

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.

ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2025,
Volumen 9, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5

EFICACIA DE TRICHODERMA VIRENS COMO BIOCONTROLADOR DE PHYTOPHTHORA PALMIVORA EN PLÁNTULAS DE TECTONA GRANDIS L.F.

EFFECTIVENESS OF TRICHODERMA VIRENS AS A
BIOCONTROL AGENT FOR PHYTOPHTHORA PALMIVORA
IN TECTONA GRANDIS L.F. SEEDLINGS.

Jonathan Gabriel Castro Castro
Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Jefferson Marcelo Parraga Maquilon
Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Jonathan Steven Parraga Maquilon
Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Cinthya Elizabeth Zapata Zambrano
Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Karina Margoth De La Cruz Vichicela
Universidad Técnica Estatal de Quevedo

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5.20664

Eficacia de *Trichoderma virens* como biocontrolador de *Phytophthora palmivora* en plántulas de *Tectona grandis* L.f.

Jonathan Gabriel Castro Castro¹

jonathan.castro2015@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0002-7706-7097>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Facultad de Posgrado Estudiante de Maestría en
Biotecnología Agropecuaria

Ecuador

Jefferson Marcelo Parraga Maquilon

Jefferson.parraga2015@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0005-4828-4190>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Facultad de Posgrado Estudiante de Maestría en
Biotecnología Agropecuaria

Ecuador

Jonathan Steven Parraga Maquilon

jonathan.parraga2016@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-1516-3537>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Facultad de Posgrado Estudiante de Maestría en
Biotecnología Agropecuaria

Ecuador

Cinthya Elizabeth Zapata Zambrano

cinthya.zapata2015@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-5975-549X>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Facultad de Posgrado Estudiante de Maestría en
Biotecnología Agropecuaria

Ecuador

Karina Margoth De La Cruz Vichicela

karina.delacruz2015@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-6457-7069>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Facultad de Posgrado Estudiante de Maestría en
Biotecnología Agropecuaria

Ecuador

RESUMEN

El presente trabajo estudió la efectividad de *Trichoderma virens* como agente de biocontrol frente a *P. palmivora*, el hongo causante de la enfermedad conocida como muerte ascendente en plantaciones de *Tectona grandis* (teca). Ante la necesidad de encontrar alternativas sostenibles al uso de fungicidas químicos, se propuso evaluar a *T. virens* como una opción viable para el manejo de este patógeno. Para ello, se aislaron cepas nativas tanto de *T. virens* como de *P. palmivora* a partir de muestras de suelo recolectadas en diferentes plantaciones de teca en Ecuador. Posteriormente, se realizaron ensayos de antagonismo in vitro para determinar el porcentaje de inhibición radial (PIR) de *T. virens* frente al patógeno en medios PDA y Agar V8, alcanzando un PIR del 60,85 %. En pruebas bajo condiciones de invernadero, se inocularon plántulas de teca con discos de ambos hongos para observar su interacción en un ambiente controlado, evaluando la mortalidad y la presencia de necrosis a los 7, 15, 30 y 45 días después de la inoculación. Los resultados evidenciaron una reducción significativa en la mortalidad de las plántulas tratadas con *T. virens*, con una disminución cercana al 90 % respecto a las no tratadas. Estos hallazgos confirman que *T. virens* es un agente eficaz para el biocontrol de *P. palmivora* en plántulas de teca, mitigando los efectos de la enfermedad y representando una alternativa sostenible para el manejo fitosanitario.

Palabras claves: antagonismo, control biológico, in vitro, muerte ascendente, patógeno

¹ Autor principal

Correspondencia: jonathan.castro2015@uteq.edu.ec



Effectiveness of *Trichoderma virens* as a biocontrol agent for *Phytophthora palmivora* in *Tectona grandis* L.f. seedlings.

ABSTRACT

This study examined the effectiveness of *Trichoderma virens* as a biocontrol agent against *P. palmivora*, the fungus that causes the disease known as ascending dieback in *Tectona grandis* (teak) plantations. Given the need to find sustainable alternatives to the use of chemical fungicides, *T. virens* was evaluated as a viable option for managing this pathogen. To this end, native strains of both *T. virens* and *P. palmivora* were isolated from soil samples collected from different teak plantations in Ecuador. Subsequently, in vitro antagonism tests were performed to determine the percentage of radial inhibition (PIR) of *T. virens* against the pathogen in PDA and V8 Agar media, reaching a PIR of 60.85%. In greenhouse trials, teak seedlings were inoculated with discs of both fungi to observe their interaction in a controlled environment, evaluating mortality and the presence of necrosis at 7, 15, 30, and 45 days after inoculation. The results showed a significant reduction in mortality in seedlings treated with *T. virens*, with a decrease of nearly 90% compared to untreated seedlings. These findings confirm that *T. virens* is an effective agent for the biocontrol of *P. palmivora* in teak seedlings, mitigating the effects of the disease and representing a sustainable alternative for phytosanitary management.

Keywords: antagonism, biological control, in vitro, ascending death, pathogen.

*Artículo recibido 02 setiembre 2025
Aceptado para publicación: 29 setiembre 2025*



INTRODUCCIÓN

Las plantaciones de *Tectona grandis* L.f. (teca) en Ecuador representan un recurso de gran relevancia económica debido a la alta demanda de su madera en los mercados internacionales (Nieto-Rodríguez *et al.*, 2014). Este material es ampliamente valorado por su calidad, durabilidad y versatilidad, lo que convierte a la teca en un pilar estratégico para el desarrollo del sector forestal del país (Cabrera *et al.*, 2024). Sin embargo, estas plantaciones enfrentan desafíos fitosanitarios significativos, entre los cuales destaca la enfermedad conocida como “muerte ascendente”, causada por el *Oomiceto Phytophthora* spp. (Velasteguí *et al.*, 2010). Esta fitopatología afecta principalmente a las plántulas jóvenes, provocando marchitez y necrosis en raíces y tallos, sobre todo en zonas con deficiente drenaje o alta humedad, condiciones que favorecen el desarrollo del patógeno. La enfermedad representa una amenaza considerable para la sostenibilidad y productividad de las plantaciones de teca tanto en Ecuador como en otros países tropicales (García *et al.*, 2013).

El uso intensivo de productos fitosanitarios como fungicidas y fertilizantes químicos ha generado graves consecuencias ambientales, entre ellas la degradación del suelo y la contaminación de los recursos hídricos (Fróna *et al.*, 2019; Klaram *et al.*, 2022). Diversos estudios proyectan un aumento en la demanda agrícola en los próximos años debido al crecimiento poblacional, lo que incrementará la presión sobre los ecosistemas y los recursos naturales. Ante este panorama, surge la necesidad de desarrollar alternativas sostenibles que permitan mantener la productividad agrícola reduciendo el impacto ambiental. En este contexto, los agentes de biocontrol, entre los que destacan las especies del género *Trichoderma*, han adquirido especial relevancia por su eficacia y compatibilidad con la agricultura sostenible (Cortés *et al.*, 2023).

El género *Trichoderma* agrupa hongos saprófitos reconocidos por su capacidad para antagonizar patógenos del suelo, como *Phytophthora* spp., mediante diversos mecanismos, entre ellos el micoparasitismo, la competencia por nutrientes y la producción de metabolitos secundarios, incluidas enzimas hidrolíticas y antibióticos (Mukherjee *et al.*, 2012; Pineda-Insuasti *et al.*, 2017; Cortés *et al.*, 2023). Además, *Trichoderma* promueve el crecimiento vegetal al inducir la síntesis de hormonas de crecimiento y activar los mecanismos de defensa natural de las plantas (Rebolledo-Prudencio *et al.*, 2020; Vicente *et al.*, 2022). Gracias a estas propiedades, su uso como bioestimulante ha sido



ampliamente estudiado en diversos cultivos, incluidos el frijol (*Phaseolus vulgaris*) (Sánchez-García *et al.*, 2017), la lechuga (*Lactuca sativa*) (Santana-Díaz y Castellanos, 2018), las gramíneas (Vázquez-Martínez *et al.*, 2019), el tomate (*Solanum lycopersicum*) (Sharma *et al.*, 2022), frutales y especies forestales (Caporale *et al.*, 2019).

Dentro de este género el *Trichoderma virens* se distingue por su notable capacidad para inducir resistencia en las plantas hospedadoras y antagonizar eficazmente patógenos del suelo como *Phytophthora* spp. (Harman, 2004). Asimismo, su interacción con las plantas contribuye a mejorar la salud vegetal mediante la estimulación de mecanismos fisiológicos y bioquímicos de defensa (Pineda-Insuasti *et al.*, 2017). Estas características posicionan a *T. virens* como una alternativa prometedora y sostenible frente al uso de productos químicos en el manejo fitosanitario de las plantaciones de teca (Romero *et al.*, 2022).

A pesar de los avances obtenidos en el estudio del género *Trichoderma*, aún persisten vacíos de conocimiento respecto a su eficacia en procesos fundamentales como la germinación de semillas, el desarrollo radical y foliar, y su impacto en la asimilación de nutrientes y agua (Vicente *et al.*, 2022). En este sentido, el presente estudio tiene como objetivo evaluar la eficacia de *T. virens* como agente biocontrolador de *Phytophthora palmivora*, patógeno causal de la enfermedad “muerte ascendente” en plántulas de teca. A través de ensayos in vitro y en condiciones de invernadero, se analizará su efecto en la inhibición del crecimiento del patógeno y en la reducción de la mortalidad de las plántulas. La implementación de un sistema de biocontrol efectivo no solo permitirá disminuir las pérdidas económicas asociadas a esta enfermedad, sino que también contribuirá al desarrollo de estrategias sostenibles orientadas a optimizar la producción de teca en el país.

METODOLOGÍA

El presente estudio se desarrolló en el Laboratorio de Microbiología y Biología Molecular de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ) y en un invernadero experimental. Su propósito fue evaluar la capacidad de *T. virens* como agente de biocontrol frente a *Phytophthora palmivora*, patógeno responsable de la enfermedad conocida como “muerte ascendente” en plantaciones de *Tectona grandis* L.f. (teca).



Muestreo de suelo

Se seleccionaron tres plantaciones comerciales de *Tectona grandis* como áreas de estudio. Las muestras de suelo se recolectaron con un barreno a una profundidad de 15 cm, eliminando previamente la materia orgánica superficial. Posteriormente, las muestras se depositaron en bolsas de polietileno estériles y se transportaron al laboratorio bajo condiciones controladas para su análisis.

Aislamiento *Trichoderma* spp.

Las muestras de suelo se obtuvieron en plantaciones de teca ubicadas en los cantones Quevedo, Buena Fe y Valencia, Ecuador. Estas fueron procesadas en el laboratorio mediante técnicas de aislamiento en medios selectivos, como Papa Dextrosa Agar (PDA) y Agar V8, con el objetivo de obtener cepas nativas de *T. virens*.

El procedimiento de aislamiento se basó en una metodología modificada de Zhou *et al.* (2020). Se pesó un gramo de suelo por muestra y se suspendió en 9 mL de agua estéril para preparar una dilución inicial de 1×10^{-1} . A partir de esta, se realizaron diluciones seriadas hasta 1×10^{-6} . Las placas se incubaron a 28 °C durante siete días para favorecer el desarrollo fúngico. Las colonias obtenidas se purificaron mediante subcultivos sucesivos (Palacios *et al.*, 2023).

Aquellas colonias con características morfológicas compatibles con *Trichoderma* spp. fueron transferidas a medio PDA utilizando la técnica de punta de hifa (Dou *et al.*, 2019). Las cepas purificadas se conservaron en viales de vidrio bajo refrigeración.

Aislamiento de *Phytophthora* spp.

Para el aislamiento de *Phytophthora* spp., se aplicó la técnica de cultivo trampa utilizando manzana verde, y posteriormente se realizó el re-aislamiento en medio selectivo Agar jugo V8, siguiendo las metodologías descritas por Erwin y Ribeiro (1996) y Díaz y Bravos (2015).

Caracterización morfológica

Las colonias puras se transfirieron a tubos con medio PDA y se mantuvieron a 8 °C. La identificación morfológica de las especies de *Trichoderma* se efectuó siguiendo los criterios de Barnett y Hunter (1998). Para ello, se elaboraron microcultivos y se realizaron observaciones microscópicas a 400× de aumento, con el fin de detallar las estructuras del micelio, conidióforos, fiálide y conidias (Sánchez *et al.*, 2021).



La caracterización morfológica de *Phytophthora* spp. se llevó a cabo conforme a la guía de Erwin y Ribeiro (1996), evaluando estructuras como micelio, esporangios, oosporas y clamidosporas mediante un microscopio Olympus BX50. Se registraron fotografías de las estructuras fúngicas y se analizó el crecimiento del micelio en placas Petri individuales (García *et al.*, 2017).

Caracterización molecular

Las muestras fúngicas se enviaron al laboratorio ID Gen, ubicado en Quito, donde se realizó la extracción de ADN mediante el método fenol-cloroformo, empleando aproximadamente 100 mg de muestra. La integridad y pureza del ADN se evaluaron por espectrofotometría de microvolúmenes y visualización en gel de agarosa. Posteriormente, el ADN se diluyó a una concentración aproximada de 20 ng/ μ L para su amplificación por PCR, utilizando los cebadores EF1-alfa: EF1-983F/EF1-2218R.

Pruebas in vitro de antagonismo

Para determinar la capacidad antagónica de *T. virens* frente a *P. palmivora*, se realizaron ensayos de confrontación directa en cultivos duales sobre medios PDA y Agar V8, siguiendo la metodología propuesta por Dennis y Webster (1971). Se colocaron discos de micelio de 5 mm de diámetro de cada microorganismo en extremos opuestos de las placas Petri, separados por 8 cm. Las placas se incubaron a 25 °C y el crecimiento del patógeno se midió diariamente durante siete días (Pincay *et al.*, 2021).

El porcentaje de Inhibición del Crecimiento Radial (PICR) se calculó conforme a la fórmula descrita por Jaramillo *et al.* (2014). Para ello, se inocularon discos de micelio de ambos organismos en extremos opuestos de las placas con medio PDA-V8, separados por 6 cm, y se incubaron a 28 ± 2 °C durante 12 días.

Los resultados evidenciaron una inhibición significativa del crecimiento radial de *P. palmivora* en presencia de *T. virens*. El antagonista mostró dominio sobre el espacio de cultivo, confirmando su eficacia como agente biocontrolador (De Oliveira *et al.*, 2020; Rajani *et al.*, 2020; Barboza *et al.*, 2022) [1]:

$$PICR = \left(\frac{R1 - R2}{R1} \right) * 100$$

Donde:

R1= radio mayor (radio de patógeno testigo).



R2= radio menor (radio del patógeno en enfrentamiento con el antagonista).

Ensayos en invernadero

Para validar los resultados obtenidos en las pruebas in vitro, se realizaron ensayos de inoculación en plántulas de teca (*Tectona grandis*) de tres meses de edad, bajo condiciones controladas de invernadero. Se seleccionaron ejemplares vigorosos y sanos, los cuales fueron inoculados en el tallo con discos de micelio de 5 mm de *T. virens* y *P. palmivora* (Medeiros *et al.*, 2017). En cada plántula se efectuó una incisión en el tallo, sobre la cual se aplicaron los discos fúngicos, sellando posteriormente con parafilm para evitar la deshidratación del tejido (Donoso *et al.*, 2008). Se establecieron diferentes tratamientos, que incluyeron combinaciones de *T. virens* y *P. palmivora*, además de un grupo control inoculado únicamente con *P. palmivora* (López *et al.*, 2013).

Las plántulas fueron monitoreadas durante un periodo de 45 días, registrándose los síntomas de necrosis y la mortalidad a los 7, 15, 30 y 45 días posteriores a la inoculación. La evaluación se realizó midiendo la longitud de las necrosis y determinando el porcentaje de mortalidad en cada tratamiento (Morales *et al.*, 2020).

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental se estructuró bajo un esquema factorial A×B, donde el factor A correspondió a las cuatro cepas de *Trichoderma virens* y el factor B a las dos cepas de *Phytophthora palmivora* (Flores *et al.*, 2010). Cada tratamiento se realizó con tres repeticiones, obteniéndose un total de 24 unidades experimentales. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el software estadístico Infostat. Las diferencias significativas entre tratamientos se determinaron mediante la prueba de comparación múltiple de Tukey, considerando un nivel de significancia del 95% (Dennis & Webster, 1971; Donoso *et al.*, 2008).

RESULTADOS

Aislamiento y caracterización de Cepas

Se recolectaron muestras de suelo en plantaciones de *Tectona grandis* ubicadas en los cantones Quevedo, Buena Fe y Valencia, Ecuador, a partir de las cuales se aislaron cepas nativas de *Trichoderma virens* y *Phytophthora palmivora*. Las colonias obtenidas fueron purificadas y



posteriormente caracterizadas mediante observaciones morfológicas con microscopía óptica. La identificación molecular de las cepas se confirmó a través del análisis de secuencias del marcador ITS.

Figura 1. Colonias de tres cepas de *Trichoderma virens* en medio PDA. Se observan conidios formados en los conidióforos, sostenidos por fiálide.

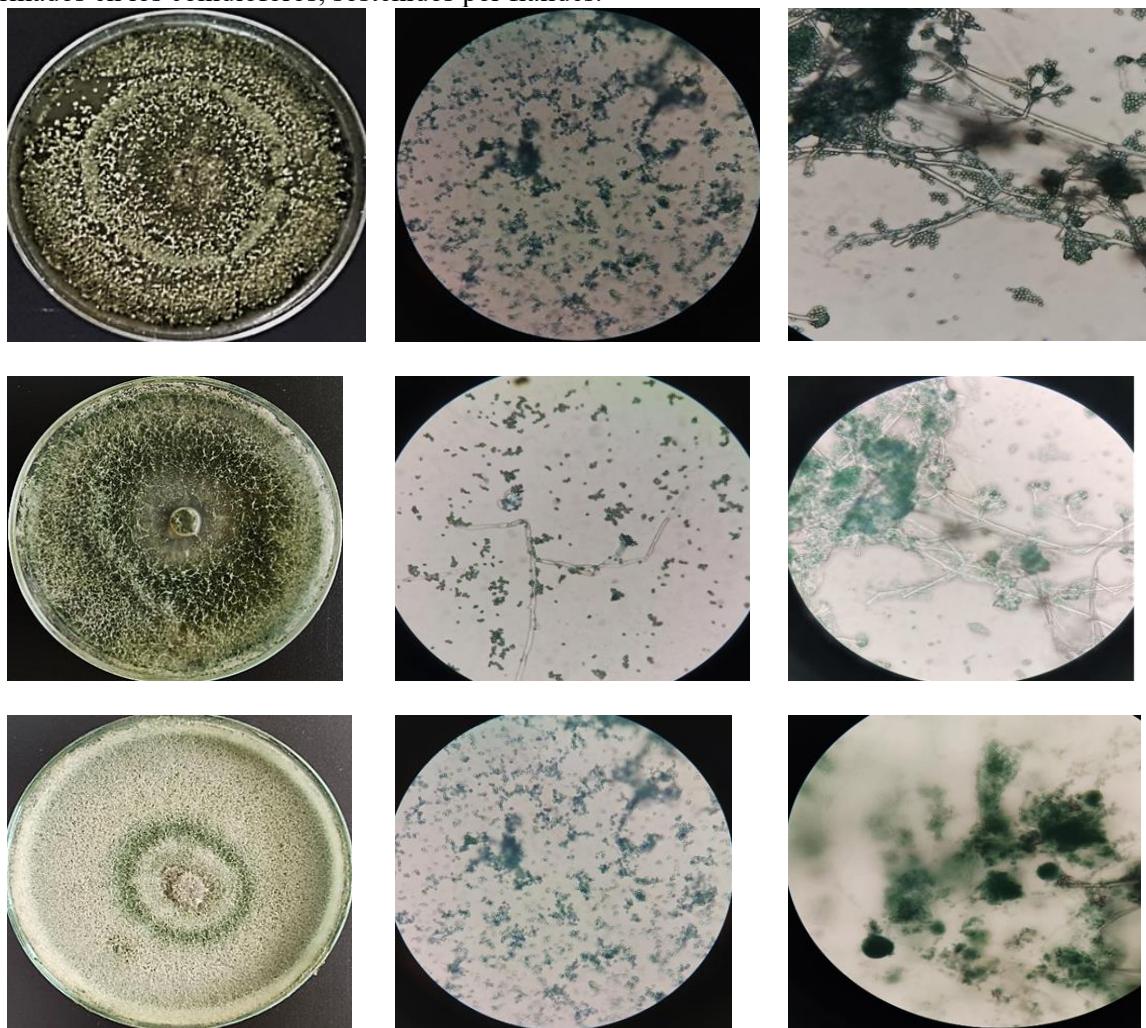
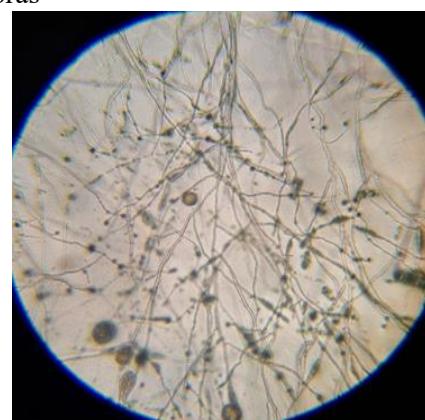
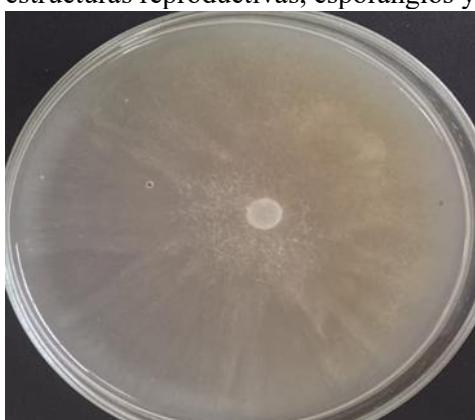


Tabla 1. Identificación molecular de los aislados de *Trichoderma virens*. en plantaciones de teca en la caracterización genética de *Trichoderma* mediante análisis filogenético

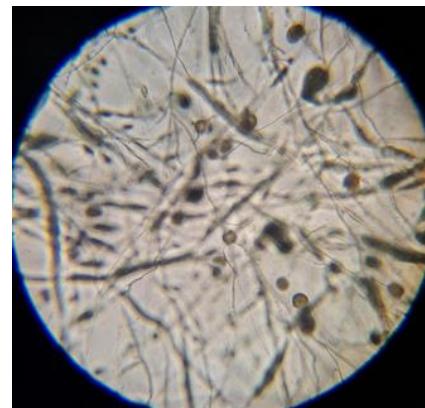
Código	del microorganismo o	Aislado del cultivo	Procedencia de la muestra	Vecino más cercano (Nro. de acceso)	Puntuación máxima	Identificación Máxima	Identidad final
<i>Trichoderma</i>							
T1	Plantación de teca	Cantón Buena fe		<i>virens</i> XM_014101441 .1	99.35	100	<i>Trichoderm a virens</i>
<i>Trichoderma</i>							
T2	Plantación de teca	Cantón Valencia		<i>virens</i> XM_014101441 .1	99.35	100	<i>Trichoderm a virens</i>
<i>Trichoderma</i>							
T3	Plantación de teca	Cantón Quevedo		<i>virens</i> XM_014101441 .1	99.35	100	<i>Trichoderm a virens</i>



Figura 2. Colonias de dos cepas de *Phytophthora* spp. en medio de cultivo Agar V8. Se observan estructuras reproductivas, esporangios y clamidosporas



Phytophthora 1



Phytophthora 2

Tabla 2. Identificación molecular de los aislados de *Phytophthora* en plantaciones de teca en la caracterización genética de *P. palmivora* mediante análisis filogenético

Código del microorganismo	Aislado del cultivo	Procedencia de la muestra	Vecino más cercano (Nro. de acceso)	Puntuación máxima	Identificación Máxima	Identidad final
P1	Plantaciones de teca	Cantón Quevedo	<i>Phytophthora a palmivora</i> MT052675.1	99.35	100	<i>Phytophthora a palmivora</i>
P2	Plantaciones de teca	Cantón Buena fe	<i>Phytophthora a palmivora</i> MH401199.1	99.35	100	<i>Phytophthora a palmivora</i>

2. Pruebas In vitro de antagonismo

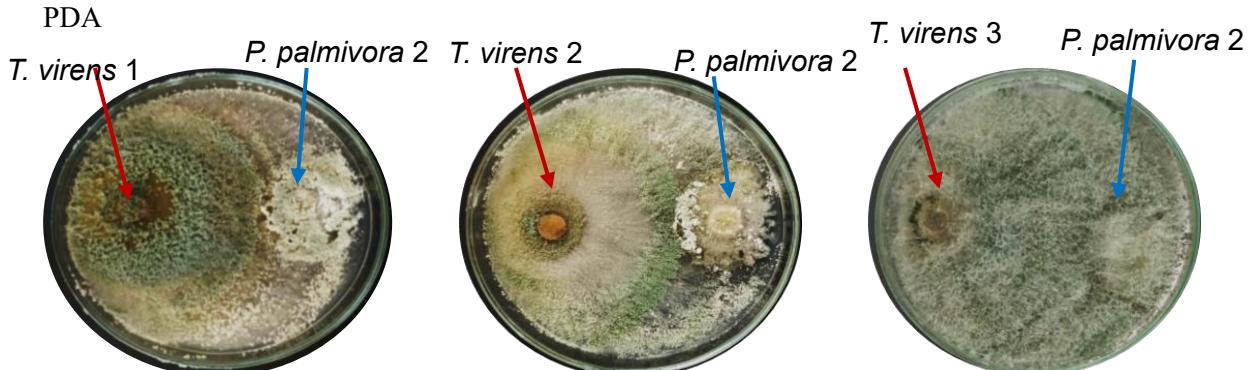
Los resultados obtenidos en los ensayos de antagonismo in vitro evidenciaron que *Trichoderma virens* presentó una inhibición significativa sobre el crecimiento de *Phytophthora palmivora* en ambos medios de cultivo, PDA y Agar V8. En el medio PDA, los porcentajes de inhibición radial (PIR) oscilaron entre 50,53% y 60,85%, registrándose la mayor inhibición con la cepa *T. virens* 2 frente a *P. palmivora* 2. En el medio Agar V8, los valores de PIR variaron entre 48,44% y 57,26%, destacándose nuevamente la cepa *T. virens* 2 como la más efectiva contra *P. palmivora* 2, tal como se detalla en la Tabla 3.

Las Figuras 3 y 4 muestran de manera visual el efecto inhibitorio del antagonista, observándose con mayor claridad en el medio PDA, donde las colonias de *P. palmivora* fueron reducidas de forma significativa en presencia de *T. virens*.

Tabla 3: Porcentaje de Inhibición Radial (PIR) de *T. virens* contra *P. palmivora*

PIR (%)	<i>T. virens</i> 1	<i>T. virens</i> 2	<i>T. virens</i> 3	<i>T. virens</i>	<i>T. virens</i> 2	<i>T. virens</i> 3
	<i>P.palmivora</i> 1	<i>P.palmivora</i>	<i>P. palmivora</i>	<i>P. palmivora</i>	<i>P. palmivora</i>	<i>P. palmivora</i>
	I	I	2	2	2	2
PDA	50,53	51.82	59.48	57,77	60,85	53.73
Agar V8	48,44	50.05	54,69	56.13	57.26	53.91

Figura 3. Inhibición del crecimiento de *Phytophthora palmivora* por *Trichoderma virens* en medio PDA



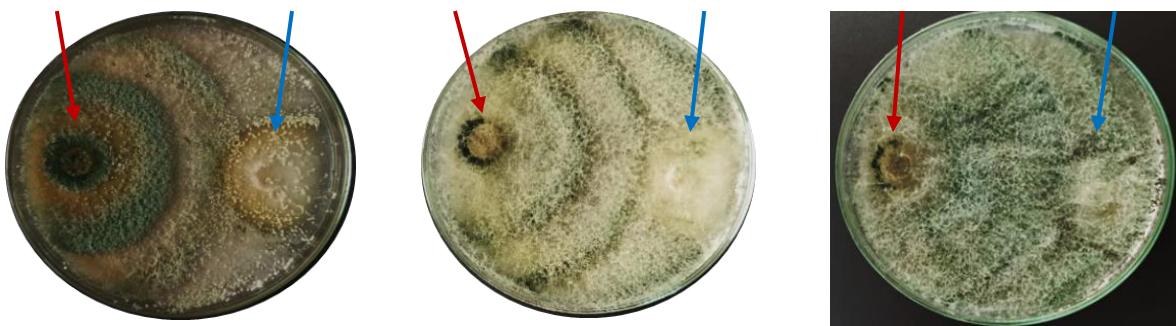
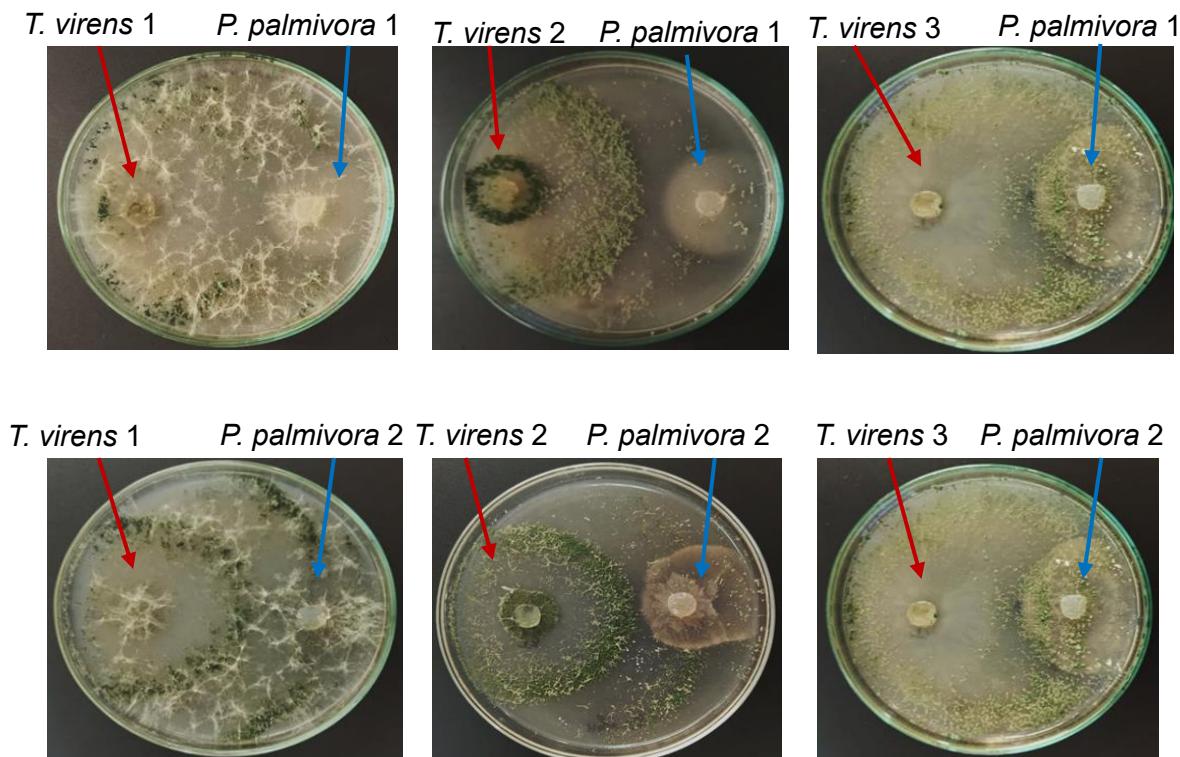


Figura 4. Inhibición del crecimiento de *Phytophthora palmivora* por *Trichoderma virens* en medio Agar V8



3. Prueba en el Invernadero

Los resultados obtenidos de los tratamientos aplicados con diferentes cepas de *Trichoderma virens* sobre la mortalidad causada por *Phytophthora palmivora* (Tabla 4) evidenciaron una disminución significativa en el efecto del patógeno. El tratamiento con la cepa *T. virens* 1 presentó una mortalidad del 40% frente a *P. palmivora* 1 y del 50% frente a *P. palmivora* 2, lo que sugiere una alta capacidad de esta cepa para inhibir el desarrollo del patógeno. En contraste, las cepas *T. virens* 2 y *T. virens* 3 registraron mortalidades del 20% frente a *P. palmivora* 1, y del 20% y 10% frente a *P. palmivora* 2, respectivamente, indicando un potencial de control más moderado, aunque aún relevante.

En comparación, el tratamiento control, inoculado únicamente con *P. palmivora*, alcanzó una mortalidad del 80%, lo que resalta la eficacia de las cepas de *Trichoderma* en la reducción del daño ocasionado por el patógeno. Si bien la cepa *T. virens* 1 se destacó por su mayor efectividad, todas las cepas evaluadas demostraron un efecto significativo en la disminución de la mortalidad, confirmando el potencial de *T. virens* como agente biocontrolador frente a *P. palmivora*, tal como se observa en la Figura 5. Estos resultados enfatizan la relevancia de aprovechar estas interacciones microbianas en el manejo sostenible de enfermedades causadas por hongos fitopatógenos.

Tabla 4. Mortalidad de plántulas de teca tras 45 días

Tratamiento	Mortalidad (%)	longitud de las necrosis (cm)
<i>T. virens</i> 1 + <i>P. palmivora</i> 1	40	2,10
<i>T. virens</i> 1 + <i>P. palmivora</i> 2	50	2,60
<i>T. virens</i> 2 + <i>P. palmivora</i> 1	20	1,12
<i>T. virens</i> 2 + <i>P. palmivora</i> 2	20	1,12
<i>T. virens</i> 3 + <i>P. palmivora</i> 1	20	1,12
<i>T. virens</i> 3+ <i>P. palmivora</i> 2	10	0,96
Control (solo <i>P. palmivora</i>)	80	3,20

Figura 5. Evolución de la sintomatología y longitud de necrosis en *T. grandis* inoculada con microorganismos fúngicos en condiciones de invernadero





DISCUSIÓN

El presente estudio confirma la eficacia de *Trichoderma virens* como agente de biocontrol frente a *Phytophthora palmivora* en plantaciones de *Tectona grandis*, resaltando la relevancia del biocontrol como estrategia fundamental para el manejo sostenible de enfermedades agrícolas. Los ensayos in vitro demostraron que *T. virens* alcanzó un elevado porcentaje de inhibición radial, con valores del 60,85 % en medio PDA y 57,26 % en Agar V8, resultados que coinciden con investigaciones previas que evidencian su capacidad para inhibir diversos patógenos del suelo, incluidos *oomycetos* y hongos fitopatógenos (Harman *et al.*, 2004; Keswani *et al.*, 2014).

La efectividad de *T. virens* como agente biocontrolador se atribuye a la acción conjunta de múltiples mecanismos biológicos. Según lo señalado por Harman *et al.* (2004) y Martínez *et al.* (2008), las especies del género *Trichoderma* ejercen su efecto mediante micoparasitismo, competencia por nutrientes y la producción de enzimas hidrolíticas que degradan las paredes celulares de los patógenos. Este tipo de interacción fue evidente en los cultivos duales desarrollados durante la investigación, en los cuales se observó una inhibición significativa del crecimiento de *P. palmivora*.

En los ensayos realizados bajo condiciones de invernadero, se registró una reducción del 90 % en la mortalidad de las plántulas tratadas con *T. virens*, lo que confirma su capacidad para incrementar la resistencia de las plantas frente a infecciones. Este efecto ha sido documentado por diversos autores, como Benítez *et al.* (2004) y Chaverri *et al.* (2015), quienes señalan que *T. virens*, además de ejercer una acción directa sobre el patógeno, puede inducir respuestas sistémicas en las plantas que fortalecen sus mecanismos de defensa, tal como fue descrito también por Vinale *et al.* (2008) en estudios similares.

El uso de *T. virens* como alternativa al empleo de fungicidas químicos ha sido respaldado por investigaciones recientes que enfatizan la importancia de estrategias sostenibles en la agricultura moderna. De acuerdo con Nava-Pérez *et al.* (2012), la aplicación de biocontroladores como *Trichoderma* no solo disminuye la dependencia de productos químicos, sino que también favorece la salud del suelo y contribuye al mantenimiento de un ecosistema agrícola equilibrado. Además, Keswani *et al.* (2014) destacan que el biocontrol incrementa la resiliencia de los cultivos frente a variaciones ambientales y presiones patogénicas.

Los resultados obtenidos en esta investigación confirman que *T. virens* constituye un agente prometedor en el control biológico de *P. palmivora*, aportando significativamente al mejoramiento del manejo fitosanitario en plantaciones de teca. Estudios adicionales sobre su interacción con otros microorganismos del suelo, así como evaluaciones a largo plazo en condiciones de campo, podrían fortalecer su aplicación a nivel comercial, tal como lo proponen Donoso *et al.* (2008) y Samuels *et al.* (2012).

La aplicación de *T. virens* como agente de biocontrol no solo representa una alternativa sostenible y eficaz frente al uso de fungicidas químicos, sino que también mejora la calidad del suelo y la productividad en las plantaciones de teca, un recurso forestal de gran relevancia económica para el Ecuador.

CONCLUSIONES

Los ensayos realizados evidenciaron que *Trichoderma virens* actúa como un agente altamente eficaz en la inhibición del crecimiento de *Phytophthora palmivora*, el hongo responsable de la enfermedad conocida como muerte ascendente en *Tectona grandis*. Las cepas evaluadas de *T. virens* presentaron un elevado porcentaje de inhibición radial (PIR), lo que confirma su alto potencial como agente de biocontrol en el manejo de enfermedades que afectan a este cultivo.

Los ensayos in vitro en cultivos duales demostraron que las cepas de *T. virens* no solo limitan significativamente el desarrollo de *Phytophthora*, sino que también pueden potenciar su efectividad al emplearse en combinación con otros agentes biocontroladores. Asimismo, los resultados obtenidos indicaron que *T. virens* presentó un desempeño superior en comparación con otras cepas de *Trichoderma* evaluadas, destacando por su capacidad de antagonismo.



Los ensayos realizados en invernadero confirmaron que la inoculación de plántulas de teca con *T. virens* redujo de manera significativa la mortalidad, evidenciando su efecto positivo en la salud vegetal y en la resistencia de las plántulas frente a infecciones por *P. palmivora*.

La aplicación de *T. virens* se presenta como una alternativa sostenible y eficaz frente al uso de fungicidas químicos, promoviendo prácticas agrícolas más ecológicas y contribuyendo al manejo integrado de plagas y enfermedades en plantaciones de teca, con el potencial de mejorar la productividad y sostenibilidad del sistema agrícola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Mukherjee, M., Mukherjee, P. K., Horwitz, B. A., Zachow, C., Berg, G., & Zeilinger, S. (2012). *Trichoderma–plant–pathogen interactions: advances in genetics of biological control*. Indian Journal of Microbiology, 52(4), 522–529. <https://doi.org/10.1007/s12088-012-0308-5>
- Barboza García, A., Pérez Cordero, A. , Chamorro Anaya, L. M. (2022). Especies nativas de *Trichoderma* aisladas de plantaciones de aguacate con actividad inhibitoria contra *Phytophthora cinnamomi*. Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial, 20(2), 102–116. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n2.2022.1852>
- Barnett, H. L. y B. B. Hunter. 1999. Illustrated genera of imperfect fungi. The American Phytopathological Society Press. USA. 218 p.
- Cabrera Verdesoto, C. A., García Álava, J. A., Mero Jalca, O. F., Estévez Valdez, I., & Cabrera Verdezoto, R. P. (2024). Determinación del crecimiento de una plantación *Tectona grandis* L. f., Parroquia Sucre cantón 24 de Mayo, Manabí, Ecuador. Revista Científica Ciencias Naturales Y Ambientales, 18(1). <https://doi.org/10.53591/cna.v18i1.38>
- Caporale A.G., Vitaglione P., Troise A.D., Pigna M., Ruocco M. (2019). Influence of three different soil types on the interaction of two strains of *Trichoderma harzianum* with *Brassica rapa* subsp. *sylvestris* cv. *esculenta*, under soil mineral fertilization. Geoderma 350, 11-18. DOI:10.1016/j.geoderma.2019.05.003
- Chaverri, P., Branco, S., Jaklitsch, W. M., Cuenca-Estrella, M., Samuels, G. J., & Kubicek, C. P. 2015. Systematics and phylotaxonomy of *Trichoderma* and its allies. Fungal Diversity, 73(1), 1-41.



Chiriboga P, H; Gómez B, G; Garcés E, K. 2015. Protocolos para formulación y aplicación del bio-insumo: *Trichoderma* spp. para el control biológico de enfermedades (en línea). Paraguay, IICA.

Disponible en <https://repositorio.iica.int/handle/11324/2647>.

Cortés-Hernández, F. D. C., Alvarado-Castillo, G., & Sánchez-Viveros, G. (2023). *Trichoderma* spp., una alternativa para la agricultura sostenible: una revisión. Revista Colombiana de Biotecnología, 25(2), 73-87.

De Oliveira, Camilla; Almeida, Nayane; Cortes, Marcio; Junior, Marcio; Da Rocha, Mara; Ulhoa, Cirano. Biological control of *Pratylenchus brachyurus* with isolates of *Trichoderma* spp. on soybean. Biological Control, v. 152, 2020, p. 104-425.
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.10442>

Dennis, C. and Webster, J. (1971) Antagonistic Properties of Species-Groups of *Trichoderma*: II. Production of Volatile Antibiotics. Transactions of the British Mycological Society, 57, 363-369.

Díaz, J. H. C., & Bravo, M. D. C. S. (2015). Identificación de microorganismos del género *Phytophthora* asociados a especies de *Quercus* sp. y *Pinus* sp., en los departamentos de Guatemala y Sacatepéquez. Ciencia, Tecnología y Salud, 2(1), 47-52.

Díaz, M., Rodríguez, A., & Mora, J. 2013. Patogenicidad de *Phytophthora* spp. en *Tectona grandis* L.f. (teca) en Costa Rica. Revista Forestal Mesoamericana Kurú, 10(1), 117-124.

Donoso, R., Jorquera, M. A., Acuña, J. J., & Mora, M. L. 2008. Efecto de *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma virens* sobre el crecimiento de plántulas de tomate y su incidencia en la pudrición radical causada por *Rhizoctonia solani*. Revista Chilena de Historia Natural, 81(3), 329-336.

Flores, J. J., Jaramillo, J. A., & Romero, J. 2010. Muerte ascendente de *Tectona grandis* L.f. (teca) en el trópico húmedo del Ecuador. Revista Forestal Mesoamericana Kurú, 9(2), 181-188.

Fróna D., Szenderák J., Harangi-Rákos M. (2019). The challenge of feeding the world. Sustainability 11(20), 5816. <https://doi.org/10.3390/su11205816>

Guédez, C., L. Cañizalez, C. Castillo y R. Olivar. 2012. Evaluación in vitro de aislamientos de *Trichoderma harzianum* para el control de *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii* y *Fusarium oxysporum* en plantas de tomate. Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología 32: 44-49.



- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. 2004. *Trichoderma* species: opportunistic avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2(1), 43-56.<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v25n2.111384>
- Keswani, C., Mishra, S., & Pandey, S. K. 2014. Application of *Trichoderma* spp. in the management of soil-borne phytopathogens. *Journal of Applied Microbiology*, 116(2), 371-380.
- Klaram R., Jantasorn A., Dethoup T. (2022). Efficacy of marine antagonist, *Trichoderma* spp. as halo-tolerant biofungicide in controlling rice diseases and yield improvement. *Biological Control* 104985. DOI:10.1016/j.biocontrol.2022.104985
- López C, Martínez A, Peñuelas G., Arteaga T, Ruiz A, Gómez T y Palmero D. 2013. Presencia de aislamientos homotálicos de *Phytophthora infestans* en cultivos de papa (*Solanum tuberosum* L.) tratados con metalaxil en el Valle Toluca, México. ITEA .109 (4):408-414. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-10-12-0962-PDN>.
- Martínez, A. L., Monte, E., & Carmona, M. A. 2008. Mecanismos de acción de *Trichoderma* spp. en el control de patógenos fúngicos. *Revista Argentina de Microbiología*, 40(2), 107-120.
- Masaquiza Chango, C. E. (2019). Caracterización morfológica y molecular de hongos asociados a la rizósfera de plantas de café en la isla Santa Cruz–Galápagos (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
- Medeiros, H. A., de Melo, I. S., de Azevedo, J. L., & de Oliveira, J. T. A. 2017. *Trichoderma* spp. as potential agents for the control of plant-parasitic nematodes. In: Biological control of plant diseases (pp. 433-448). Academic Press.
- Morales, J., Pérez-Cordero, L. & Anaya-Chamorro, L. 2020. Potencial de *Trichoderma* spp. como agente de control biológico de *Phytophthora* spp. en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Agronomía Costarricense*, 44(2), 1-15.
- Nava-Pérez, E; García-Gutiérrez, C; Camacho-Báez, JR; Vázquez-Montoya, EL. 2012. Bioplaguicidas: una opción para el control biológico de plagas. Ra Ximhai :17-30. DOI: <https://doi.org/10.35197/rx.08.03.e2.2012.03.en>.
- Nieto-Rodríguez, M., Valencia-Viteri, J. A., & Mena-Vásconez, P. 2014. Caracterización genética de poblaciones de *Tectona grandis* L.f. (teca) en Ecuador. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 11(1), 83-94



- Palacios, C. W. S., Sánchez, N. M. R., Rosado, J. T. P., Puga, E. P., Cumbicus, J. J., Olaya, L. A., & Párraga, A. G. D. (2023). Aislamiento y evaluación de cepas nativas de *Trichoderma* spp., como promotor de desarrollo radicular. *CIENCIA UNEMI*, 16(42), 45-54.
- 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*. *Journal of Science and Research*. 6, 1 (ene. 2021), 109–124.
- Pineda- Insuasti J.A., Benavides-Sotelo E.N., Duarte-Trujillo A.S., Burgos-Rada C.A., Soto-Arroyave C.P., Pineda-Soto C.A., Álvarez-Ramos S.E. (2017). Producción de biopreparados de *Trichoderma* spp: una revisión. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* 51(1), 47-52. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223153894008>
- RAJANI, P.; Rajasekaran, C.; Vasanthakumari, M.; Olsson, S.; Ravikanth, G.; Shaanker, R. Inhibition of plant pathogenic fungi by endophytic *Trichoderma* spp. through mycoparasitism and volatile organic compounds. *Microbiological Research*, v. 242, 2020, p. 126-595. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126595>
- Rebolledo-Prudencio O.G., Dautt-Castro M., Estrada-Rivera M., González-López M., Jijón-Moreno S., Casas-Flores S. (2020). *Trichoderma* in the rhizosphere: an approach toward a long and successful symbiosis with plants. En New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering (pp. 3-38). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819453-9.00001-5>
- Romero, V., Aragón, L., Casas, A., & Apaza, W. (2022). Efficiency of *Trichoderma viride* as a biocontrol agent for *Phytophthora capsici* in Pepper (*Capsicum annuum* L.). *Peruvian Journal of Agronomy*, 6(3), 229-238. <https://doi.org/10.21704/pja.v6i3.1975>
- Samuels, G. J., Dodd, S. L., Gams, W., Castlebury, L. A., & Petrini, O. 2012. *Trichoderma* species associated with the green mold disease of *Agaricus bisporus*. *Mycologia*, 104(2), 334-343.
- Sánchez-García B.M., Espinosa-Huerta E., Vilordo-Pineda E., Rodríguez-Guerra R., Mora-Avilés M.A. (2017). Identificación molecular y evaluación antagónica in vitro de cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre hongos fitopatógenos de raíz en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Montcalm. *Agrociencia* 51(1), 63-79. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30249773006>



Santana-Díaz T., Castellanos-González L. (2018). Efecto bioestimulante de *Trichoderma harzianum* Rifai en posturas de Leucaena, Cedro y Samán. Colombia Forestal 21(1), 81-90. DOI:10.14483/2256201X.11744

Sharma A., Salwan R., Kaur R., Sharma R., Sharma V . (2022). Characterization and evaluation of bioformulation from antagonistic and flower inducing *Trichoderma asperellum* isolate UCRD5. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 102437. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102437>

Vázquez-Martínez J.A., González-Cárdenas J.C., Chiquito-Contreras R., Sangabriel-Conde W., Alvarado-Castillo G. (2019). Evaluation of the biofertilizer potential of five species of *Trichoderma* in the production of native ear corn and hybrid under field conditions. ITEA, 115(3), 213-218. <https://doi.org/10.12706/itea.2019.006>

Vera-Cruz, E. F., Quevedo-Guerrero, J. N., Tuz-Guncay, I. G., Chabla-Carillo, J. E., & Cuenca-Sedamanos, J. A. (2023). Evaluation of *Trichoderma* in Three Peanut Varieties (*Arachis hypogaea* L.). Ciencia Y Agricultura, 20(1), 14691. <https://doi.org/10.19053/01228420.v20.n1.2023.14691>

Vicente I., Baroncelli R., Hermosa R., Monte E., Vannacci G., Sarrocco S. (2022). Role and genetic basis of specialized secondary metabolites in *Trichoderma* ecophysiology. Fungal Biology Reviews 39, 83-99. DOI:10.1016/j.fbr.2021.12.004

Vinale, F., K. Sivasithamparam, E.L. Ghisalberti, R. Marra, M.J. Barbetti, H. Li, (2008). A novel role for *Trichoderma* secondary metabolites in the interactions with plants. Physiological and Molecular Plant Pathology 72:80-86.

Harman, G. E. (2004). Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. as biological control agents. Soil Biology and Biochemistry, 36(2), 191-199.

Monroy-Barbosa, A., Bosland, P. W. (2011). Identification of novel physiological races of *Phytophthora capsici* causing foliar blight using the New Mexico recombinant inbred pepper lines set as a host differential. Journal of the American Society for Horticultural Science, 136(3), 205–210.

