

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

ANÁLISIS DEL MICROBIOTA EXISTENTE EN EL CULTIVO DE BANANO EN LA AGRÍCOLA XAVIER EUCLIDES

**ANTAGONISTIC ACTIVITY OF NATIVE AND COMMERCIAL
STRAINS OF TRICHODERMA SPP. AGAINST THE FUNGUS
COLLETOTRICHUM SP., ISOLATED FROM CACAO PODS AT THE
SANTA INÉS FARM**

Sergio Joel Zaruma Valverde

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

Carlos Ronaldo Macias Tandanzo

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

Sayda Noemi Herrera Reyes

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

Edwin Edison Jaramillo Aguilar

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

Alexander Moreno Herrera

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i4.19128

Actividad Antagónica de Cepas Nativas y Comerciales de *Trichoderma* SPP., Frente al Hongo *Colletotrichum* Sp., Aislado de Mazorcas de Cacao

Sergio Joel Zaruma Valverde¹szarumal@utmachala.edu.ec<https://orcid.org/0009-0004-9163-6094>Universidad Técnica de Machala
Ecuador**Carlos Ronaldo Macias Tandanzo**cmacias2@utmachala.edu.ec<https://orcid.org/0009-0001-5557-914X>Universidad Técnica de Machala
Ecuador**Sayda Noemi Herrera Reyes**sherrera@utmachala.edu.ec<https://orcid.org/0000-0002-7226-5345>Universidad Técnica de Machala
Ecuador**Edwin Edison Jaramillo Aguilar**ejaramillo@utmachala.edu.ec<https://orcid.org/0000-0002-8241-9598>Universidad Técnica de Machala
Ecuador**Alexander Moreno Herrera**amoreno@utmachala.edu.ec<https://orcid.org/0000-0001-8898-4195>Universidad Técnica de Machala
Ecuador

RESUMEN

El hongo *Colletotrichum* sp., que causa la enfermedad antracnosis, representa una de las principales enfermedades del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), afectando significativamente la productividad de las mazorcas. Ante la necesidad de estrategias sostenibles de control, el presente estudio se evaluó la actividad antagonista de cepas nativas y comerciales de *Trichoderma* spp. frente a *Colletotrichum* sp. aislado de mazorcas infectadas, en condiciones de laboratorio. Las muestras se recolectaron en la Granja Santa Inés (Machala, Ecuador), se realizaron ensayos de cultivo dual y pruebas con cajas Bipetri para analizar el efecto inhibitorio por contacto directo y por compuestos volátiles. Los tratamientos incluyeron enfrentamientos entre patógeno y antagonistas (T1–T4), así como controles con antagonistas entre sí y patógeno solo (T5–T9). Se evaluó el porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR), observándose que las cepas nativas (especialmente *T. harzianum* y cepa Bosque 2) mostraron un mayor efecto antifúngico que las comerciales, principalmente mediante parasitismo. El análisis estadístico mediante la prueba de Kruskal-Wallis reveló diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Los resultados confirman que las cepas nativas de *Trichoderma* spp. presentan un alto potencial como agentes de biocontrol, al combinar mecanismos como el micoparasitismo, y competencia por nutrientes. Se concluye que estas cepas nativas constituyen una alternativa eficaz, ecológica y viable para el manejo integrado de la antracnosis en cacao.

Palabras clave: colletotrichum, trichoderma spp., cacao, antagonismo, control biológico

¹ Autor principal

Correspondencia: szarumal@utmachala.edu.ec

Antagonistic Activity of Native and Commercial Strains of *Trichoderma* spp. Against the Fungus *Colletotrichum* sp., Isolated from Cacao Pods at the Santa Inés Farm

ABSTRACT

The fungus *Colletotrichum* sp., which causes anthracnose disease, is one of the main threats to cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivation, significantly affecting pod productivity. In response to the need for sustainable control strategies, this study evaluated the antagonistic activity of native and commercial strains of *Trichoderma* spp. against *Colletotrichum* sp. isolated from infected pods, under laboratory conditions. Samples were collected at the Santa Inés Farm (Machala, Ecuador), and dual culture assays and Bipetri dish tests were conducted to analyze inhibitory effects through direct contact and volatile compounds. Treatments included confrontations between the pathogen and antagonists (T1–T4), as well as controls with antagonists alone and the pathogen alone (T5–T9). The percentage of radial growth inhibition (PRGI) was evaluated, revealing that native strains particularly *T. harzianum* and strain "Bosque 2" exhibited greater antifungal effects than commercial strains, mainly through parasitism. Statistical analysis using the Kruskal-Wallis test showed significant differences ($p < 0.05$) between treatments. The results confirm that native *Trichoderma* spp. strains have strong potential as biological control agents, combining mechanisms such as mycoparasitism and competition for nutrients. It is concluded that these native strains represent an effective, ecological, and viable alternative for the integrated management of anthracnose in cacao.

Keywords: colletotrichum, trichoderma spp., cacao, antagonism, biological control

Artículo recibido 05 julio 2025

Aceptado para publicación: 25 julio 2025



INTRODUCCIÓN

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) representa un pilar fundamental en la economía de países tropicales como Ecuador, tanto por su aporte al producto interno bruto como su capacidad de generar empleo en zonas rurales. Los principales países cacaoteros como, Costa de Marfil, que genera 2 377 442 toneladas (t), es el líder mundial en la obtención de este fruto, seguido por Ghana con 653 700 t, Indonesia, Ecuador, Brasil, Camerún y Nigeria también son contribuyentes claves y significativos al mercado global del cacao (FAO, 2023).

Ecuador se posiciona como uno de los mayores productores y exportadores de cacao “fino de aroma”, con una participación del 62 % en el mercado mundial de este tipo de grano (Alcívar Córdova et al., 2021). En Ecuador, el cultivo de cacao ha demostrado una notable expansión en los últimos años, con incrementos sostenidos en producción y exportación; en 2019 se registraron más de 315 000 t generadas y más de 720 millones de dólares se generaron por exportación (Cedeño Coll & Dilas Jiménez, 2022). En el primer trimestre de 2025, se exportó 139 000 t, e ingresó USD 1 333 millones, lo que significa un aumento del 161 % en valor comparado con 2024 (Banco Central del Ecuador, 2025).

Sin embargo, la cadena productiva enfrenta desafíos fitosanitarios graves, entre las que destaca la enfermedad antracnosis, causada por especies del género *Colletotrichum sp.* (*C. sp.*), particularmente *C. gloeosporioides*, esta patología se caracteriza por la formación de manchas rojizas en el follaje y en los frutos (mazorcas), disminuye el rendimiento y la calidad del grano cosechado debido a la degeneración de los tejidos vegetales (Gonzalez Ruiz, 2019).

El género *C. gloeosporioides*, es una enfermedad destructiva, este patógenos de amplia distribución geográfica y capaz de generar pérdidas post-cosecha de hasta el 100% si no se implementan estrategias de manejo integrado que incluyan prácticas culturales adecuadas, el uso de variedades resistentes, la aplicación de fungicidas específicos y, crucialmente, el manejo sostenible mediante el uso de microorganismos benéficos para el control biológico (Infante Martínez & Martínez Coca, 2020).

Diversas investigaciones han demostrado que *Colletotrichum sp.* se encuentra ampliamente distribuido en frutos como el mango, guanábana, aguacate y cacao, entre otros árboles frutales. Posee mecanismos de reproducción sexual y asexual altamente eficientes, lo que favorece su diseminación en condiciones cálidas y húmedas (Pabon Montoya et al., 2024; Mendoza Merino, 2022).



Frente a este desafío, se ha promovido el uso de hongos antagonistas como alternativa sostenible al control químico, destacando el género *Trichoderma* sp. (*T. sp.*) por su capacidad de inhibir el desarrollo de patógenos a través de mecanismos como el micoparasitismo, la competencia por espacio y nutrientes, la producción de metabolitos volátiles y la síntesis de enzimas líticas (Hernández Morales et al., 2021). El género *T. sp.* ha sido identificado como parte del microbiota benéfica presente en suelos cultivados con cacao, donde coexiste con hongos fitopatógenos como *Fusarium* spp., *Rhizoctonia* spp. y *Colletotrichum* spp., estableciendo un equilibrio biológico que puede ser aprovechado en estrategias de manejo integrado (Castrillón Molina et al., 2023).

Particularmente, en condiciones de vivero, se ha observado que la combinación de cepas de *T. harzianum*, *T. asperellum* y *T. viride* mejora no solo la sanidad del sistema radicular de las plántulas de cacao, sino también su desarrollo morfológico, evidenciándose incrementos significativos en altura, biomasa radicular, número de hojas y grosor del tallo (Rojas Flores et al., 2025).

En cultivos de guanábana y tabaco se ha demostrado efectividad al implementar el uso de cepas nativas y comerciales de *T. sp.* frente a una amplia gama de fitopatógenos, como *Fusarium* spp., *Pestalotiopsis* spp. y *Colletotrichum gloeosporioides*, con porcentajes de inhibición superiores al 70% en condiciones de cultivo dual in vitro (Cambero Ayón et al., 2020; Ceiro Catasú et al., 2021). Así mismo, investigaciones realizadas en cultivos de café, camu camu y cacao han probado que cepas nativas y comerciales de *T. sp.* son capaces de reducir significativamente el crecimiento y virulencia de *C. sp.*, lo cual posiciona a estos organismos como agentes clave en los programas de manejo integrado de enfermedades (Peña Pasmíño et al., 2022; Rubio Sosa, 2023).

Entre las especies de *T. sp.* más utilizadas se encuentran *T. harzianum*, *T. asperellum* y *T. viride*, reconocidas por su eficacia como agentes de biocontrol en diversas formulaciones agrícolas (Allende Molar et al., 2022). Un estudio realizado en Santo Domingo, Ecuador, indicó que cepas nativas de *T. harzianum* presentaron porcentajes de inhibición superiores al 70 % frente a *C. sp.* en condiciones in vitro, lo que refuerza la viabilidad de su aplicación en campo como estrategia ecológica para el control de este fitopatógeno (Martínez Vaca, 2022).



Además, se evidencia que la producción de quitinasas y glucanasas por parte de *T. asperellum* y *T. inhamatum* está directamente correlacionada con su actividad antagonista, lo que refuerza su potencial como herramienta biotecnológica (Hernández Morales et al., 2021).

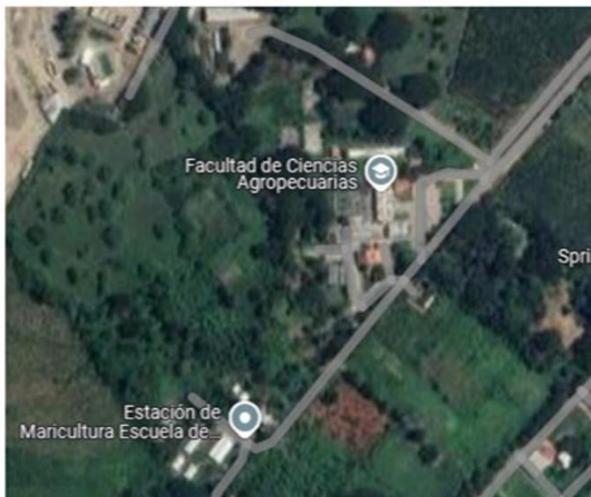
Estas especies son capaces no solo de suprimir el desarrollo del hongo fitopatógeno, sino también de inducir resistencia sistémica en la planta huésped. Estudios en filtrados de *T. inhamatum* lograron inhibiciones de hasta un 20% sobre *Colletotrichum* spp. aislado de cacao, destacando el potencial de estas cepas como alternativas sostenibles (Tenorio & Mollinedo, 2016). Además, en evaluaciones *in vitro* e *in situ*, de cepas de *T. asperellum* han mostrado eficacias superiores al 90% sobre diversos hongos patógenos (Infante et al., 2011). Igualmente, filtrados de *T. inhamatum* lograron inhibiciones de hasta un 20% sobre *Colletotrichum* spp. aislado de cacao, destacando el potencial de estas cepas como alternativas sostenibles (Tenorio & Mollinedo, 2016).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en la Granja Santa Inés, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA) de la Universidad Técnica de Machala (UTMACH). Esta se encuentra ubicada en el kilómetro 5.5 de la vía Machala–Pasaje, en la parroquia El Cambio, cantón Machala, provincia de El Oro, Ecuador. Su localización geográfica corresponde a las coordenadas 3°17'24.53" de latitud sur y 79°54'43.89" de longitud oeste, a una altitud de 5 msnm.

Figura 1. Imagen sacada de Google maps por satélite



Obtención del hongo *Colletotrichum* sp.(C. sp.)

El hongo *Colletotrichum* sp se obtuvo de mazorcas de cacao con síntomas visibles de infección, tales

como manchas húmedas, necrosis, esporulación y pudrición.

La colecta se realizó en la Granja Santa Inés, en la FCA-UTMACH, se seleccionaron mazorcas de cacao en etapa activa de la enfermedad, con síntomas visibles de infección, como manchas húmedas, necrosis, esporulación y pudrición, así mismo que contuvieran tejidos aún sanos. En laboratorio se procedió según la técnica de Trinidad Ángel et al., (2017)

Obtención de cepas nativas y comerciales de *Trichoderma* sp.

Para el aislamiento de cepas de *Trichoderma* sp., se colectaron cinco muestras de 100 g de suelo del bosque perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, a una profundidad de 0 a 15 cm. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio de sanidad vegetal, donde se homogeneizaron y extendieron para eliminar el material vegetal; posteriormente, se secaron al aire, molieron y tamizaron con tamices de malla de 2 mm, y se almacenaron a 4 °C hasta su procesamiento.

Para aislar *Trichoderma*, se siguió el protocolo propuesto por (Barbosa Bravim et al., 2021), con ciertas modificaciones (reemplazo del medio de cultivo Sabouraud con dextrosa por Papa Dextrosa Agar (PDA)) incluyendo los mismos antibióticos para inhibir el crecimiento de bacterias, luego se incubaron a una temperatura de 28 °C durante un período de 8 a 10 días.

Las cepas comerciales de *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma asperellum*. fueron proporcionadas por el laboratorio de sanidad vegetal y activadas mediante disoluciones seriadas en solución salina estéril al 0.9% para su posterior procesamiento igual al párrafo anterior.

Pruebas de patogenicidad

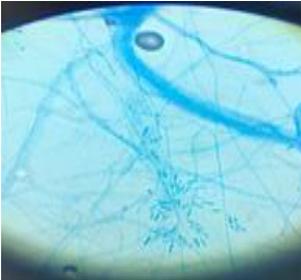
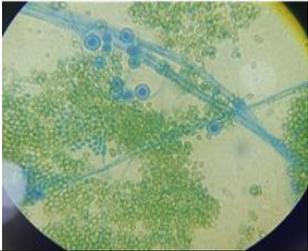
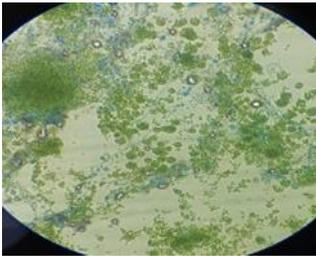
Se destinaron cuatro mazorcas de cacao fisiológicamente maduros para la experimentación, las mismas se encontraban libres de sintomatología de antracnosis, el protocolo de desinfección se realizó según la metodología empleada por Trinidad Ángel et al., (2017)

En la inoculación se realizaron cortes superficiales de aproximadamente 0.5 cm en la epidermis del fruto para colocar un fragmento de agar que contenía micelios del patógeno *Colletotrichum* sp. Este procedimiento se concretó en la cámara de flujo laminar, luego se colocaron las mazorcas en cámara húmeda estéril durante un periodo de 11 días para evaluar los síntomas y crecimiento del patógeno.

Identificación Taxonómica del *Colletotrichum* sp. y *Trichoderma* spp.



Tabla 1. Tabla descriptiva y taxonómica de los hongos patógenos y antagonistas.

Código	Imagen	Posible Especie	Autores
001-Cacao- CGleos-FCA.		<i>Colletotrichum</i> cf. <i>Gloeosporioides</i> Código: 001-Cacao- CGleos-FCA.	(Silva Neto et al., 2022) (Kimaru et al., 2018) (Méndez M. & Briceño R, 2017)
002-THarz- FCA		<i>Trichoderma</i> cf. <i>Harzianum</i> Código: 002-THarz- FCA	(Soltani Nezhad et al., 2024) (Barros Filizola et al., 2019)
003-THarz- Bosque		<i>Trichoderma</i> cf. <i>Harzianum</i> Código: 003-THarz- Bosque	(Bint-e-Zahira et al., 2024) (Jaiswal et al., 2025)

Control biológico

Cultivo dual

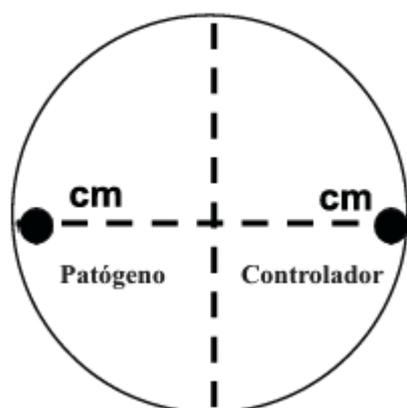
Para determinar cuáles de las cepas de *Trichoderma* sp., son las más efectiva para inhibir el crecimiento del *Colletotrichum* sp., se realizaron pruebas de enfrentamiento empleando la técnica de cultivo dual, el cual, consiste en enfrentar en una misma caja Petri al patógeno y al antagonista sobre un medio de cultivo, con el fin de observar interacciones como competencia por espacio, inhibición radial y micoparasitismo (Fernández Barbosa & Suárez Meza, 2009).

Para realizar esta técnica se elaboraron nueve tratamientos, con cuatro replicas (cajas Petri) por tratamiento (Tabla 2) (Figura 2).

Tabla 2. Tratamientos utilizados

Tratamientos	Descripción
T1	<i>T. asperellum</i> (comercial) & <i>Colletotrichum sp.</i>
T2	<i>T.harzianum</i> (comercial) & <i>Colletotrichum sp.</i>
T3	<i>T.harzianum</i> (nativa) & <i>Colletotrichum sp.</i>
T4	<i>Trichoderma</i> (nativa Bosque 2) & <i>Colletotrichum sp.</i>
T5	<i>Colletotrichum sp.</i> & <i>Colletotrichum sp.</i>
T6	<i>T. asperellum</i> & <i>T. asperellum</i> (comercial)
T7	<i>T.harzianum</i> & <i>T.harzianum</i> (comercial)
T8	<i>Trichoderma harzianum</i> (navita) & <i>Trichoderma harzianum</i> (navita)
T9	<i>Trichoderma</i> (nativa Bosque 2) & <i>Trichoderma</i> (nativa Bosque 2)

Figura 2. Líneas de medición para el crecimiento micelial del patógeno y controlador en placa Petri.



Al terminar de sembrar todos cultivos en las cajas Petri se colocaron en una incubadora a una temperatura de 28°C por 5 días. Permitiendo evaluar variables como el porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR), la competencia por espacio y nutrientes, y la manifestación de micoparasitismo, expresado mediante fenómenos como el enrollamiento o la penetración de las hifas del antagonista sobre las del patógeno (Medina Pinoargote, 2022). Se emplea la ecuación:

$$PICR = \frac{(R1 - R2)}{R1} \times 100$$

Donde, R1 es el radio del patógeno testigo y R2 es el radio del patógeno en enfrentamiento.

Determinación de componentes volátiles (caja bipetri)

Los metabolitos volátiles, también conocidos como compuestos orgánicos volátiles (COVs), son pequeñas moléculas producidas por microorganismos como hongos y bacterias, capaces de difundirse por el aire e influir en el crecimiento, desarrollo y comportamiento de otros organismos. Estos compuestos actúan como señales químicas en interacciones tróficas y ecológicas, lo que les confiere un gran potencial como herramientas en la agricultura sostenible, especialmente en el control biológico de fitopatógenos y en la promoción del crecimiento vegetal (Coconubo Guio et al., 2020).

Se utilizó cajas Bipetri, los cuales tienen dos compartimientos que nos permite comparar condiciones o muestra en una sola caja. El antagonista, *Trichoderma* sp. es reconocido como un agente de biocontrol ampliamente estudiado, gracias a su capacidad para inhibir patógenos mediante mecanismos como el micoparasitismo, la producción de enzimas hidrolíticas y compuestos volátiles, así como la competencia por espacio y nutrientes (Matas Baca et al., 2023). Se empleó los mismos tratamientos previamente establecido para el enfrentamiento en sistema de cultivo dual con la diferencia que se usó cajas bipetri, con el objetivo de garantizar la reproducibilidad y comparabilidad de los resultados obtenidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comparación del radio de crecimiento del antagonista (RCA) y el radio del crecimiento del patógeno (RCP).

Pasado los cinco días se compararon el RCP y del RCA por la competencia de nutrientes y espacio, donde el enfrentamiento de antagonista con el patógeno (T1 hasta T4), las cepas comerciales tuvieron un crecimiento promedio de 3.5 cm, mientras que las cepas nativas tuvieron un crecimiento promedio de 4.69 cm, mientras que el patógeno tuvo un crecimiento ilimitado en el cultivo dual, con un crecimiento promedio de 0.28 cm, muy diferente al testigo T5 con un crecimiento promedio de 1.78 cm, en los testigos T6, T7, T8 y T9 que son antagonistas aisladas con un crecimiento promedio de 2.5 cm, tomando en cuenta estos datos son de los cultivos en cajas Petri (Figura 3) (Figura 4).



Figura 3. Crecimiento radial del patógeno *Colletotrichum* spp., en cultivo duales, datos tomados a los 5 días.

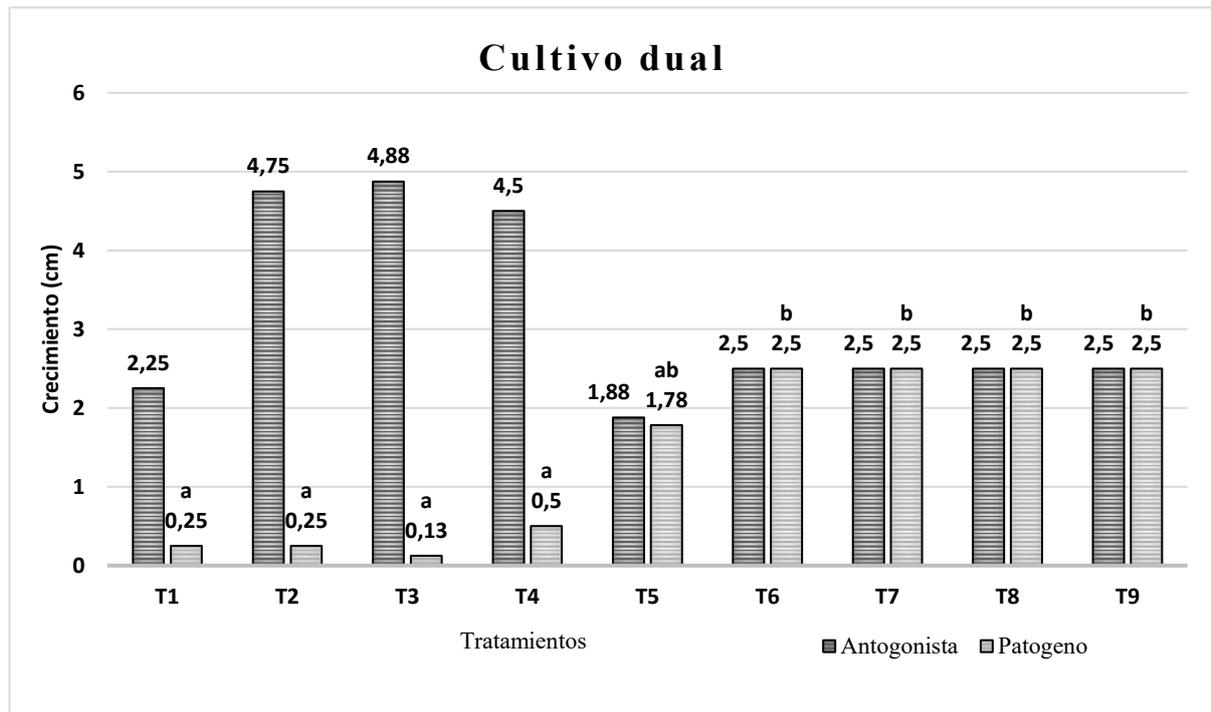


Figura 4. Crecimiento de cepas comerciales y nativas de *Trichoderma* spp., frente aislamiento del patógeno *Colletotrichum* sp., en cultivo duales, datos tomados a los 5 días.



Para los compuestos volátiles se usaron cajas bipetri (T1 al T4), las cepas comerciales tuvieron un crecimiento promedio de 4.31 cm, mientras que las cepas nativas tuvieron un crecimiento promedio de 4.62 cm, mientras que el patógeno tuvo un crecimiento promedio de 0.47 cm, muy diferente al testigo T5 con un crecimiento promedio de 1.75 cm y entre antagonistas en los tratamientos T6, T7, T8 y T9 presento un crecimiento promedio de 2.5 cm (Figura 5) (Figura 6).

Figura 5. Crecimiento radial de las cepas comerciales y nativas de *Trichoderma* spp., frente aislamiento del patógeno *Colletotrichum* sp., en cultivo duales en cajas Bipetri, datos tomados a los 5 días.

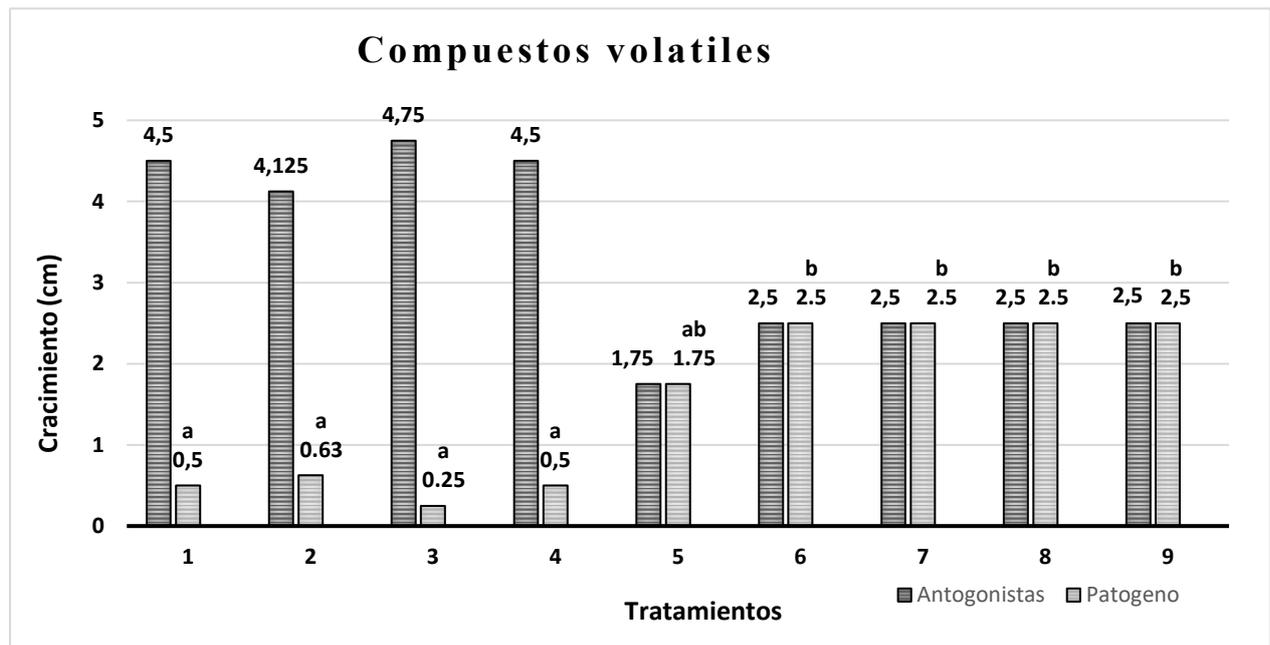


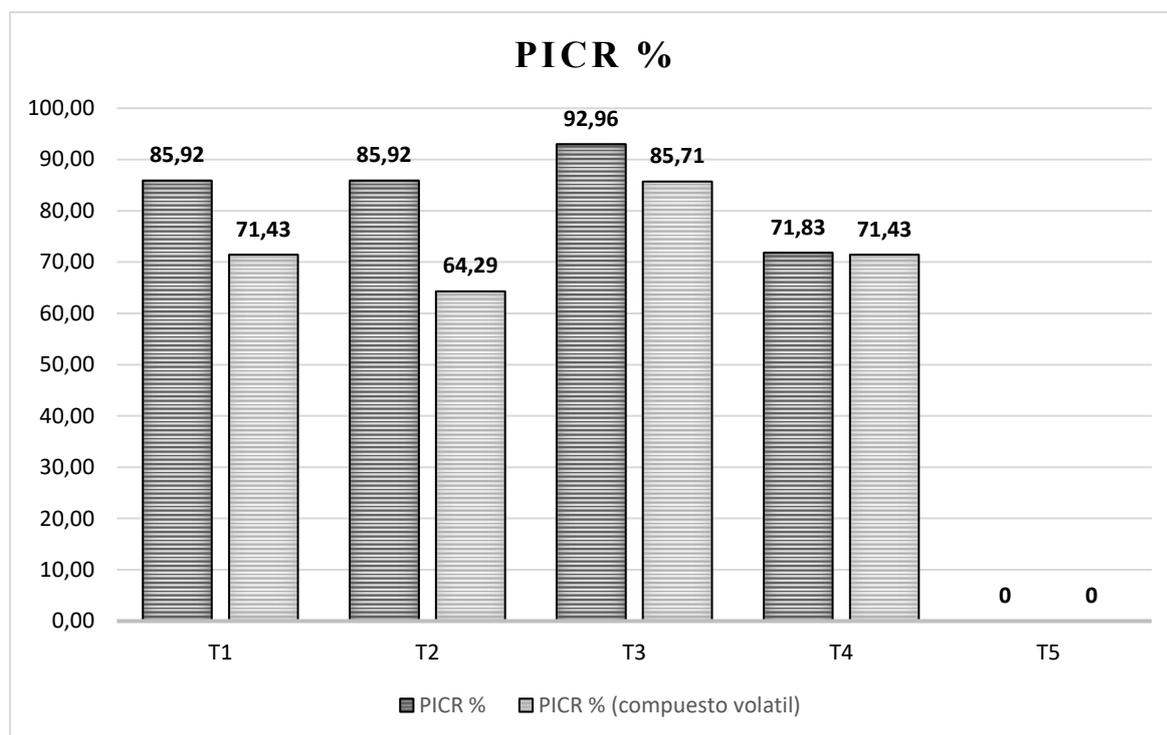
Figura 6. Antagonistas de compuestos volátiles de especies de *Trichoderma* aisladas con *Colletotrichum*, aislamiento entre antagonistas y entre patógenos



Análisis estadístico

Para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos aplicados en las pruebas de antagonismo, se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, adecuada para datos que no siguen una distribución normal. Esta prueba se aplicó tanto a los resultados obtenidos en los cultivos duales como en los compuestos volátiles, midiendo el porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR) y el comportamiento micelial del patógeno *Colletotrichum* sp. frente a cepas comerciales (*T. asperellum*, *T.harzianum*) y nativas de *Trichoderma* spp. (Figura 7).

Figura 7. Inhibición de crecimiento radial (PICR) en cultivos duales y compuestos volátiles de *Colletotrichum* sp con cepas comerciales (*T. asperellum*, *T.harzianum*) y nativas de *Trichoderma* sp.



La prueba de Kruskal-Wallis confirmó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), tanto en cultivos duales como en cultivos en cajas bipetri. Esto valida la superioridad de ciertos aislamientos de *Trichoderma* sp., en especial las cepas nativas, para el control de *Colletotrichum* sp. La metodología aplicada permitió identificar patrones de antagonismo consistentes, incluyendo micoparasitismo y competencia, observados como invasión del micelio del antagonista sobre el del patógeno se determinó que está en Grado 3 (Tabla 3).

Tabla 3. Escala creada por Elías y Arcos (1984) citada en Ezziyyani et al. (2004) para evaluación de la capacidad antagónica (micoparasitismo).

Grado	Capacidad antagónica
0	Ninguna invasión de la superficie de la colonia del hongo patógeno.
1	Invasión de $\frac{1}{4}$ de la superficie de la colonia del hongo patógeno.
2	Invasión de $\frac{1}{2}$ de la superficie de la colonia hongo patógeno.
3	Invasión total de la superficie de la colonia del hongo patógeno.
4	Invasión total de la superficie de la colonia del hongo patógeno esporulación sobre ella

Prueba de patogenicidad

Transcurrido 11 días se finalizó la prueba de patogenicidad al observar daños significativos en el fruto como manchas negras profundas, con borde definido, presencia de micelio algodonoso color blanco y grisáceo.

Figura 8. A) Inculcación del patógeno en la mazorca de cacao B) resultado pasado 11 días.



Evaluación del crecimiento radial en cultivos duales

Los resultados obtenidos demuestran la alta eficacia de las cepas nativas de *Trichoderma* sp., frente al crecimiento de *Colletotrichum* sp. en contacto directo en el cultivo dual, estas cepas superaron a las comerciales en términos de inhibición del crecimiento radial del patógeno. Esta superioridad puede atribuirse a una mayor capacidad de micoparasitismo, producción de metabolitos antifúngicos y competencia por espacio y nutrientes, como lo sugieren estudios previos (Hernández Morales et al., 2021; Tenorio y Mollinedo, 2016). Coincidiendo con lo reportado por (Martínez Vaca, 2022), quien observó inhibiciones superiores al 70 % con cepas nativas, esta investigación refuerza la viabilidad del uso de estos agentes en estrategias de manejo biológico. Las cepas comerciales registraron un crecimiento radial promedio de 3.5 cm, mientras que las cepas nativas superaron este valor con un promedio de 4.69 cm. En contraste, *Colletotrichum* sp. presentó un crecimiento limitado, alcanzando apenas 0.28 cm en condiciones de enfrentamiento, lo que contrasta con su desarrollo en los testigos sin antagonistas (T5), donde creció 1.78 cm. Esta diferencia evidencia la efectividad de las cepas de *Trichoderma* sp. para competir por espacio y nutrientes, confirmando su potencial como agentes de control biológico.

Los testigos de antagonistas enfrentados entre sí (T6 a T9) mostraron un crecimiento promedio de 2.5 cm, lo cual sugiere una coexistencia sin efectos inhibitorios significativos entre cepas de *Trichoderma* sp.. Estos resultados coinciden con lo reportado por Infante Martínez y Martínez Coca, (2020), quienes destacan la capacidad de *Trichoderma asperellum* y *T. harzianum* para limitar el desarrollo de *Colletotrichum* sp. en condiciones de cultivo dual.

Evaluación de compuestos volátiles en cajas Bipetri

En la prueba de compuestos volátiles, las cepas nativas y comerciales de *Trichoderma* spp. también mostraron una actividad antagonista significativa. Las cepas nativas alcanzaron un crecimiento promedio de 4.62 cm, y las comerciales de 4.31 cm, en tanto que el patógeno presentó un crecimiento de solo 0.47 cm. Este resultado evidencia el efecto inhibitorio ejercido por los metabolitos volátiles producidos por *Trichoderma* spp., fenómeno previamente documentado por Matas Baca et al., (2023) y Coconubo Guio et al., (2020), quienes resaltan el papel de los compuestos orgánicos volátiles (COVs) como inhibidores fúngicos. Asimismo, la efectividad demostrada en la producción de compuestos volátiles es consistente con lo señalado por Matas-Baca et al., (2023), quienes destacan su importancia en la inhibición a distancia de fitopatógenos.

La invasión micelial observada (grado 3) respalda el mecanismo de micoparasitismo como un factor clave en la antagonía, en línea con lo reportado por Fernández Barbosa & Suárez Meza, (2009) y Castrillón Molina et al., (2023). Este comportamiento reafirma la adaptabilidad y agresividad de las cepas nativas en condiciones competitivas. El testigo T5 (patógeno sin antagonista) mostró un crecimiento de 1.75 cm, lo cual refuerza la hipótesis de que la inhibición observada en los tratamientos activos se debe a la acción de los COVs producidos por *Trichoderma* sp.. Estos resultados validan el uso de cepas nativas como fuente de compuestos bioactivos de interés agrícola, siendo incluso más efectivos que las cepas comerciales en algunos casos.



Tabla 4 Análisis estadístico mediante la prueba de Kruskal-Wallis para evaluar la inhibición del crecimiento de *Colletotrichum* sp. por cultivo dual y compuestos volátiles de cepas de *Trichoderma* spp.

Tratamientos	Cultivo dual	Compuestos Volátiles
T1	0.25±0.50a	0.5±0.58a
T2	0.25±0.50a	0.63±0.75a
T3	0.13±0.25a	0.25±0.29a
T4	0.5±0.58a	0.50±0.58a
T5	1.78±1.78ab	1.75±0.29ab
T6	2.5±0.00b	2.5±0.00b
T7	2.5±0.00b	2.5±0.00b
T8	2.5±0.00b	2.5±0.00b
T9	2.5±0.00b	2.5±0.00b
p-valor	0.0001	0.0001

Los resultados muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos, destacando una mayor eficacia de las cepas nativas frente a las comerciales en la inhibición del patógeno.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demostraron que las cepas nativas y comerciales de *Trichoderma* sp. presentaron una alta capacidad antagonista frente al hongo *Colletotrichum* sp., aislado de mazorcas de cacao, siendo las cepas nativas significativamente más eficaces. Estas cepas lograron mayores porcentajes de inhibición del crecimiento radial (PICR) tanto en cultivos duales como en la emisión de compuestos volátiles, evidenciando un fuerte efecto antifúngico mediante mecanismos de mico parasitismo, competencia por nutrientes y producción de metabolitos secundarios. La prueba estadística de Kruskal-Wallis validó estas diferencias con un nivel de significancia estadística ($p < 0.05$), confirmando que el efecto observado no fue producto del azar. En consecuencia, se concluye que las cepas nativas de *Trichoderma* sp. representan una alternativa biotecnológica sostenible, eficaz y adaptada a las condiciones agroclimáticas locales para el manejo integrado del hongo fitopatógeno *Colletotrichum* sp. en cultivos de cacao. Además, su implementación podría reducir el uso de productos químicos sintéticos, disminuyendo los riesgos de resistencia fúngica y minimizando el impacto ambiental.



La utilización de biocontroladores locales también promueve prácticas agroecológicas y sostenibles en sistemas de producción de pequeña y mediana escala. Se recomienda continuar con estudios a campo para validar su eficacia en condiciones reales de cultivo y su impacto en la productividad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Trinidad Ángel, E., Ascencio Valle, F., Armando Ulloa, o., Ramírez Ramírez, o. C., Ragazzo Sánchez, J. A., Calderón Santoyo, M., y Bautista Rosales, P. U. (2017). Identificación y caracterización de *Colletotrichum* spp. causante de antracnosis en aguacate de Nayarit, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*(19), 3953-3964. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.664>
- Alcívar Córdova, K. S., Quezada Campoverde, J. M., Barrezueta Unda, S., Garzón Montealegre, V. J., y Carvaja Romero, H. (2021). Análisis económico de la exportación del cacao en el Ecuador durante el periodo 2014 – 2019. *Polo del conocimiento*, 6(3), 2430-2444. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2522>
- Allende Molar, R., Báez Parra, K. M., Salazar Villa, E., & Rojo Báez, I. (2022). BIODIVERSITY OF *Trichoderma* SPP. IN MEXICO AND ITS POTENCIAL USE IN AGRICULTURE. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(3). <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.4297>
- Banco Central del Ecuador*. (2025). Banco Central del Ecuador: <https://www.bce.fin.ec/>
- Barbosa Bravim, N. P., Ferreira Alves, A., França Orlanda, J. F., y Rodrigues Silva, P. B. (2021). Selection of filamentous fungi that are resistant to the herbicides atrazine, glyphosate and pendimethalin. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 43(1), e51656. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v43i1.51656>
- Barros Filizola, P. R., Cavalcanti Luna, M. A., Ferreira de Souza, A., Coelho, I. L., Laranjeira, D., y Campos Takaki, G. M. (2019). Biodiversity and phylogeny of novel *Trichoderma* isolates from mangrove sediments and potential of biocontrol against *Fusarium* strains. *Microbial Cell Factories*, 18(89), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s12934-019-1108-y>
- Bint-e-Zahira, S., Khalid, A. N., Yousaf, N., Iqbal, M., Anwar, T., Qureshi, H., . . . Ansari, M. J. (2024). Exploring *Trichoderma* Species in Industrial Wastewater: Morphological and Molecular Insights from Isolates. *Life*, 14(6), 750. <https://doi.org/10.3390/life14060750>



- Camero Ayón, C. B., Luna Esquivel, G., Rios Velasco, C., Estrada Virgen, O., Betancourt Aranguré, A., y Camero Campos, O. (2020). Evaluación in vitro de antagonistas contra patógenos de fruto de guanábana (*Annona muricata*L.) en Nayarit, México. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 42(2), e-147. <https://doi.org/10.1590/0100-29452020147>
- Castrillón Molina, N., Alvarez Pinzón, E. A., y Correa Rueda, L. (2023). Micobiota filamentosa en muestra de suelo cultivado en cacao *Theobroma cacao* L. *CITECSA*, 15(25), 5-20. Recuperado a partir de <https://unipaz.edu.co/revistas/revcitecsa/article/view/343>
- Cedeño Coll, E. P., & Dilas Jiménez, J. (2022). Producción y exportación del cacao ecuatoriano y el potencial del cacao fino de aroma. *Qantu Yachay*, 2(1), 8-14. <https://doi.org/10.54942/qantuyachay.v2i1.17>
- Ceiro Catasú, W. G., Vega González, Y., Taco Sánchez, M. E., Gaibor Fernández, R. R., & Sosa Sánchez, O. (2021). Antagonism of *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma viride* on isolates of *Fusarium* spp. from *Nicotiana tabacum*. *Revista De La Facultad De Agronomía De La Universidad Del Zulia*, 38(4), 867-886. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/36797>
- Coconubo Guio, L. C., Sinuco León, D. C., & Castellanos Hernández, L. (2020). Actividad fungicida de compuestos orgánicos volátiles de la bacteria *Paenibacillus* contra *Colletotrichum gloeosporioides*. *Revista Colombiana de Química*, 49(1), 20-25. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v1n49.81996>
- FAO. (2023). FAO: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Fernández Barbosa, R. J., & Suárez Meza, C. L. (2009). ANTAGONISMO IN VITRO DE *Trichoderma harzianum* Rifai SOBRE *Fusarium oxysporum* Schlecht f. sp. *passiforae* EN MARACUYÁ (*Passifora edulis* Sims var. *Flavicarpa*) DEL MUNICIPIO ZONA BANANERA COLOMBIANA. *Revista Facultad Nacional De Agronomía*, 62(1), 4743-4748. <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/download/24872/25404>
- Gonzalez Ruiz, A. (2019). HONGOS ASOCIADOS A LA PUDRICIÓN DEL CACAO *Theobroma cacao* L. EN EL SOCONUSCO, CHIAPAS Y PATOGENICIDAD Y CONTROL IN VITRO DE *Nodulosporium*. [Tesis postgrado, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO



<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/46232/Gonz%C3%A1lez%20Ru%C3%ADz%20Aide%C3%A9.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hernández Morales, J., Romero Rosales, T., Michel Aceves, A., Vargas Hernández, M., Monteon Ojeda, A., & Valenzuela Lagarda, J. (2021). Enzymatic antagonism of *Trichoderma* spp., on *hytophthora parasitica* and *Fusarium oxysporum* in jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Bioagro*, 33(3), 203-214. <https://doi.org/10.51372/bioagro333.6>

Infante Martínez, D., & Martínez Coca, B. (2020). Antagonismo de seis cepas de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg sobre *Colletotrichum* spp. *Revista de Protección Vegetal*, 35(3), 1-13. Disponible en: <https://censa.edicionescervantes.com/index.php/RPV/article/view/1100>

Infante, D., González, N., Reyes, Y., y Martínez, B. (2011). EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE DOCE CEPAS DE *Trichoderma asperellum* Samuels SOBRE TRES FITOPATÓGENOS EN CONDICIONES DE CAMPO. *Revista de Protección Vegetal*, 26(3), 194-197. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522011000300010&lng=es&tlng=es.

Jaiswal, P., Khadka, R., Bhat, A. H., Baidya, S., y Keshari, A. K. (2025). Morphological and Molecular Characterization of *Trichoderma* Isolates from Vegetable Crop Rhizospheres in Nepal. *F1000Research*, 13, 1088. <https://doi.org/10.12688/f1000research.153701.3>

Kimaru, S., Monda, E., Cheruiyot, R., Mbaka, J., y Alakonya, A. (2018). Morphological and Molecular Identification of the Causal Agent of Anthracnose Disease of Avocado in Kenya. *International Journal of Microbiology*, 2018(4568520), 1-10. <https://doi.org/10.1155/2018/4568520>

Martinez Vaca, K. K. (2022). Comportamiento de *Colletotrichum* spp. en la mazorca de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo condiciones de laboratorio, en Milagro, Ecuador. *[Trabajo experimental, Universidad Agraria del Ecuador Facultad de Ciencias Agrarias]*. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MART%C3%8DNEZ%20VACA%20KAREN%20KATIUSCA.pdf>



- Matas Baca, M. Á., Flores Córdova, M. A., Pérez Álvarez, S., Rodríguez Roque, M. J., Salas Salazar, N. A., Soto Caballero, M. C., & Sánchez Chávez, E. (2023). Trichoderma fungi as an agricultural biological control in Mexico. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 29(3), 89–114. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2022.11.015>
- Medina Pinoargote, M. A. (2022). Evaluación de la capacidad antagónica in vitro de dos cepas de Trichoderma spp. frente a Moniliophthora roreri (Cif. & Par.) y Phytophthora spp. en mazorcas de Theobroma cacao L. [Tesis posgrado, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO]. <https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/14659/C-UTB-CEPOS-MPV-000015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Méndez M., A. A., & Briceño R, A. d. (2017). Evaluación de la capacidad antagónica in vitro de aislados de Trichoderma spp. Pers. procedentes de cultivares de cacao (Theobroma cacao L.) vs. Colletotrichum gloeosporioides Penz. [Trabajo de Pregrado, UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL SUR DEL LAGO “JESÚS MARÍA SEMPRUM”]. https://www.researchgate.net/publication/324884898_Evaluacion_de_la_capacidad_antagonica_a_in_vitro_de_aislados_de_Trichoderma_spp_Pers_procedentes_de_cultivares_de_cacao_Theobroma_cacao_L_vs_Colletotrichum_gloeosporioides_Penz
- Mendoza Merino, J. E. (2022). Caracterización molecular de las principales plagas y enfermedades en el cultivo de cacao en la zona nororiental del Perú. Tesis posgrado, UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14077/2842>
- Pabon Montoya, B. J., Córdova-Chávez, M. F., Alban Alcivar, J. A., & Jaramillo Robles, A. V. (2024). Efectos antifúngicos de extractos botánicos sobre el crecimiento micelial de Colletotrichum sp. a nivel in vitro, causante de antracnosis en la fruta de aguacate. *Digital Publisher CEIT*, 9(1), 869-879. <https://doi.org/10.33386/593dp.2024.1.2218>
- Peña Pasmíño, R. W., Chuyma Tomaylla, M. M., Sánchez Marticorena, E., Villegas Panduro, P. P., y Vásquez Gómez, R. (2022). Biol, Microorganismos Eficientes y Trichoderma spp., en el control



- de *Colletotrichum* spp. en *Myrciaria dubia* H.B.K. Pucallpa, Ucayali. *Investigacion Universitaria UNU*, 12(2), 822-835. <https://doi.org/10.53470/riu.v12i2.101>
- Rojas Flores, G., Quispe Rodríguez, J., Paytan Montañez, T. C., Quispe Ramos, A., y Gastelu Retamoso, W. (2025). Producción de plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.) con aplicación de trichoderma, control de enfermedades en vivero. *Revista Alfa*, 9(26), 425-434. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i26.356>
- Rubio Sosa, A. (2023). ANTAGONISMO DE *Trichoderma* spp. A *Colletotrichum* spp. EN CAFÉ. [Tesis postgrado, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca]. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/bitstream/TecNM/6858/1/2.%20Tesis.pdf>
- Silva Neto, J. A., Queiroz Ambrosio, M. M., Medeiros Araujo, M. B., Silva, R. M., Lima Pinto, P. S., y Araujo Holanda, I. S. (2022). MORPHOLOGICAL, MOLECULAR AND PATHOGENIC CHARACTERIZATION OF *Colletotrichum gloeosporioides* ISOLATED FROM MANGO. *Revista Caatinga*, 35(3), 514-527. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n302rc>
- Soltani Nezhad, F., Rahnama, K., Javidan, M. S., y Asefpour Vakilian, K. (2024). Aplicación del procesamiento de imágenes microscópicas e inteligencia artificial para la detección y clasificación de las esporas de tres nuevas especies de *Trichoderma*. *Discover Applied Sciences*, 6(12), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s42452-024-06388-x>
- Tenorio, R., & Mollinedo, P. A. (2016). INHIBITORY CAPACITY OF FILTRATES FROM *TRICHODERMA INHAMATUM* AND *CAIOPHORA ANDINA* OVER PHYTOPATHOGENS OF *THEOBROMA CACAO*. *Revista Boliviana de Química*, 33(3), 113-126. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=426347540002>

