

Artículo Científico

**Evaluación del efecto antagónico de las cepas de *Trichoderma* spp. contra *Phytophthora* spp. en *Tectona grandis* L.f.**

**Evaluation of the antagonistic effect of *Trichoderma* spp. strains against *Phytophthora* spp. on *Tectona grandis* L.f.**

Jonathan Gabriel Castro Castro<sup>1</sup> , Angel Virgilio Cedeño Moreira<sup>2</sup> , Carlos Eulogio Belezaca Pinargote<sup>3</sup> , Karina Margoth De La Cruz Vichicela<sup>4</sup> , Paola Margarita Suin Miranda<sup>5</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo, jonathan.castro2015@uteq.edu.ec, Quevedo, Ecuador

<sup>2</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo, acedenom@uteq.edu.ec, Quevedo, Ecuador

<sup>3</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo, cbelezaca@uteq.edu.ec, Quevedo, Ecuador

<sup>4</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo, karina.delacruz2015@uteq.edu.ec, Quevedo, Ecuador

<sup>5</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo, psuinm2@uteq.edu.ec, Quevedo, Ecuador

Autor para correspondencia: jonathan.castro2015@uteq.edu.ec

## RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar el potencial de cepas de *Trichoderma* spp. como biocontroladores de *Phytophthora* spp., el agente causante de la muerte ascendente en *Tectona grandis* (teca). Se aislaron especies de *Trichoderma* y *Phytophthora*, de suelos de plantaciones afectadas, utilizando medios de cultivo como PDA y Agar V8. Se efectuaron pruebas de antagonismo in vitro empleando cultivos duales para determinar el Porcentaje de Inhibición del Crecimiento Radial (PICR) de *Phytophthora* spp. La efectividad antagónica de las cepas de *Trichoderma* se constató mediante una evaluación comparativa, el diseño experimental constó de tres repeticiones por tratamiento, así como un control. Los resultados evidenciaron que las cepas *T. virens* 1, *T. virens* 2, *T. harzianum* y *T. longibrachiatum* alcanzaron porcentajes de inhibición del crecimiento radial de 66.26 %, 62.26 %, 59.48 % y 57.77 %, respectivamente, en comparación con el control. Estas inhibiciones significativas respaldan el uso de *Trichoderma* como alternativas sostenibles a los fungicidas químicos. La caracterización morfológica y molecular de las cepas aisladas confirmó su identidad, facilitando su implementación en programas de manejo integrado de enfermedades. Estos hallazgos sugieren que el empleo de *Trichoderma* spp. no solo puede mitigar los efectos de *Phytophthora* spp., sino también mejorar la sostenibilidad de las plantaciones de teca, promoviendo así prácticas agrícolas más ecológicas.

**Palabras clave:** Aislamiento de cepas; Biocontrol; Eficacia biológica; Inoculación; Inhibición del crecimiento.

## ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the potential of *Trichoderma* spp. strains as biocontrollers of *Phytophthora* spp. as the causal agent of the upward dieback on *Tectona grandis* (teak). *Trichoderma* and *Phytophthora* spp. were isolated from affected plantation soils using PDA and V8 Agar media. In vitro antagonism tests were carried out using dual cultures to determine the Percentage of Inhibition of Radial Growth (PICR) of *Phytophthora* spp. The antagonistic effectiveness of the *Trichoderma* strains was verified by means of a comparative evaluation, the experimental design consisted of three replicates per treatment, as well as a control. The results showed that the strains *T. virens* 1, *T. virens* 2, *T. harzianum* and *T. longibrachiatum* achieved radial growth inhibition percentages of 66.26 %, 62.26 %, 59.48 % and 57.77 %, respectively, compared to the control. These significant inhibitions support the use of *Trichoderma* as sustainable alternatives to chemical fungicides. Morphological and molecular characterization of the isolated strains confirmed their identity, facilitating their implementation in integrated disease management programs. These findings suggest that the use of *Trichoderma* spp. can not only mitigate the effects of *Phytophthora* spp. but also improve the sustainability of teak plantations, thus promoting more environmentally friendly agricultural practices.

**Keywords:** Strain Isolation; Biocontrol; Biological Efficacy; Inoculation; Growth Inhibition.

## Derechos de Autor

Los originales publicados en las ediciones electrónicas bajo derechos de primera publicación de la revista son del Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui, por ello, es necesario citar la procedencia en cualquier reproducción parcial o total. Todos los contenidos de la revista electrónica se distribuyen bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/international/).



## Citas

Castro Castro, J., Cedeño Moreira, A., Belezaca Pinargote, C., De La Cruz Vichicela, K., & Suin Miranda, P. (2025). Evaluación de cepas Antagónicas de *Trichoderma* spp., contra *Phytophthora* sp., en *Tectona grandis* L.f. CONECTIVIDAD, 6(3). <https://doi.org/10.37431/conectividad.v6i3.260>

## 1. INTRODUCCIÓN

La “muerte ascendente” en *Tectona grandis*, comúnmente conocida como teca, es causada por el patógeno *Phytophthora* spp., lo que representa un grave problema fitosanitarios en las plantaciones tropicales. Este patógeno afecta principalmente a las raíces del árbol, provocando una muerte progresiva que impacta negativamente en la productividad forestal (Erwin y Ribeiro, 1996; García *et al.*, 2013). La necesidad de buscar soluciones efectivas para este problema ha llevado a la investigación de alternativas más sostenibles en el control de enfermedades.

Tradicionalmente, se han utilizado fungicidas químicos para combatir a *Phytophthora* spp. No obstante, su uso continuo ha evidenciado ineficacia a largo plazo, debido a la capacidad de los patógenos para desarrollar resistencia, además de causar daños al medio ambiente (Barnett y Hunter, 1999). Esta problemática ha intensificado la necesidad de encontrar métodos de control biológicos que reduzcan los efectos negativos en la ecología.

En este estudio se emplearon cepas de *Trichoderma* spp., organismos que han adquirido relevancia en la agricultura debido a su notable eficacia como biocontroladores frente a una amplia gama de patógenos, entre ellos *Phytophthora* spp. Es fundamental identificar taxonómicamente las cepas, ya que su caracterización morfológica y molecular posibilita la selección de aquellas con mayor potencial antagonista, tanto en ensayos *in vitro* como en condiciones de invernadero (Sandoval *et al.*, 2014).

La selección adecuada de cepas no solo optimiza su eficacia, sino que también favorece la sostenibilidad en los sistemas agrícolas, al reducir la dependencia de fungicidas químicos, factores relevantes en donde la resistencia de los patógenos y el impacto ambiental son preocupaciones crecientes (Tyśkiewicz *et al.*, 2022; Matas *et al.*, 2023). En este contexto, la investigación sobre *Trichoderma* spp. se perfila como una alternativa prometedora dentro del manejo integrado de plagas, al fomentar prácticas agrícolas más responsables y ecológicas.

Los beneficios asociados al uso de *Trichoderma* spp. como biocontrolador no se limitan solo a la inhibición de patógenos. Evidencias reportadas en estudios anteriores señalan que estos hongos también pueden estimular el crecimiento y la resiliencia de las plantas, a través de mecanismos como el micoparasitismo y la competencia por recursos en el suelo (Tyśkiewicz *et al.*, 2022). Esto subraya el potencial de *Trichoderma* dentro de un enfoque de manejo integrado, que no solo contribuye al control fitosanitario, sino también al mejoramiento de la salud del suelo.

La incorporación de cepas de *Trichoderma* spp. en las prácticas agrícolas constituye una alternativa eficaz para reducir la dependencia de fungicidas químicos, los cuales, aunque efectivos a corto plazo, implican elevados costos económicos y afectan negativamente el medio ambiente (Matas *et al.*, 2023). Por consiguiente, el empleo de *Trichoderma* representa una estrategia viable para la protección fitosanitaria de plantaciones de teca, alineándose con los principios de sostenibilidad en la agricultura.

Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el potencial de diferentes cepas de *Trichoderma* spp. como agentes de control biológico contra *Phytophthora* spp. La identificación de cepas eficientes no solo resulta esencial para promover prácticas agrícolas sostenibles, sino que también podría contribuir significativamente a la gestión integrada de enfermedades en bosques tropicales, proponiendo alternativas viables al uso de químicos sintéticos en el manejo de enfermedades en plantaciones de teca.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Microbiología y Biología Molecular de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ) y en un invernadero experimental. El objetivo fue evaluar la capacidad antagónica de cepas de *Trichoderma* spp., como biocontrolador frente a *Phytophthora* spp., patógeno causante de la enfermedad “muerte ascendente” en plantaciones de *Tectona grandis* L.f. (teca).

### Aislamiento y caracterización de las cepas

Se recolectaron muestras de suelo en diferentes plantaciones de teca ubicadas en los cantones Quevedo, Buena Fe y Valencia, en Ecuador. Estas muestras fueron procesadas en el laboratorio utilizando técnicas de aislamiento en medios selectivos como Papa Dextrosa Agar (PDA) y Agar V8 para obtener cepas nativas de *Trichoderma* spp y *Phytophthora* spp., (Velasteguí *et al.*, 2010). Las muestras se incubaron a 28°C durante 7 días para favorecer el crecimiento de los hongos. Las colonias obtenidas se purificaron mediante subcultivos sucesivos.

### Aislamiento de *Trichoderma* spp.

Las muestras de suelo provenientes de plantaciones forestales fueron procesadas, fue pesada con 1 g y luego colocada en un matraz Erlenmeyer de 100 mL. Después 30 minutos de agitación, se obtuvo una suspensión uniforme de suelo y agua. Posteriormente, se extrajeron 20 µl de la suspensión y se distribuyeron en placas Petri.

### Aislamiento de *Phytophthora* spp.

Se utilizó la técnica del cultivo trampa específicamente manzana verde, Re-aislamiento en medio selectivo Agar jugo V8, propuesta por Erwin y Ribeiro (1996) y Díaz y Bravos (2015).

### Caracterización morfológica

Las colonias puras obtenidas se transfirieron a tubos de ensayo con medio PDA (Papa Dextrosa Agar) y se conservaron a una temperatura de 8 °C. La identificación morfológica de las especies de *Trichoderma* aisladas se realizó según los criterios de Barnett y Hunter (1998). Para ello, se prepararon microcultivos de cada muestra y se realizaron observaciones microscópicas con lente objetivo 40 X, para un aumento total de 400 y así apreciar con calidad las características morfológicas de micelio, conidióforos, fiáldes y conidias (Sánchez *et al.*, 2021).

Las cepas de *Phytophthora* spp se caracterizó a través de la guía de Erwin y Robeiro (1996), considerando varios caracteres morfológicos de las cepas (micelio, esporangio, oosporas, clamidosporas) con un microscopio Olympus BX50. Se tomaron fotografías de las estructuras fúngicas. El crecimiento del micelio se observó en placa Petri para cada individuo (García *et al.*, 2017).

### Caracterización molecular

Las muestras fúngicas fueron enviada al laboratorio ID gen ubicada en Quito. Donde se realizó la extracción de ADN por el método de extracción por fenol-cloroformo, utilizando aproximadamente 100 mg de muestra, seguida de la evaluación de la integridad y calidad del ADN mediante espectrofotometría de microvolúmenes y visualización en gel de agarosa. El ADN se diluyó hasta una concentración de aproximadamente 20 ng/uL para su amplificación mediante PCR utilizando los primers EF1-alfa: EF1-983F/EF1-2218R.

Los productos de PCR se purificaron previamente a la secuenciación por el método Sanger. Posteriormente, las secuencias obtenidas se limpian y ensamblaron utilizando programas bioinformáticos. Finalmente, se compararon las secuencias ensambladas de las muestras con la base de datos de nucleótidos de GenBank del NCBI para su identificación taxonómica. El árbol filogenético se construyó usando el programa MEGA 11 usando el método NeighborJoining Tree, evaluando la confiabilidad haciendo bootstrapping de 1000 repeticiones (Sánchez *et al.*, 2021).

### Pruebas in vitro de antagonismo

Para evaluar la capacidad de las cepas de *Trichoderma* spp., de inhibir el crecimiento de *Phytophthora* spp., se realizaron pruebas de confrontación en cultivos duales en medios de cultivo PDA y Agar V8 (Acosta *et al.*, 2021). Se colocaron discos de 5 mm de cada hongo en los extremos opuestos de placas de Petri, a una distancia de 8 cm, y se incubaron a 25°C. El crecimiento del patógeno se midió cada 24 horas durante 7 días.

Se calcularon los valores medios de porcentaje de Inhibición del Crecimiento Radial (PICR) la fórmula empleada por (Acosta-Marcano *et al.*, 2020) [1]:

Donde:

R1= radio mayor (radio de patógeno testigo).

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

Este estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Microbiología y Biología Molecular de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ) y en un invernadero experimental. El objetivo fue evaluar la capacidad antagónica de cepas de *Trichoderma* spp., como biocontrolador frente a *Phytophthora* spp., patógeno causante de la enfermedad “muerte ascendente” en plantaciones de *Tectona grandis* L.f. (teca).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

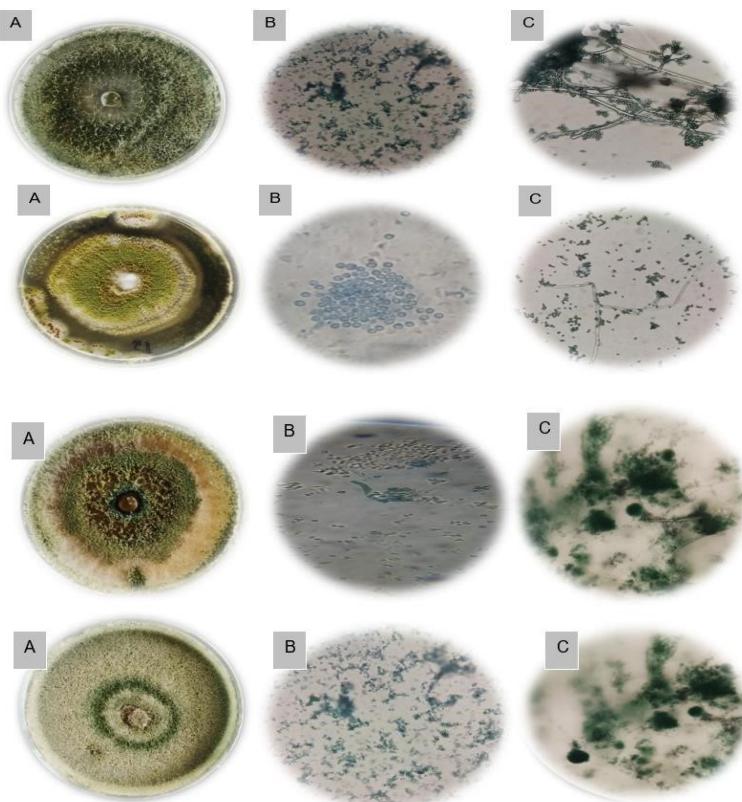
#### Aislamiento y caracterización de cepas de *Trichoderma* spp.

Se logró aislar cuatro tipos de cepas de *Trichoderma* spp. a partir de muestras de suelo recolectadas en plantaciones de teca. Cada cepa fue identificada mediante la observación detallada de su apariencia morfológica en medios de cultivo selectivos PDA. Las características específicas de crecimiento de las cepas aisladas fueron registradas exhaustivamente y se detallan en la Tabla 1. La identificación morfológica de las cepas y las estructuras reproductivas microscópicas observadas. (Figura 1).

**Tabla 1.** Características morfológicas de las diferentes cepas de *Trichoderma* spp

Tipo de cepa	Color	Forma	Número de anillo concéntrico	Textura del micelio	Tipo de esporulación
<i>Trichoderma</i> 1	Verde oscuro	Entera	1	Vellosa	Dispersa
<i>Trichoderma</i> 2	Verde Claro	Irregular	1	Polvorienta	Dispersa
<i>Trichoderma</i> 3	verde	Irregular	1	Granulada	Dispersa
<i>Trichoderma</i> 4	Verde pálido	Entera	2	Vellosa	Dispersa

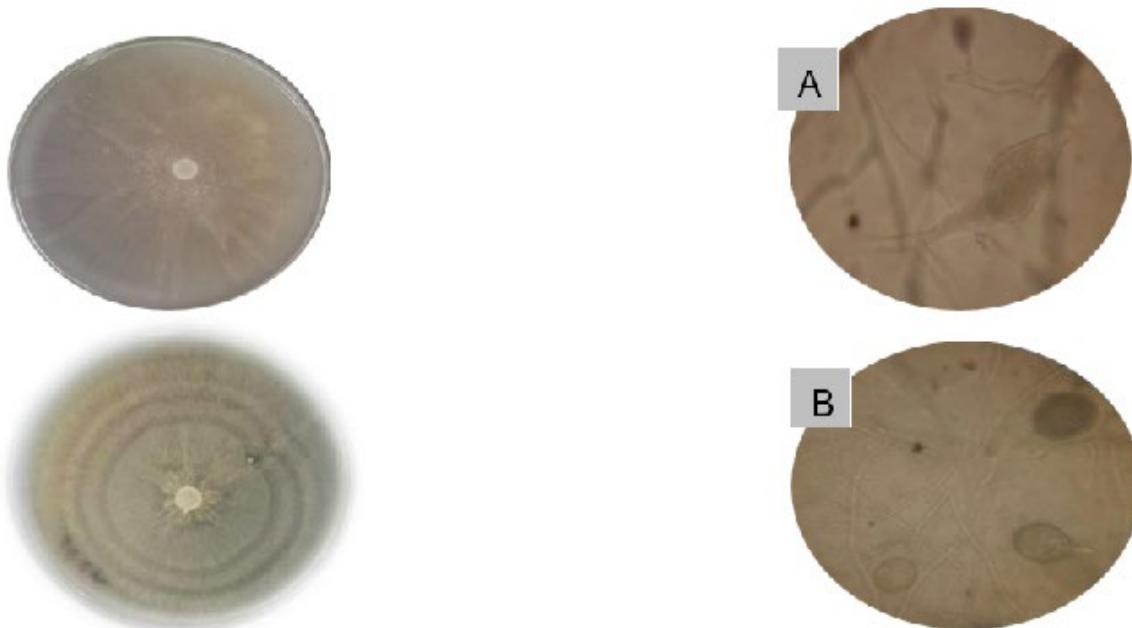
**Figura 1.** Estructuras microscópicas y macroscópicas óptica mostrando las estructuras reproductivas de las cepas nativas de *Trichoderma* spp, A) Formación de anillos concéntricos. B) Forma de los conidióforos.) C) Hifas y Fiáldes a 40X.



### Aislamiento y caracterización de cepas de *Phytophthora* spp.

Se logró aislar dos cepas de *Phytophthora* spp., partir de muestras de suelo recolectadas en plantaciones de teca que presentaban sintomatología de la enfermedad muerte ascendente. Cada tipo de cepa se identificó mediante su apariencia morfológica en medios de cultivo selectivos Agar V8, que proporciona condiciones óptimas para el crecimiento para la identificación y diferenciación entre cepas, tal como se muestra en la Figura 2.

**Figura 2.** Estructuras microscópicas y macroscópicas óptica mostrando las estructuras reproductivas de las cepas asexual de las cepas de *Phytophthora* spp A= Esporangio elipsoides papilados, B= Esporangio con formas irregulares, Clamidosporas globosas, terminales, 40X



### Identificación Molecular de cepas de *Trichoderma* spp

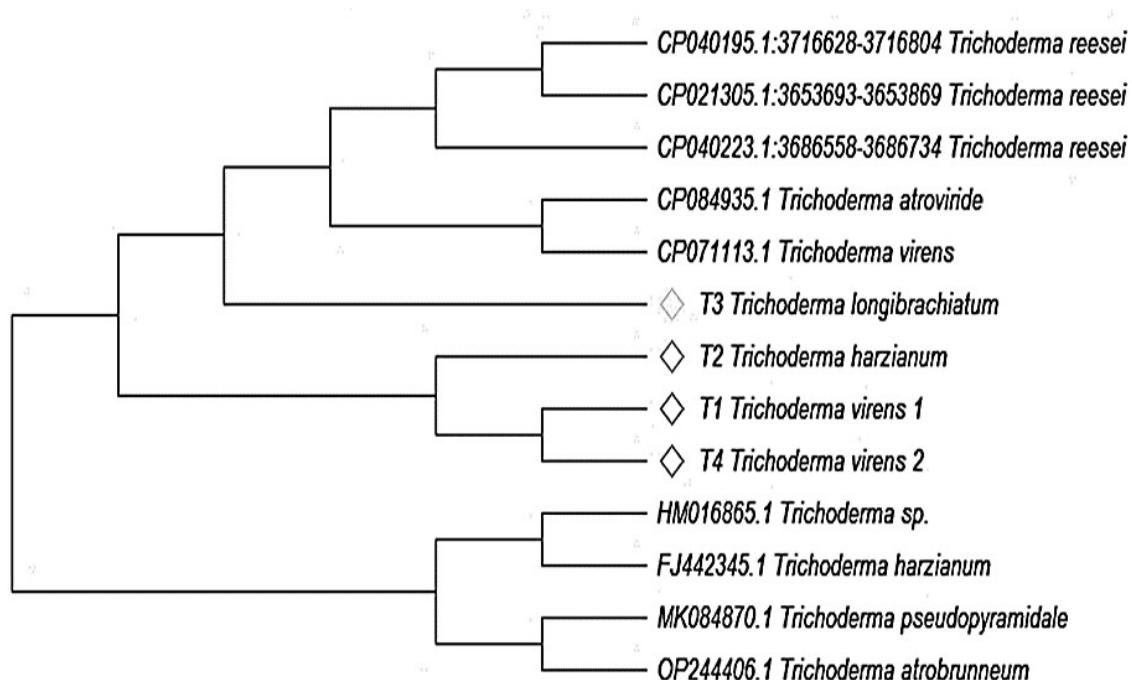
Los cuatro aislados de *Trichoderma*, previamente identificados morfológicamente, fueron sometidos a análisis molecular para confirmar su clasificación genética. Las secuencias obtenidas de los aislados fueron comparadas con las disponibles en la base de datos GenBank a través de un análisis tipo BLAST. Los resultados del análisis filogenético mostraron que todos los aislados pertenecen al género *Trichoderma*, corroborando la identificación morfológica previa como se detalla la Tabla 2.

**Tabla 2.** Identificación molecular de los aislados de *Trichoderma* spp. en plantaciones de teca en la caracterización genética de *Trichoderma* mediante análisis filogenético

Código del microorganismo	Procedencia de la muestra	Vecino más cercano (Nro. de acceso)	Puntuación máxima	Identificación Máxima	Identidad final
T1	Cantón Buena fe	<i>Trichoderma virens</i> XM_014101441.1	99.35	100	<i>Trichoderma virens</i>
T2	Cantón Valencia	<i>Trichoderma harzianum</i> XM_024913138.1	100	100	<i>Trichoderma harzianum</i>
T3	Cantón 24 de Mayo	<i>Trichoderma longibrachiatum</i> MK910052.1	99.34	100	<i>Trichoderma longibrachiatum</i>
T4	Cantón Quevedo	<i>Trichoderma virens</i> XM_014101441.1	99.35	100	<i>Trichoderma virens</i>

El análisis filogenético permitió identificar las especies más frecuentes en este estudio, como *T. virens* y *T. harzianum*. La caracterización molecular fue esencial para validar las observaciones morfológicas, asegurando la selección correcta de las cepas destinadas a las pruebas de antagonismo en las siguientes fases del estudio.

**Figura 3.** Relaciones filogenéticas de especies de *Trichoderma* identificadas mediante análisis molecular, preservando la clasificación genética de los aislados dentro de este género.



## Identificación Molecular de las cepas de *Phytophthora* spp.

La Tabla 3 presenta los resultados de la identificación molecular de dos aislados de *Phytophthora* (P1 y P2), obtenidos a partir de muestras de suelo recolectadas en plantaciones de teca. Ambos aislados fueron identificados como *P. palmivora* con un alto grado de similitud genética, mostrando un 100 % de identidad. Estos hallazgos fueron clave para comprender la estructura genética de *Phytophthora* en las plantaciones estudiadas y resultan relevantes para el desarrollo de estrategias de manejo fitosanitario efectivas frente a enfermedades asociadas a este patógeno en plantaciones de teca.

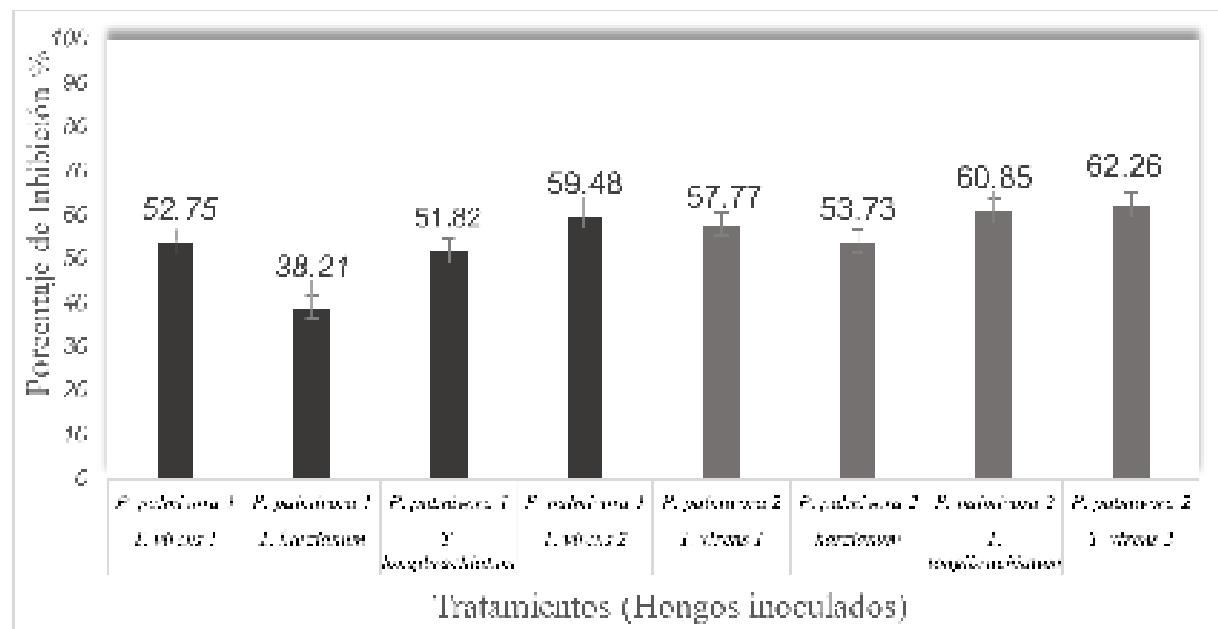
**Tabla 3.** Identificación molecular de los aislados de *Phytophthora* spp. en plantaciones de teca en la caracterización genética de *P. palmivora* mediante análisis filogenético

Código del microorganismo	Procedencia de la muestra	Vecino más cercano (Nro. De acceso)	Puntuación máxima	Identificación Máxima	Identidad final
P1	Cantón Quevedo	<i>Phytophthora palmivora</i> MT052675.1	99.35	1W00	<i>Phytophthora palmivora</i>
P2	Cantón Buena fe	<i>Phytophthora palmivora</i> MH401199.1	99.35	100	<i>Phytophthora palmivora</i>

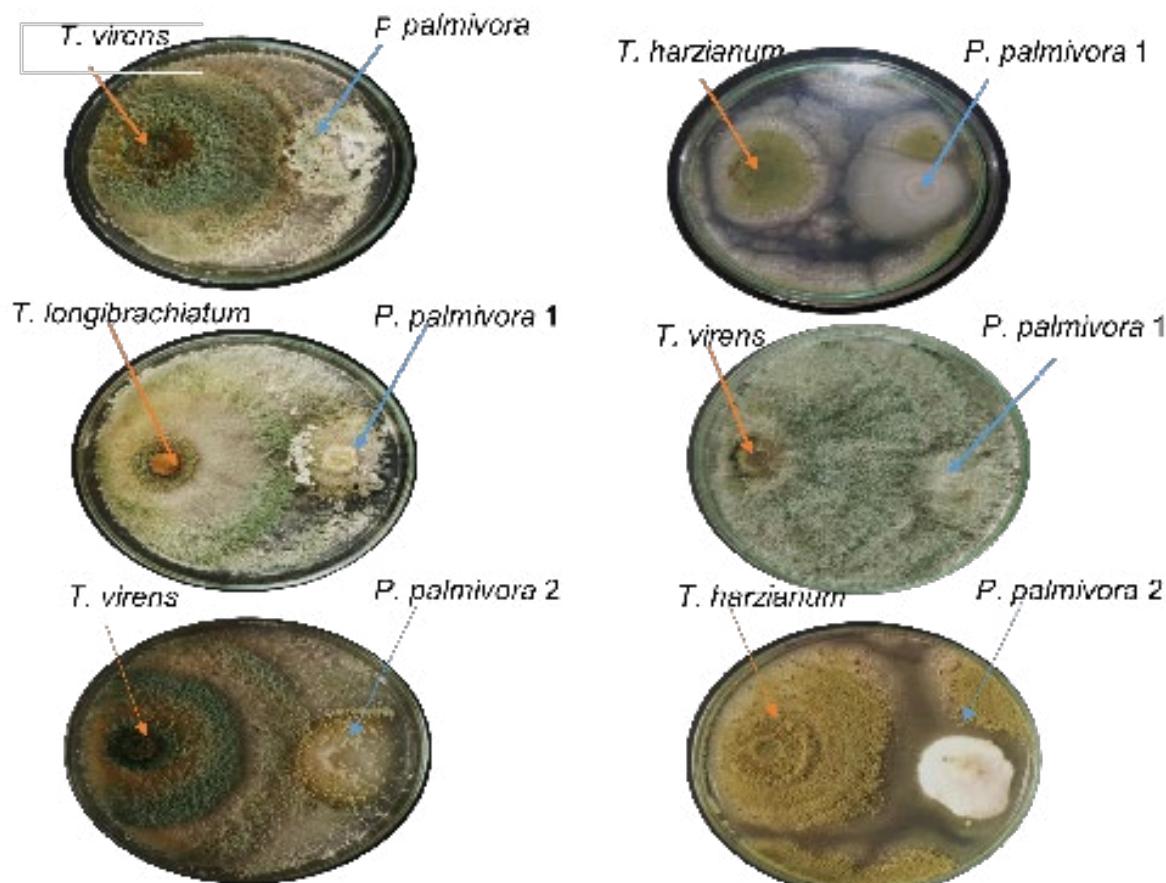
## Capacidad antagónica In vitro de cepas nativas de las cuatro cepas de *Trichoderma* frente a las dos cepas de *Phytophthora* en medio de cultivo de PDA

Se evaluó la eficiencia de las cuatro cepas nativas de *Trichoderma* en la inhibición del crecimiento de dos especies de *Phytophthora* en un medio de cultivo de PDA. Se observó que *T. virens* 2 mostró una mayor efectividad antagónica en comparación con las otras cepas de *Trichoderma* evaluadas frente a las dos cepas de *Phytophthora*. Esto se reflejó en los porcentajes de inhibición del crecimiento del patógeno de 59.48 %, 60.85 % y 62.26 %, respectivamente. Estos valores muestran la capacidad de *T. virens* para inhibir el crecimiento de los fitopatógenos, como se muestra en la Figura 4. Mientras, la Figura 5 proporciona una comparación visual de los efectos inhibidores de todas las cepas de *Trichoderma* evaluadas.

**Figura 4.** Cultivos duales de las cuatro cepas de *Trichoderma* (*T. virens* 1, *T. harzianum* *T. longibrachiatum* y *T. virens* 2) contra las dos cepas *P. palmivora* en medio de PDA.



**Figura 5.** Cultivos duales de las cuatro cepas de *Trichoderma* (*T. virens* 1, *T. harzianum* *T. longibrachiatum* y *T. virens* 2) contra las dos cepas *P. palmivora* en medio de PDA



T. longibrachiatum



P. palmivora 2

T. virens 2



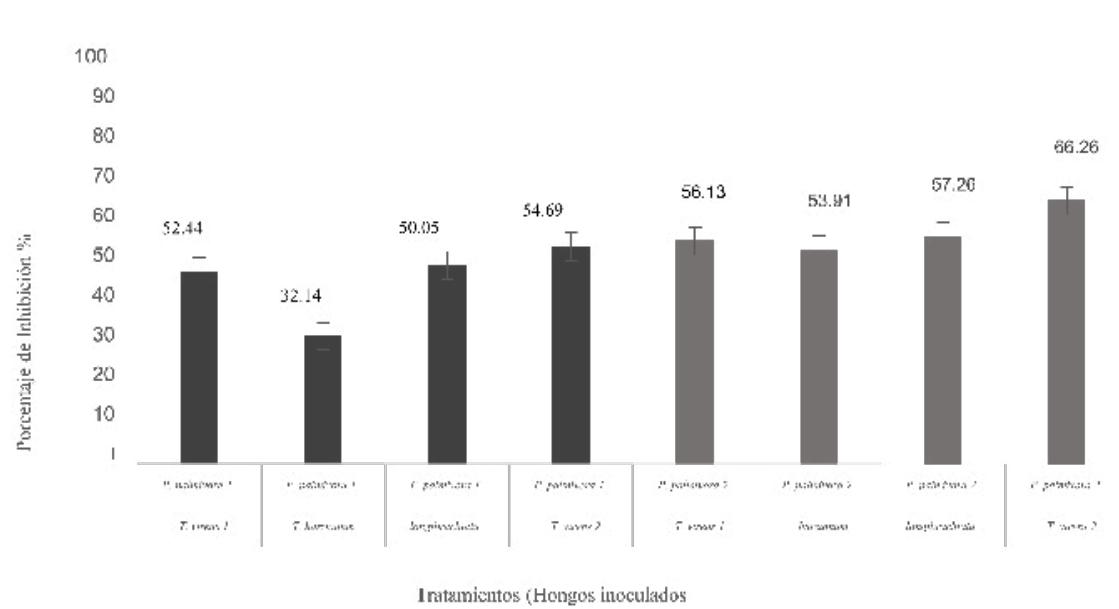
P. palmivora 2

Las cepas de *T. virens* demostraron la mayor capacidad de inhibición en ambos medios de cultivo, superando a otras especies de *Trichoderma*.

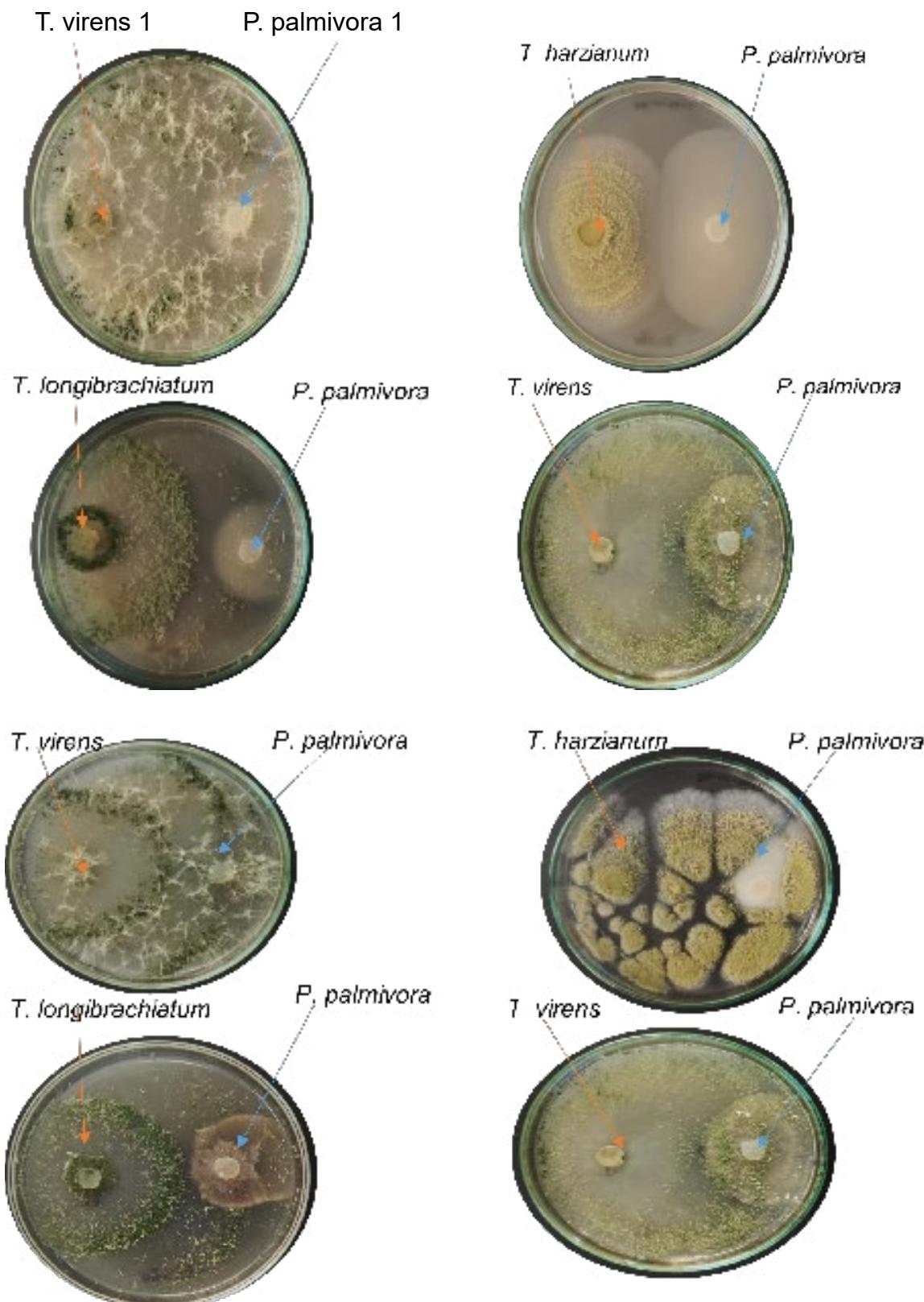
#### Capacidad antagónica In vitro de cepas nativas de las cuatro cepas de *Trichoderma* frente a las dos cepas de *Phytophthora* en medio de cultivo de V8

Se detectaron diferencias en los resultados de evaluación de la eficacia de cuatro cepas nativas de *Trichoderma* en la inhibición del crecimiento de dos especies de *Phytophthora* en un medio de cultivo de Agar V8. Se observó que *T. virens* mostró una mayor efectividad antagónica en comparación con las otras cepas de *Trichoderma* evaluadas frente a las dos cepas de *Phytophthora*. Esto se reflejó en los porcentajes de inhibición del crecimiento del patógeno de 56.13 %, 57.26 % y 66.26 %, donde *T. virens* exhibió resultados destacados en la capacidad de inhibir el crecimiento de los fitopatógenos como se muestra en la Figura 6. Mientras, la Figura 7 proporciona una comparación visual de los efectos inhibidores de todas las cepas de *Trichoderma* evaluadas.

**Figura 6.** Evaluación de la eficacia de cepas nativas de *Trichoderma* spp. (*T. virens* 1, *T. harzianum*, *T. longibrachiatum* y *T. virens* 2) inhibición del crecimiento dos cepas *P. palmivora* en medio de Agar V8.



**Figura 7.** Cultivos duales de las cuatro cepas de *Trichoderma* (*T. virens* 1, *T. harzianum* *T. longibrachiatum* y *T. virens* 2) contra las dos cepas *P. palmivora* en medio de Agar V8.



La lucha contra los fitopatógenos en cultivos de *T. grandis* representa un desafío importante, especialmente por la presencia de *Phytophthora* spp., que causa la muerte ascendente de estas plantas. El empleo de cepas de *Trichoderma* spp. se ha consolidado como una estrategia eficaz dentro del control biológico, proporcionando una alternativa sostenible frente a la dependencia de plaguicidas químicos. Tyśkiewicz *et al.* (2022) y Andrade-Hoyos *et al.* (2023), en su investigación han destacado que cepas como *T. virens* y *T. harzianum* muestran altos porcentajes de inhibición en el crecimiento del patógeno, con cifras que alcanzan hasta el 69.20 % de eficacia en condiciones controladas.

*Trichoderma* spp. emplea diversos mecanismos de acción, entre los que se incluyen micoparasitismo, competencia por recursos, producción de antibióticos y la inducción de resistencia sistémica en las plantas, factores que en conjunto se consolidan como aliados estratégicos en la gestión de enfermedades agrícolas (Cortez *et al.*, 2020; Oyesola *et al.*, 2024). La combinación de estos mecanismos no solo permite reducir la incidencia de *Phytophthora* spp., sino que también contribuye a mejorar la salud del suelo y la productividad del cultivo, favoreciendo un manejo sostenible y responsable con el medio ambiente (González-León, 2023).

Estudios recientes han documentado una notable diversidad genética y morfológica en aislados de *Trichoderma*, evidenciando la necesidad de emplear técnicas de identificación precisa, tanto morfológicas como moleculares, a fin de evitar errores en la delimitación taxonómica (Morales *et al.*, 2020; Barboza-García *et al.*, 2022). No obstante, uno de los principales retos en la implementación del control biológico es el limitado conocimiento de los agricultores sobre estas tecnologías. Una investigación realizada por Campo *et al.*, (2022) en Monterrey, Casanare, reveló que un alto porcentaje de los agricultores desconoce las aplicaciones y beneficios del control biológico, lo que restringe la adopción de prácticas agrícolas más sostenibles. Este desconocimiento podría estar vinculado a la persistencia de prácticas convencionales que deterioran la salud del suelo y comprometen la productividad (Carranza-Patiño, 2024).

Asimismo, Cortez *et al.* (2020) y Garza-Sánchez (2023) manifiestan que la capacitación en control biológico es un componente clave para fortalecer la resiliencia y sostenibilidad de los sistemas agrícolas, al fomentar prácticas que disminuyan la dependencia de agroquímicos y promuevan una agricultura más ecológica. Por lo que, las cepas de *Trichoderma* spp., especialmente *T. virens* y *T. harzianum*, ofrecen alternativas viables para controlar *Phytophthora* spp. en *T. grandis*, los mecanismos de acción multifacéticos de estas cepas, junto con la necesidad de una identificación precisa y un programa de capacitación adecuado para los agricultores, resaltan la importancia continua de la investigación y aplicación de prácticas agrícolas sostenibles.

#### 4. CONCLUSIONES

Los ensayos in vitro revelaron mayor capacidad antagónica al emplear la cepa de *T. virens* 1, alcanzando un 66.26 % de inhibición en el crecimiento radial del patógeno *Phytophthora* spp.,

agente causal de la enfermedad conocida como “muerte ascendente” en *T. grandis*. Resultados que respaldan la hipótesis de que el uso de *Trichoderma* spp. constituye una alternativa eficaz y sostenible frente a los métodos convencionales, contribuyendo de forma activa a la gestión integrada de enfermedades en plantaciones de teca.

La identificación precisa de las cepas aisladas, obtenida mediante su caracterización morfológica y molecular, constituye un elemento esencial para su incorporación en prácticas agrícolas. Los métodos empleados, entre ellas, el cultivo en medios selectivos y el análisis molecular, fortalecen la validez de los resultados obtenidos y respaldan su proyección para ensayos a nivel de campo.

Este estudio refuerza el papel de *Trichoderma* spp. como un elemento estratégico en el control de *Phytophthora* spp., al proporcionar alternativas innovadoras y sostenibles que podrían ser incorporadas en futuros programas de manejo agrícola. La incorporación de estas cepas en estrategias de manejo fitosanitario de enfermedades con un enfoque ecológico refuerza la necesidad de adoptar prácticas agrícolas más responsables y orientadas a la conservación ambiental.

## REFERENCIAS

- Acosta, L. T., Azania, D. K., Azania, R. (2021). Cultivo dual in vitro de cepas nativas de *Trichoderma* spp. frente a *Botrytis* sp. patógeno de *Passiflora ligularis* Juss. *Revista De investigación Agropecuaria Science and Biotechnology*, 1(4), 43–55. <https://doi.org/10.25127/riagrop.20214.720>
- Acosta-Marcano, K., González, L., Jiménez, I., Molina, G., Escaleras, J., Atencio, K. (2020). Evaluación in vitro de *Trichoderma* sp. Como biocontrolador de hongos aislados de la rizosfera de *Passiflora edulis*. / In vitro evaluation of *Trichoderma* sp. As a biocontroller of fungi isolated from the rhizosphere of *Passiflora edulis*. *REDIELUZ*, 10(1), 61-75. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/redieluz/article/view/33266>
- Andrade-Hoyos, P., Rivera-Jiménez, M. N., Landero-Valenzuela, N., Silva-Rojas, H. V., Martínez-Salgado, S. J., Romero-Arenas, O. (2023). Beneficios ecológicos y biológicos del hongo cosmopolita *Trichoderma* spp. en la agricultura: una perspectiva en el campo mexicano. *Revista Argentina de Microbiología*, 55(4), 366-377. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.06.005>
- 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., B. B. Hunter. (1999). Illustrated genera of imperfect fungi. *The American Phytopathological Society Press*. USA. 218 p.
- Belezaca Pinargote, C., Solano-Apuntes, E., Lopez-Tobar, R., Baque-Mite, R., Ávila-Loor, A., Condor-Jiménez, M., Dueñas-Alvarado, D. (2019). Hongos fitopatógenos asociados a la enfermedad de marchitez vascular y muerte regresiva en plantaciones de *Tectona grandis* L.f. (teca) en el Trópico Húmedo Ecuatoriano. *Boletín Micológico*, 33(2), 17–

29. <https://doi.org/10.22370/bolmicol.2018.33.2.1410>

Campos Mora, M., Angulo De Castro, I., Echavarría Pedraza, M. C. (2022). Evaluación de técnicas para el control biológico en cultivos agrícolas del municipio de Monterrey-Casanare, Colombia. *Revista EIA*, 20(39), 3912 pp. 1–26. <https://doi.org/10.24050/reia.v20i39.1621>

Carranza-Patiño, M., Aragundi-Sabando, L., Macias-Barrera, K., Paredes-Sarabia, E., Villegas-Ramírez, A. (2024). Conservación y Manejo Sostenible del Suelo en la Agricultura: Una Revisión Sistemática de Prácticas Tradicionales y Modernas. *Código Científico Revista de Investigación*, 5(E3), 1-28. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/nE3/303>

Chiriboga, H., Gómez, G., Garcés, K. (2015). *Trichoderma* spp. para el control biológico de enfermedades. *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)*. Paraguay.

Cortés Hernández, F. del C., Alvarado Castillo, G., Sanchez Viveros, G. (2024). *Trichoderma* spp., una alternativa para la agricultura sostenible: una revisión. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 25(2), 62–76. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v25n2.111384>

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. <https://doi.org/10.36829/63CTS.v2i1.59>

Donoso, E., Lobos, G. A., Rojas, N. (2008). Efecto de *Trichoderma harzianum* y compost sobre el crecimiento de plántulas de *Pinus radiata* en vivero. *Bosque (Valdivia)*, 29(1), 52-57.

Erwin, D. C., Ribeiro, O. K. (1996). *Phytophthora* diseases worldwide. St. Paul, MN: APS Press. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.1998.0179a.x>

García Díaz, S.E.; Pérez Vera, O.A., Hernández Colula, O., Fucikovsky-Zak, L., Méndez Montiel, J.T. (2013). Tizón foliar de la teca en vivero causada por *Ralstonia solanacearum* Biovar 4 en Tabasco, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 57, 5-10.

García-Núñez, H. G., Martínez-Campos, Á. R., Hermosa-Prieto, M. R., Montevázquez, E., Aguilar-Ortigoza, C. J., González-Esquível, C. E. (2017). Caracterización morfológica y molecular de cepas nativas de *Trichoderma* y su potencial de biocontrol sobre *Phytophthora infestans*. *Revista mexicana de fitopatología*, 35(1), 58-79. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1605-4>

Garza-Sánchez, J., Coronado-Blanco, J. M., Rodríguez-Del-Bosque, L. Á., Osorio-Hernández, E., Estrada-Drouaillet, B., Khalaim, A. I. (2023). El control biológico en la educación agrícola: una alternativa sustentable. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 9(1).

González-León, Y., Ortega-Bernal, J., Anducho-Reyes, M. A., Mercado-Flores, Y. (2023). *Bacillus subtilis* y *Trichoderma*: Características generales y su aplicación en la agricultura. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 25(1), 1-14. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.520>

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/10.1038/nrmicro797>.

- 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), 79-114.
- Morales, E. M., Lino, M. D., Ortega, E., Castellanos, P. L. (2020). Evaluación de la capacidad antagónica in vitro de cepas de *Trichoderma* spp frente a *Phytophthora cinnamomi*, fitopatógeno de *Persea americana* (Palta). *Ciencia e Investigación*, 23(1), 65-70. <https://doi.org/10.15381/ci.v23i1.18754>
- Oyesola, O. L., Tonjock, R. K., Bello, A. O., Taiwo, O. S., Obembe, O. O. (2024). *Trichoderma: A Review of Its Mechanisms of Action in Plant Disease Control*. Preprints.
- Sánchez Miranda, M. D., Moreno Mayorga, L. F., Páramo Aguilera, L. A. (2021). Identificación morfológica y molecular de especies autóctonas *Trichoderma* spp., aisladas de suelos de importancia agrícola. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 11(1), 26–42.
- Sandoval-Denis, M., Sutton, D. A., Cano-Lira, J. F., Gené, J., Fothergill, A. W., Wiederhold, N. P., Guarro, J. (2014). Phylogeny of the clinically relevant species of the emerging fungus *Trichoderma* and their antifungal susceptibilities. *Journal of clinical microbiology*, 52(6), 2112–2125.
- Tyśkiewicz, R., Nowak, A., Ozimek, E., Jaroszuk-ściseł, J. (2022). *Trichoderma*: El estado actual de su aplicación en la agricultura para el biocontrol de hongos fitopatógenos y la estimulación del crecimiento vegetal. *Int. J. Mol. Sci.*, 23, 2329.
- Valle, C. H., Pioquinto, E. B., Rodríguez, M. P. (2020). Antagonismo de microorganismos nativos sobre *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary aislada de *Solanum tuberosum* L. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 9(17), 23-43. <https://doi.org/10.23913/ciba.v9i17.96>
- Sánchez Miranda, M. D., Moreno Mayorga, L. F., Páramo Aguilera, L. A. (2021). Identificación morfológica y molecular de especies autóctonas *Trichoderma* spp., aisladas de suelos de importancia agrícola. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 11(1), 26–42. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v11i1.11715>
- Sandoval-Denis, M., Sutton, D. A., Cano-Lira, J. F., Gené, J., Fothergill, A. W., Wiederhold, N. P., Guarro, J. (2014). Phylogeny of the clinically relevant species of the emerging *Trichoderma* and their antifungal susceptibilities. *Journal of clinical microbiology*, 52(6), 2112–2125. <https://doi.org/10.1128/JCM.00429-14>
- Tyśkiewicz, R., Nowak, A., Ozimek, E., Jaroszuk-ściseł, J. (2022). *Trichoderma*: El estado actual de su aplicación en la agricultura para el biocontrol de hongos fitopatógenos y la estimulación del crecimiento vegetal. *International Journal of Molecular Sciences*, 23, 2329. <https://doi.org/10.3390/ijms23042329>
- Valle, C. H., Pioquinto, E. B., Rodríguez, M. P. (2020). Antagonismo de microorganismos nativos sobre *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary aislada de *Solanum tuberosum* L. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 9(17), 23-43. <https://doi.org/10.23913/ciba.v9i17.96>
- Velasteguí, T. F., Gutiérrez, R. C., Guerrero, F. C. (2010). Plagas y enfermedades en plantaciones

de teca (*Tectona grandis* Lf) en la zona de Balzar, provincia del Guayas. *Revista Ciencia y Tecnología*, 3(1), 15-22. <https://doi.org/10.18779/cyt.v3i1.88>