichoderma asperellum* (TA1, TA2, TA6) lograron una expansión completa en la caja petri al quinto día e inició su esporulación al tercer día. Presentó de dos a tres anillos concéntricos delgados bien definidos, blancos (micelio) y verdes (conidias). Al sexto día, se observó una abundante presencia de metabolitos, los cuales cambiaron de color desde un tono amarillo hasta alcanzar una tonalidad verde oscuro.

Por otro lado, *Trichoderma harzianum* (TA3, TA4, TA5, TA8) inició la esporulación a los tres días, y su micelio alcanzó una expansión completa al quinto día. La esporulación presentó una apariencia aterciopelada en sus etapas tempranas. El micelio mostró un color blanco verdoso que luego pasó a verde oliva al llegar a la esporulación completa. Los halos fueron delgados y un poco algodonosos, con escasa presencia de metabolitos amarillos que, con el tiempo, adquirieron un tono verde. El micelio aéreo fue de color blanquecino.



La caracterización macroscópica de las cepas *T. asperellum* y *T. harzianum* realizada en este estudio evidenció un desarrollo rápido de colonias en medio PDA, lo cual coincide con los patrones de crecimiento típicos descritos para el género *Trichoderma*.

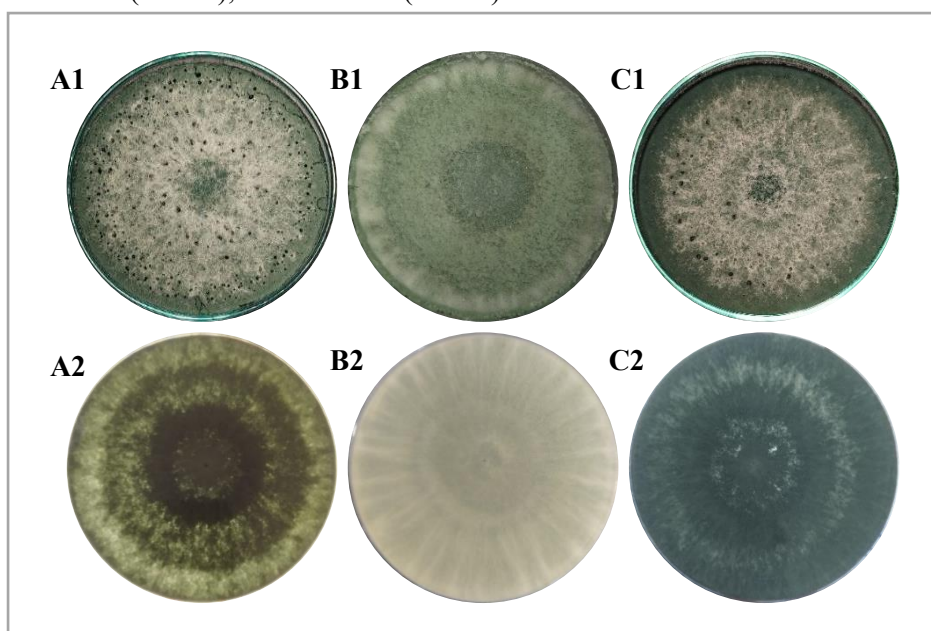
Las características observadas, como la velocidad de colonización, la textura superficial y la coloración de las colonias, muestran una alta concordancia con las descripciones detalladas en el manual práctico de Siddiquee (2022), en el que se documentan diversos géneros y especies tropicales del grupo. Estos rasgos morfológicos resultan fundamentales como criterio inicial para la identificación preliminar de cepas en condiciones de laboratorio, facilitando el reconocimiento de especies con potencial biotecnológico o fitosanitario.

Trichoderma atroviride (TA7) fue la cepa que mostró una rápida expansión del micelio, ya que alcanzó el diámetro completo de la caja Petri (4,2 cm) en cuatro días. Su esporulación a diferencia de *T. asperellum*, resultó ser lenta y presentó una tonalidad amarillenta, al igual que la pigmentación del medio difundida en el PDA.

Los halos céntricos son delgados y de color verde claro, con presencia de micelio aéreo blanquecino y de apariencia algodonosa. Esta colonia produce un olor característico a coco. Estos resultados coinciden con los descritos por Rodríguez (2019), quien documenta de manera detallada los rasgos distintivos de *T. atroviride*, como la textura, coloración y forma del micelio en medios de cultivo. Esta concordancia morfológica refuerza la identificación de la cepa y resalta la importancia del reconocimiento visual en estudios micológicos aplicados.

Además, esta cepa presenta un olor característico a coco, el cual también ha sido señalado en investigaciones previas. Este olor distintivo se añade a las características macroscópicas como una herramienta adicional para la identificación de la especie, facilitando su reconocimiento en condiciones naturales o de laboratorio (Cao et al., 2023) (Figura 3).

Figura 3 Cepas de *Trichoderma* en cajas Petri de lado anverso y reverso: *T. asperellum* (A1-A2), *T. atroviride* (B1-B2), *T. harzianum* (C1-C2).



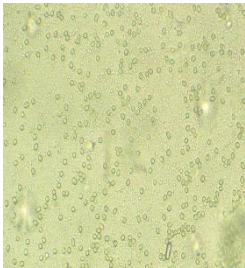
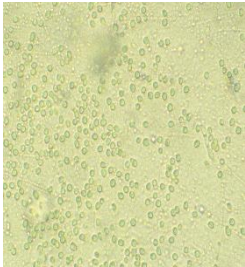
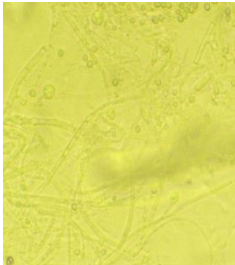
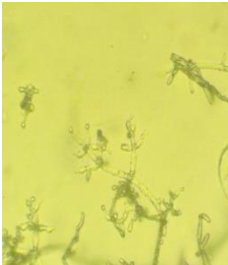
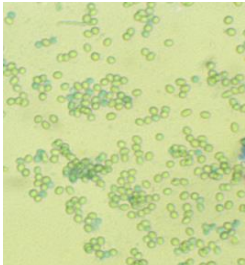
Bajo observación microscópica, *T. asperellum* presentó conidióforos con ramificación dicotómica repetida a lo largo de un eje principal, que forma una arquitectura arborescente o piramidal típica. En sus extremos se disponen fiálides en verticilos, de forma lageniforme, con una base ensanchada que se estrecha hacia el ápice. Estas fiálides originan conidios unicelulares, de forma subglobosa a elipsoidal, con paredes lisas y agrupados en masas compactas de color verde.

La estructura microscópica de *T. harzianum* observada, mostró hifas hialinas, septadas y de pared delgada, que forman un micelio aéreo ramificado; los conidióforos presentaron un patrón piramidal o dendrítico, con ramas primarias y secundarias que emergen respecto al eje principal. Las fiálides son ampuliformes, dispuestas en verticilos de 2 a 5 o de forma solitaria, y emergen perpendicularmente desde las ramas del conidióforo, Los conidios son globosos a subglobosos, y se agrupan en masas verdosas al final de las fiálides.

El análisis microscópico de las cepas *T. asperellum* y *T. harzianum* permitió identificar estructuras morfológicas distintivas que coinciden con las descripciones taxonómicas propuestas por Siddiquee (2022). Estas características resultan clave para una identificación más precisa entre especies morfológicamente similares y fortalecen la fiabilidad del diagnóstico basado en criterios microscópicos.

En cuanto a *T. atroviride*, su estructura microscópica, presenta conidios subglobosos que se originan de fiálides ampuliformes, delgadas, ligeramente curvadas hacia fuera, arqueadas en el ápice. Estos resultados coinciden con la descripción proporcionada por Cao et al. (2023), quienes señalan que la forma, tamaño y disposición de los conidios y fiálides son características clave para su diferenciación taxonómica dentro del género *Trichoderma* (Figura 4).

Figura 4 Caracterización microscópica de cepas de *Trichoderma* spp. a 4x.

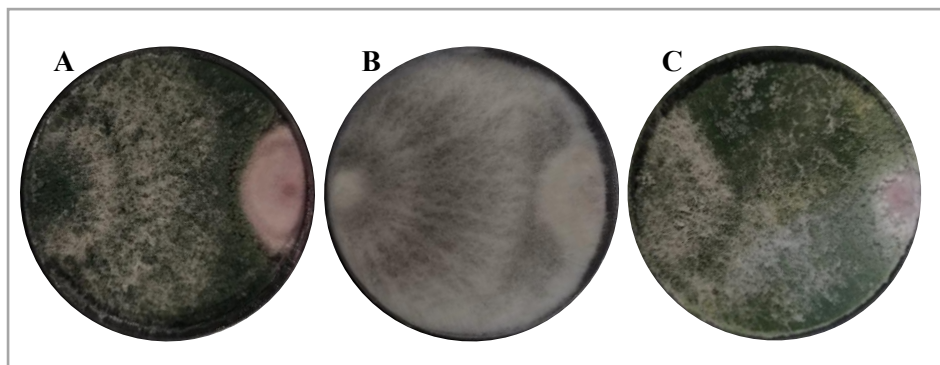
Cepas	Hifa	Conidióforo	Fiálide	Conidio
<i>T. asperellum</i>				
<i>T. atroviride</i>				
<i>T. harzianum</i>				

Pruebas de antagonismo

El procesamiento estadístico de los datos de porcentaje de inhibición de las cepas (TA2, *T. asperellum*; TA7, *T. atroviride*; y TA5, *T. harzianum*) sobre el crecimiento de los fitopatógenos (FOC – *F. oxysporum*, ESP - *Erwinia* sp., y RSM – *R. solanacearum*) evidenció diferencias en la capacidad de inhibición según la combinación cepa-patógeno evaluada. Para FOC, se observaron niveles de inhibición relativamente similares entre cepas, con valores promedio de 41,72 % para *T. atroviride*, 37,15 % para *T. harzianum* y 35,48 % para *T. asperellum*. Aunque *T. atroviride* presentó la mayor media

de inhibición, el análisis de varianza (ANOVA) no mostró diferencias estadísticas significativas entre las cepas ($F = 2,157$, $p\text{-valor} = 0,197$) (Figura 5).

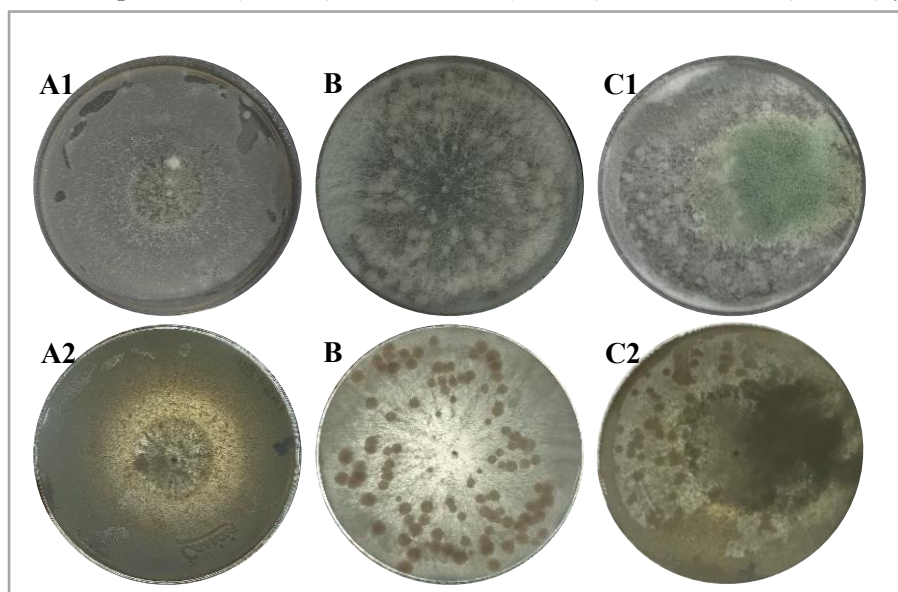
Figura 5 Prueba de antagonismo en medio PDA, observada en cajas Petri entre FOC y *T. asperellum*(A), *T. atroviride* (B), *T. harzianum* (C).



Resultados similares fueron obtenidos Guzmán et al. (2018), donde *T. atroviride* mostró un 50 % de inhibición en el cultivo de cebolla, siendo eficaz en reducir el inóculo primario e inhibir la producción de estructuras. Por otra parte, García (2006) evaluó diferentes cepas en cultivos simultáneos y registró que *T. harzianum* combate la enfermedad de *F. oxysporum* en un 30 % en el cultivo de tomate.

En el caso de ESP (*Erwinia* sp.), las cepas mostraron una inhibición más elevada en términos generales: *T. harzianum* alcanzó el 91,67 %, seguido de *T. asperellum* con 83,33 % y *T. atroviride* con 66,67 %. A pesar de estas diferencias, el ANOVA no indicó diferencias estadísticas significativas entre las cepas ($F = 2,333$, $p\text{-valor} = 0,178$) (Figura 6).

Figura 6 Prueba de antagonismo en medio PDA, observada en el lado anverso y reverso de la caja Petri, entre *T. asperellum* (A1, A2), *T. atroviride* (B1, B2), *T. harzianum* (C1, C2) y *Erwinia* sp.

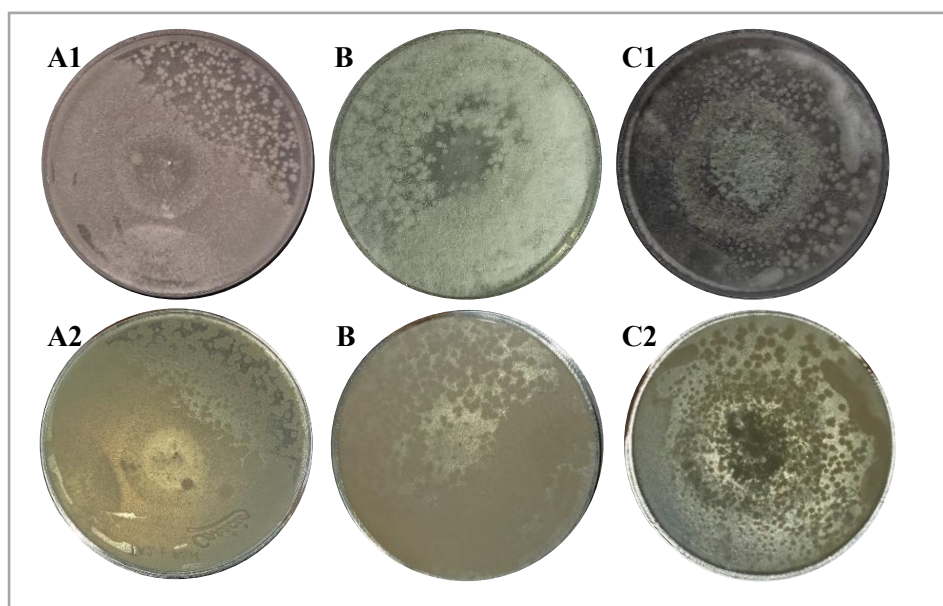


Estos resultados proponen que todas las cepas presentan un buen potencial de control frente a *Erwinia*, destacando especialmente a *T. harzianum* por su mayor efecto inhibitorio, ya que, no se observaron diferencias estadísticas significativas. En un estudio realizado por García (2006) en diferentes cultivos, se expone que *T. harzianum* obtuvo un 48 % de reducción de la enfermedad en el cultivo de plátano en comparación con el testigo evaluado.

Esto sugiere que *Trichoderma* genera metabolitos antifúngicos y antibacterianos, entre ellos las enzimas, que respaldan su capacidad de inhibir patógenos bacterianos.

Para RSM (*R. solanacearum*), la interacción con las accesiones de *Trichoderma spp.* mostró patrones más definidos en comparación con los otros fitopatógenos analizados. La inhibición media fue de 83,33 % para *T. harzianum*, 75,00 % para *T. atroviride* y 50,00 % para *T. asperellum* (Figura 7).

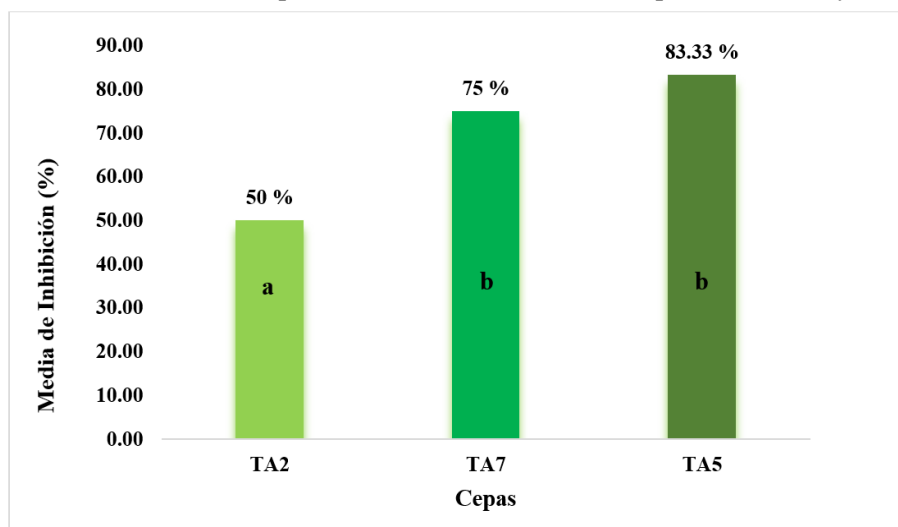
Figura 7 Prueba de antagonismo en medio PDA, observada en el lado anverso y reverso de la caja Petri entre *T. asperellum* (A1, A2), *T. atroviride* (B1, B2), *T. harzianum* (C1, C2) y *R. solanacearum*.



El análisis de varianza evidenció diferencias estadísticas significativas entre las cepas ($F = 13,000$, $p\text{-valor} = 0,007$).

Las pruebas post hoc de Tukey confirmaron que tanto *T. harzianum* como *T. atroviride* inhibieron significativamente más a *R. solanacearum* que *T. asperellum* ($p\text{-valor} \leq 0,05$) (Figura 8).

Figura 8 Gráfica del porcentaje de inhibición promedio de cepas de *Trichoderma* frente a *R. solanacearum* con comparación de medias mediante la prueba de Tukey.

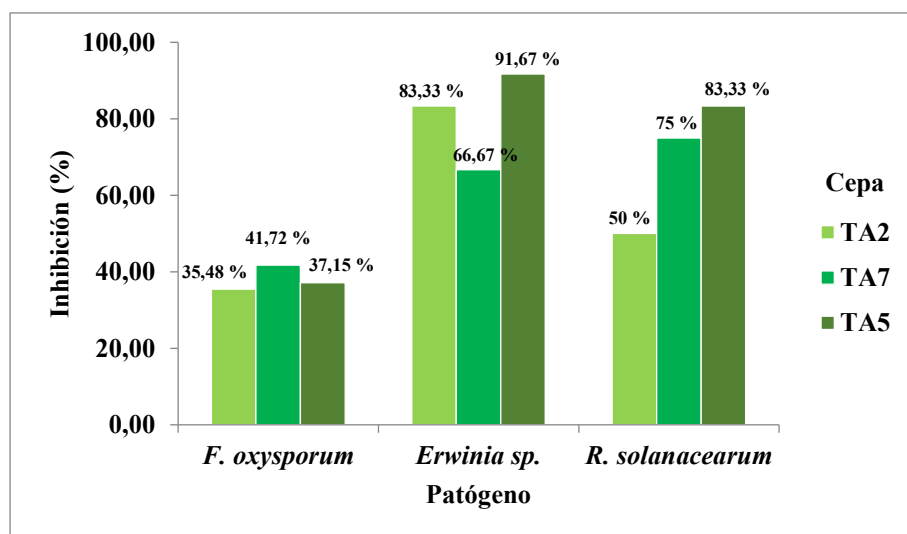


Nota: Letras diferentes difieren estadísticamente para un p-valor $\leq 0,05$.

Los datos obtenidos evidenciaron que *T. asperellum* mostró una eficacia significativamente reducida frente a *R. solanacearum*, mientras que *T. harzianum* y *T. atroviride* demostraron un mayor potencial como agentes biocontroladores para el manejo de esta enfermedad. Estos resultados son consistentes con estudios previos. Autores como Yan y Khan (2021) demostraron que los metabolitos de *T. harzianum* mostraban una fuerte actividad antibacterial frente a *R. solanacearum* in vitro y en plantas de tomate, incluyendo una zona de inhibición comparable a un antibiótico estándar. Los autores concluyen que estos metabolitos ofrecen una estrategia de control económica, amigable con el medio ambiente y eficaz frente a *R. solanacearum*.

Los resultados resumidos en la Figura 9 permiten visualizar de forma comparativa el comportamiento de cada cepa frente a los distintos patógenos, destacando especialmente el mayor porcentaje de inhibición de *T. harzianum* frente a *Erwinia* sp. y *R. solanacearum*, en contraste con la limitada eficacia de *T. asperellum* frente a estos. De acuerdo con Cao et al. (2023), *T. harzianum* presenta una actividad antagonista destacada en su capacidad para inhibir a los patógenos, este comportamiento puede estar relacionado con las propiedades fisiológicas y bioquímicas únicas de esta cepa, que incluyen la producción de metabolitos secundarios y enzimas hidrolíticas, como las quitinasas y las proteasas, que son capaces de descomponer las paredes celulares de los patógenos y, por lo tanto, inhibir su crecimiento.

Figura 9 Grafica de los porcentajes de inhibición de las cepas de *Trichoderma* frente a diferentes patógenos.



CONCLUSIONES

La caracterización taxonómica mediante claves morfológicas permitió la identificación de tres especies nativas de *Trichoderma*: *T. asperellum*, *T. harzianum* y *T. atroviride*, las cuales presentaron características diferenciales en cuanto a su patrón de crecimiento, esporulación, coloración del micelio y formación de estructuras reproductivas. Estas diferencias permitieron establecer parámetros específicos para su distinción e identificación precisa en laboratorio. Las evaluaciones in vitro evidenciaron actividad antagónica significativa frente a los fitopatógenos *Fusarium oxysporum*, *Erwinia sp.* y *Ralstonia solanacearum*, siendo *T. harzianum* y *T. atroviride* las cepas con mayor capacidad inhibitoria del crecimiento micelial de los patógenos, a través de mecanismos como la competencia por espacio y nutrientes, micoparasitismo y producción de metabolitos antifúngicos. En cambio, *T. asperellum* mostró una actividad moderada, con menor eficacia inhibitoria. En este contexto, los resultados obtenidos respaldan el uso potencial de estas cepas como agentes de control biológico viables, seguros y sostenibles. Esto representa una alternativa eficaz frente al uso intensivo de agroquímicos, cuya aplicación prolongada puede provocar resistencia en los patógenos, toxicidad ambiental y efectos negativos en la salud humana. De este modo, el estudio contribuye al desarrollo de estrategias más sostenibles y ecológicas para el manejo fitosanitario del cultivo de banano en la provincia de El Oro, Ecuador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario (Agrocalidad). (2022). *Plan de acción para el control de Ralstonia solanacearum raza 2 (Resolución DAJ-2022-1AD-0201.0072)*. Agrocalidad. Obtenido de <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2022/06/DAJ-20221AD-0201.0072.pdf>
- Alma, K., Blanca, N., & Maritza, P. (2010). Determinación de la actividad enzimática de lacasas y lignina peroxidasas de hongos degradadores de colorantes seleccionados para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil. *Laboratorio de microbiología, escuela politécnica del ejército, México*. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5269/1/AC-BIO-ESPE-033267.pdf>
- Cao, Z.-J., Zhao, J., Liu, Y., Wang, S.-X., Zheng, S.-Y., & Qin, W.-T. (2023). Diversity of Trichoderma species associated with green mold contaminating substrates of Lentinula edodes and their interaction. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1288585. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1288585>
- Escobar, G., Vásquez, D., & Moreira, A. (2023). *Caracterización de bacterias fitopatógenas en plantaciones de banano en El Oro*. Universidad de Guayaquil. Obtenido de <https://repositorio.ug.edu.ec/items/a21f34b2-dfc0-49d2-bff1-3589823b870b>
- Ezziyyani, M., Pérez, S.C., Requena, M.E., Rubio, L. & Candela, M.E. (2004). Biocontrol por *Streptomyces rochei* –Ziyani–, de la podredumbre del pimiento (*Capsicum annuum* L.) causada por *Phytophthora capsici*. *Anales de Biología* 26: 69-78. Consultado 20 nov. 2012. Obtenido desde: <http://www.um.es/analesdebiologia/numeros/26/PDF/08- BIOCOTROL.pdf>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021). *The state of food security and nutrition in the world 2021: Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb4474en>
- García, R., Riera, R., Zambrano, C. y Gutiérrez, L. (2006). Desarrollo de un fungicida biológico a base de una cepa del hongo *Trichoderma harzianum* proveniente de la región andina venezolana. *Fitosanidad*, 10(2), 115-121. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209116102005>



- Guzmán, A. M., Riera, L. M., Defagot, M. C., & Otero, M. L. (2018). Evaluación de cepas nativas de *Trichoderma* spp. para el control biológico de *Fusarium oxysporum* en cebolla (*Allium cepa* L.). *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 44(3), 279–288. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Recuperado de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/115179>
- León, J. P., Espinosa, M. A., Carvajal, H. R., & Quezada, J. (2023). 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
- Magdama, F. (2019). Fusarium Oxysporum - El Hongo más temido en la industria del banano. *Revista Científica Ecuatoriana*, 6(1), 19-22. <https://doi.org/https://revistaecuadorestabilidad.agrocalidad.gob.ec/revistaecuadorestabilidad/index.php/revista/article/view/61/137>
- Manzar, N., Kashyap, A. S., Goutam, R. S., Rajawat, M. V., Sharma, P. K., Sharma, S. K., & 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/https://doi.org/10.3390/su141912786>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2020). *Informe del sector bananero ecuatoriano*. <https://www.agricultura.gob.ec>
- Rey, J., & Martínez, G. (2021). Bananos (Musa AAA): Importancia, producción y comercio en tiempos de Covid-19. *Agronomía Mesoamericana*, 32(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.15517/am.v32i3.43610>
- Rodríguez, D., & Wong, A. (2020). Efectividad a nivel in vitro Trichoderma spp. nativos. *Agronomía Costarricense*, 44(2), 109-125. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242020000200109
- Rodríguez, M. T. (2019). *Trichoderma atroviride*. Catálogo de Hongos Controladores. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.



https://virtual.cuautitlan.unam.mx/agrounam/Fitopatologia/Catalogo_hongos_controladores/pdf/1-Trichoderma_atroviride.pdf

Siddiquee, S. (2017). *Practical handbook of the biology and molecular diversity of Trichoderma species from tropical regions*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-64946-7>

Smith, J., Wang, Y., & Johnson, L. (2020). Biological control agents in sustainable agriculture: a review. *Biological Control*, 150(104347).

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104347>

Yan, L., & Khan, R. A. A. (2021). Biological control of bacterial wilt in tomato through the metabolites produced by the biocontrol fungus, *Trichoderma harzianum*. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31, 5. <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00351-9>

Yao, X., Guo, H., Zhang, K., Zhao, M., Ruan, J., & & Chen, J. (2023). Trichoderma and its role in biological control of plant fungal and nematode disease. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1160551. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1160551>

