



## Efecto de metabolitos volátiles y no volátiles producidos por *Trichoderma* spp. frente a *Phytophthora palmivora*

### Effects of volatile and non-volatile metabolites produced by *Trichoderma* spp. against *Phytophthora palmivora*

Addael Cuscó Casenave-Cambet<sup>1\*</sup> , Maybel Almenares Casanova<sup>2</sup> , Yurelkys Fernández Maura<sup>1</sup> ,  
Igor Bidot Martínez<sup>1</sup> , Cony Decock<sup>3</sup> , Pierre Bertin<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Facultad Agroforestal, Universidad de Guantánamo, avenida Che Guevara km ½, carretera a Jamaica, Guantánamo 95100, Cuba

<sup>2</sup> Facultad de Biología, Departamento de Microbiología y Virología, Universidad de La Habana, San Lázaro y L, Vedado, La Habana, Cuba

<sup>3</sup> Université Catholique de Louvain, Earth and Life Institute, Louvain-la-Neuve 1348, Belgium

#### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 1/07/2025

Aceptado: 11/08/2025

#### CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no existir conflicto de intereses

#### CORRESPONDENCIA

Addael Cuscó Casenave-Cambet  
[acusco@cug.co.cu](mailto:acusco@cug.co.cu)



CF: cag081252456

#### RESUMEN

**Contexto:** *Phytophthora palmivora* (Butler) Butler es un oomiceto fitopatógeno responsable de la podredumbre oscura del fruto del cacao, causa pérdidas significativas en la producción mundial y localmente en Baracoa, Cuba. El uso de agentes de control biológico, como *Trichoderma* spp., ofrece alternativas sostenibles frente a los métodos químicos tradicionales, por su capacidad de producir metabolitos con actividad antifúngica y adaptarse a diversas condiciones ambientales. **Objetivo:** Evaluar el potencial de los metabolitos volátiles y no volátiles producidos por aislados de *Trichoderma* spp. nativos de cacaotales de Baracoa, Cuba, frente a *P. palmivora*, agente causal de la podredumbre oscura del cacao. **Métodos:** Se emplearon 28 aislados de *Trichoderma* spp. obtenidos de suelos rizosféricos de cacao. Se evaluó la actividad antagonica de sus metabolitos volátiles y no volátiles sobre el crecimiento radial de *P. palmivora* en condiciones *in vitro*, mediante pruebas de inhibición. **Resultados:** Los metabolitos volátiles de *Trichoderma* spp. mostraron efectos inhibitorios variables, se destacaron el aislado M3\_3\_2019 con una inhibición del 70%. Veintiún aislados presentaron inhibición inferior al 50%. En cuanto a los metabolitos no volátiles, 19 aislados lograron inhibición total (100%) del crecimiento de *P. palmivora*, y el resto mostró entre 64,29% y 99% de inhibición,

evidencia de mayor eficacia de los compuestos no volátiles. **Conclusiones:** Los aislados de *Trichoderma* spp. de Baracoa presentan un marcado efecto antagonista frente a *P. palmivora*, especialmente a través de metabolitos no volátiles. Estos resultados respaldan el potencial de *Trichoderma* spp. como alternativa biológica eficaz para el manejo sostenible de la podredumbre oscura del cacao.

**Palabras clave:** control biológico, efecto antagonista, fitopatógeno, podredumbre oscura del fruto del cacao

## ABSTRACT

**Context:** *Phytophthora palmivora* (Butler) Butler is a phytopathogenic oomycete responsible for dark fruit rot in cocoa, causing significant losses in global production and locally in Baracoa, Cuba. The use of biological control agents, such as *Trichoderma* spp., offers sustainable alternatives to traditional chemical methods due to their ability to produce metabolites with antifungal activity and adapt to various environmental conditions. **Objective:** To evaluate the potential of volatile and non-volatile metabolites produced by *Trichoderma* spp. isolates native to cocoa plantations in Baracoa, Cuba, against *P. palmivora*, the causal agent of dark fruit rot in cocoa. **Methods:** Twenty-eight *Trichoderma* spp. isolates obtained from cocoa rhizosphere soils were used. The antagonistic activity of their volatile and non-volatile metabolites on the radial growth of *P. palmivora* was evaluated *in vitro* using inhibition tests. **Results:** The volatile metabolites of *Trichoderma* spp. showed variable inhibitory effects, with isolate M3\_3\_2019 standing out with 70% inhibition. Twenty-one isolates showed inhibition of less than 50%. Regarding non-volatile metabolites, 19 isolates achieved total inhibition (100%) of *P. palmivora* growth, and the rest showed between 64.29% and 99% inhibition, evidence of greater efficacy of non-volatile compounds. **Conclusions:** *Trichoderma* spp. isolates from Baracoa have a marked antagonistic effect against *P. palmivora*, especially through non-volatile metabolites. These results support the potential of *Trichoderma* spp. as an effective biological alternative for the sustainable management of dark fruit rot in cocoa.

**Keywords:** antagonistic effect, biological control, phytopathogen, dark fruit rot of cocoa

## INTRODUCCIÓN

*Phytophthora palmivora* (Butler) Butler es un oomiceto de amplia gama de hospedantes que provoca graves daños en diversos cultivos como: el cacao (*Theobroma cacao* L.), la guayaba (*Psidium guajava* L.), el mango (*Mangifera indica* L.), la papaya (*Carica papaya* L.), la palma de aceite (*Elaeis* spp.), el aguacate (*Persea americana* Mill.), entre otros (Misman *et al.*, 2022). La pudrición negra del fruto de cacao es una enfermedad causada por varias especies del género *Phytophthora*, que provoca importantes pérdidas económicas valoradas del 20-30% de la producción de cacao y la muerte del 10% de las plantas a nivel mundial anualmente (ICCO, 2025). En Cuba, específicamente en este cultivo en la zona de Baracoa, se realizó un estudio que identificó la presencia *P. palmivora* como agente causal de dicha enfermedad (Fernández *et al.*, 2018).

El uso de agentes de control biológico para el manejo de las enfermedades representa una alternativa via-

ble en lugar de usar fungicidas químicos, porque son métodos considerados seguros y sin efecto residual, económicamente rentables y amigables con el medio ambiente. *Trichoderma* es un género de hongo que se utiliza ampliamente para el manejo de diferentes enfermedades de las plantas por sus características antagónicas con algunas plagas. Este hongo tiene la habilidad de competir directamente con otros microorganismos patógenos por espacio y nutrientes, lo que reduce la incidencia de enfermedades. Además, produce metabolitos antibióticos y enzimas que inhiben el crecimiento de hongos fitopatógenos (Khan *et al.*, 2020).

Otra ventaja significativa de *Trichoderma* es su capacidad para adaptarse a diversas condiciones ambientales, lo que lo hace efectivo en una amplia gama de suelos y climas. Este hongo no solo protege las raíces de las plantas frente a enfermedades, sino que también mejora la absorción de nutrientes y agua, lo que resulta en un mejor crecimiento y rendimiento

de los cultivos. Al reducir la necesidad de productos químicos, promueve una agricultura más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

Por estas razones varias investigaciones demostraron los efectos de los compuestos volátiles y no volátiles producidos por *Trichoderma* (Asniah *et al.*, 2021; Fragoso Silva *et al.*, 2025), que permiten el uso de estos metabolitos en la formulación de bioproductos. Basados en estos aspectos, el objetivo de esta investigación fue evaluar el potencial de los metabolitos volátiles y no volátiles producidos por aislados de *Trichoderma* spp. nativos de los cacaotales de Baracoa, Cuba frente a *P. palmivora* agente causal de la podredumbre oscura del fruto de cacao.

## MATERIALES Y MÉTODOS

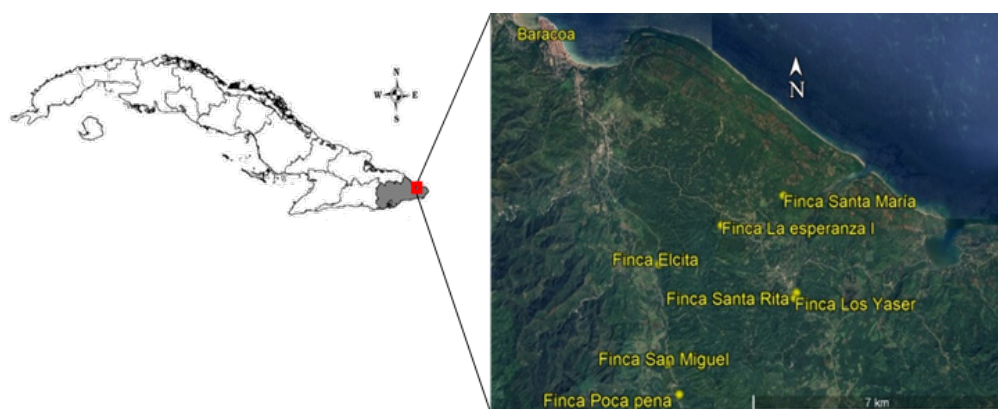
Se utilizaron 28 aislados de *Trichoderma* spp. obtenidos en 2019 y 2022 de muestras de suelo rizoférico de plantas de *Theobroma cacao* L. de siete fincas productoras de cacao (Figura 1). Estas áreas productivas pertenecen a la Empresa Agroforestal y Coco en el municipio Baracoa, pertenecientes al Ministerio de la Agricultura, en la provincia Guantánamo, Cuba. Se utilizó la cepa Poa2 de *P. palmivora* aislada por Fernández *et al.* (2018) en los cultivos de cacao de este municipio.

### Efecto en el crecimiento micelial de *P. palmivora* de los compuestos volátiles producidos por *Trichoderma* spp.

El efecto de los compuestos volátiles producidos por *Trichoderma* spp. sobre el crecimiento radial de *P.*

*palmivora* se determinó según la metodología descrita por Steyaert *et al.* (2016), con algunas modificaciones. Se inocularon placas con medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA) con un disco de micelio del margen de la colonia de un cultivo de *Trichoderma* spp. en crecimiento activo (3 días). Por otra parte, se inocularon placas con PDA adicionales con un disco de micelio del margen de la colonia de *P. palmivora* en crecimiento activo (3 a 5 días). Se sustituyó la tapa de la placa Petri con el cultivo de *Trichoderma* spp. por la placa Petri inoculada con *P. palmivora* de modo que ambos hongos quedaron uno frente al otro. *P. palmivora* debe invertirse sobre *Trichoderma* spp. para evitar contaminación por los conidios fúngicos micoparásitos. Se sellaron ambas placas Petri con Parafilm M. y se incubaron a 25 °C en condiciones de luz/oscuridad de 12/12 h durante 5 días.

Para el control, se utilizó una placa sin inocular en lugar del cultivo de *Trichoderma*. La medición del radio de la colonia de *P. palmivora* en los tratamientos y el control se realizó para calcular el porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR). Las mediciones se realizaron al quinto día después de la inoculación. Para cada cepa se utilizaron cuatro placas Petri una como control y tres réplicas con el antagonista. El PICR se calculó mediante la fórmula: "PICR = [(C-T)/C] \* 100" utilizada por Zohair *et al.* (2018). Donde: C = radio de las colonias de *P. palmivora* creciendo en placas Petri con PDA libre de antagonistas. T = diámetro de las colonias de *P. palmivora* creciendo en placas Petri con PDA enfrentadas con los aislados antagonistas.



**Figura 1.** Ubicación geográfica de los sitios de recolección de muestras para el aislamiento de *Trichoderma* spp.

### Efecto en el crecimiento micelial de *P. palmivora* de los compuestos no volátiles producidos por *Trichoderma* spp.

A placas con PDA se les colocó celofán y se inoculó centralmente con un disco de micelio del margen de una colonia de *Trichoderma* spp. en crecimiento. Se incubaron a 25 °C en condiciones de luz/oscuridad de 12/12 h durante cuatro días para evitar que las hifas tuvieran contacto directo con el medio de cultivo. Luego se retiró el celofán e inoculó la misma placa con un disco de micelio del margen de la colonia en crecimiento activo de *P. palmivora*. Se incubó como en el epígrafe anterior por siete días y se midió el radio de la colonia de *P. palmivora* para calcular el PICR. A las placas de control también se les colocó celofán, pero no se inocularon y estuvieron en las mismas condiciones de temperatura y de luz/oscuridad por cuatro días, luego se retiró el celofán y se inoculó un disco de micelio de *P. palmivora*.

### Análisis estadístico

Se utilizó IBM SPSS Statistics versión 22 para analizar los datos obtenidos. La normalidad de los datos se verificó mediante la prueba de Kolmogorov-Smir-

nov y la homogeneidad de varianza con la prueba de Levene. Luego, las diferencias entre los aislados se evaluaron mediante la prueba de Kruskal-Wallis, y se aplicó la prueba de Dunn como análisis post-hoc para identificar cuales difieren significativamente considerando un valor de  $p < 0,05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Efecto en el crecimiento micelial de *P. palmivora* de los compuestos volátiles producidos por *Trichoderma* spp.

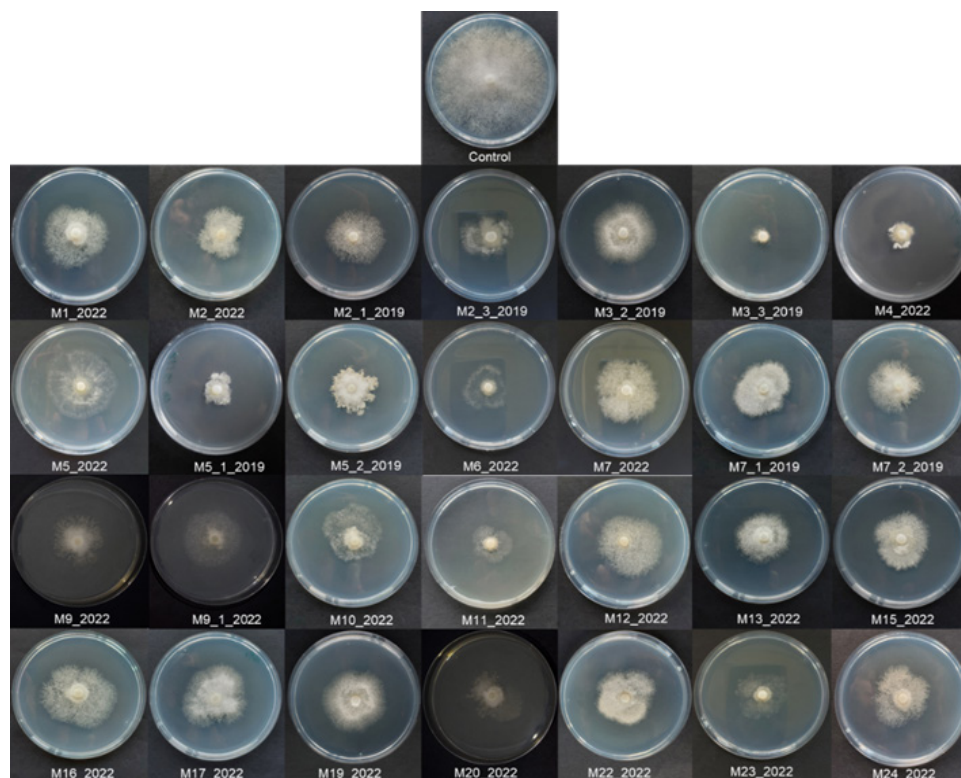
Los resultados de la acción de los metabolitos volátiles en la actividad antifúngica *in vitro* de aislados de *Trichoderma* spp. frente a *P. palmivora* variaron significativamente entre las 28 cepas evaluadas (Tabla 1 y Figura 2). El aislado M3\_3\_2019 fue el que mayor PICR tuvo (70,03%), le siguieron los aislados M4\_2022 y M7\_1\_2019 con 57,71% y 52,96%, respectivamente, con diferencias estadísticas del grupo de cepas con actividad reducida como M12\_2022 (5,45%) y M9 (11,03%).

Porcentajes similares de inhibición del crecimiento los obtuvo Birari *et al.* (2025) en *Trichoderma aspersum* frente a *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceri*. Mien-

**Tabla 1.** Porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR) de los compuestos volátiles de *Trichoderma* spp. frente a *Phytophthora palmivora*. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas para  $p < 0,05$ .

Cepas	PICR (%)		Cepas	PICR (%)	
M3_3_2019	70,03	a	M7_2_2019	20,04	cdefg
M4_2022	57,71	a	M24_2022	19,41	cdefg
M7_1_2019	52,96	ab	M5_2_2019	19,39	cdefg
M5_1_2019	46,20	abc	M1_2022	19,18	cdefg
M2_3_2019	39,85	abc	M16_2022	17,34	cdefg
M10_2022	38,76	abc	M3_2_2019	16,73	cdefg
M6_2022	37,93	abcd	M11_2022	16,42	cdefg
M19_2022	33,77	abcde	M15_2022	15,83	cdefg
M17_2022	29,78	abcde	M2_2022	15,72	defg
M9_1_2022	28,52	abcdef	M13_2022	15,33	efg
M5_2022	27,55	abcdefg	M22_2022	14,27	efg
M23_2022	25,80	abcdefg	M2_1_2019	13,41	efg
M7_2022	25,77	abcdefg	M9_2022	11,03	fg
M20_2022	24,47	bcdefg	M12_2022	5,45	g





**Figura 2.** Crecimiento micelial de *Phytophthora palmivora* frente a compuestos volátiles de *Trichoderma* spp.

tras que Yao *et al.* (2023) obtuvieron actividad antifúngica de *Trichoderma* spp. frente a *P. palmivora*, informando en su experimentación *in vitro* una reducción en el diámetro de las colonias de *P. palmivora* y una tasa de inhibición del 26,29% al 28,02%. Si se comparan los resultados obtenidos en este estudio se infiere que los compuestos volátiles de *Trichoderma* spp. aisladas en Baracoa reducen del crecimiento de la cepa Poa2 de *P. palmivora*.

Mientras que en el control *P. palmivora* cubrió toda la superficie de la placa, en los tratamientos con *Trichoderma* spp. su crecimiento se restringió entre 5,45% y 70,03%. Este patrón confirma que la capacidad de producción de los compuestos volátiles en *Trichoderma* spp. es dependiente de las características genéticas de las cepas, cada aislado tiene un perfil propio de compuestos volátiles, lo cual influye en su capacidad antagonista a distancia (Elsherbiny *et al.*, 2020).

Varios estudios indican el efecto de los compuestos volátiles de *Trichoderma* spp. antagonistas a microorganismos patógenos provenientes del suelo que afectan su crecimiento y desarrollo. Otros in-

formes indican que cada microorganismo patógeno de plantas responde de manera diferente a los compuestos volátiles (Jiménez Bremont *et al.*, 2024).

Rao *et al.* (2022) informaron que existe gran variedad de metabolitos secundarios volátiles producidos por *Trichoderma* como: 2-heptanona, 2-pentilfurano,  $\beta$ -felandreno, 3,5,5-trimetil-ciclohexeno y 6-pentil-2H-piran-2-ona, que desempeñan un papel importante en el control de los patógenos de las plantas. Este género de hongo es útil frente a una amplia variedad de enfermedades de origen fúngico que afectan distintos tipos de cultivos. Estos compuestos pueden alterar la síntesis de la pared celular y otros procesos vitales de *P. palmivora* y *Vasal pyri*, lo que limita su capacidad de infectar las plantas (Sarría *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2025).

La producción de estos metabolitos es una parte importante del mecanismo de micoparasitismo que desarrolló este hongo en particular. Al producir compuestos antifúngicos que alteran los procesos celulares se afecta el crecimiento y la propagación de *P. palmivora*, lo que reduce su capacidad para establecerse y favorece a *Trichoderma* en la competencia

por los nutrientes y el espacio. Hay evidencias además de que estos compuestos pueden activar el sistema inmunológico de las plantas y mejorar su capacidad para resistir las infecciones (Esparza Reinoso *et al.*, 2023).

### Efecto en el crecimiento micelial de *P. palmivora* de los compuestos no volátiles producidos por *Trichoderma* spp.

Todos los aislados de *Trichoderma* spp. detuvieron significativamente el crecimiento micelial de *P. palmivora* mediante la producción de inhibidores no volátiles. Del total de aislados, 19 inhibieron el 100% del crecimiento del oomiceto fitopatógeno, mientras que el resto osciló entre el 99% y el 60% de inhibición. Los aislados con los registros más bajos fueron M9\_1\_2022 (86,67%), M13\_2022 (76,07%) y M5\_2022 (64,29%), que mostraron diferencias estadísticas significativas con el resto, aunque los valores más bajos indican una reducción significativa en comparación con el control (Tabla 2 y Figura 3). El grado de inhibición puede variar debido a las cepas de *Trichoderma* spp. que se utilicen en los experimentos *in vitro* y también su respuesta es in-

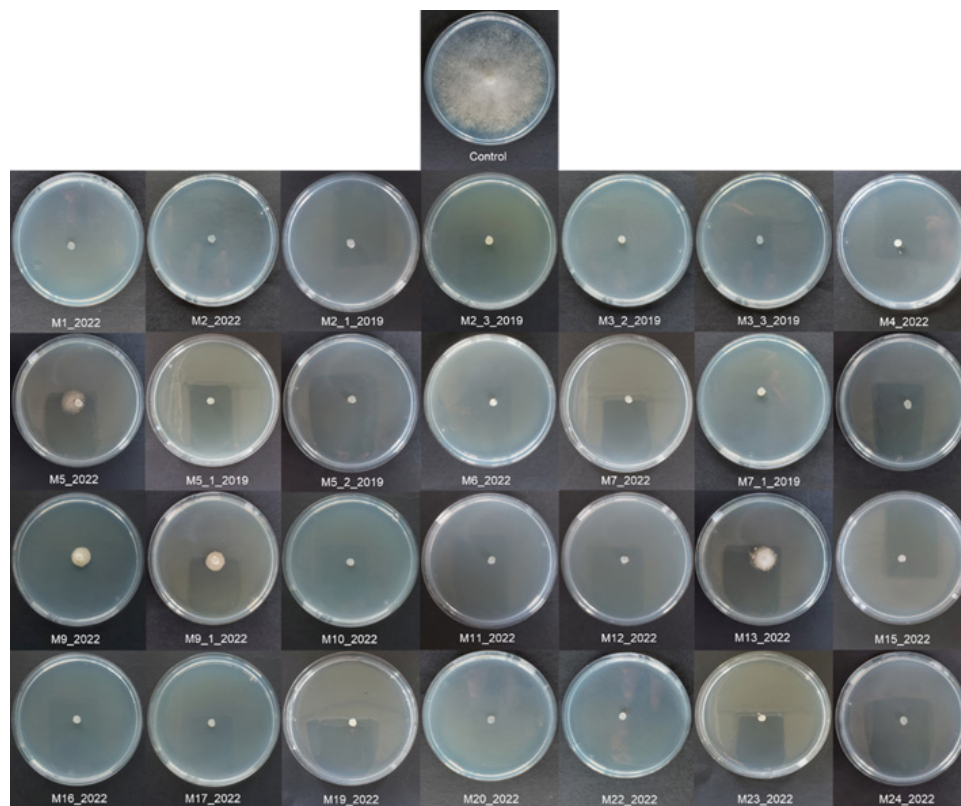
fluenciada por las especies de patógenos a las que se enfrenta. En la presente investigación, algunos de los aislados de *Trichoderma* spp. como M3\_3\_2019, M4\_2022, M7\_1\_2019, fueron altamente eficientes, mientras que algunos aislados mostraron una inhibición menor del crecimiento micelial del oomiceto fitopatógeno de prueba. Este resultado indica que los metabolitos solubles liberados en el medio poseen una acción directa sobre la estructura micelial de *P. palmivora*. La posible razón puede ser el potencial inherente para adaptarse bien en condiciones introducidas y a la agresividad de los aislados de *Trichoderma* spp. hacia los microorganismos patógenos de plantas.

En esta investigación, los resultados concuerdan con lo planteado por varios autores teniendo en cuenta que la mayoría de los aislados lograron el 100% de inhibición de *P. palmivora* mediante los compuestos no volátiles. Sarria *et al.* (2021) encontraron ciertos que ciertos aislados de *Trichoderma reesei*, *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma asperellum* con altas tasas de inhibición, que van del 81% al 98%.

En los estudios realizados por distintos investigadores se han aislado y caracterizado cerca de 390

**Tabla 2.** Porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR) de los compuestos no volátiles de *Trichoderma* spp. frente al patógeno *Phytophthora palmivora*. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas para  $p < 0,05$ .

Cepas	PICR (%)		Cepas	PICR (%)	
M10_2022	100	a	M4_2022	100	a
M11_2022	100	a	M5_1_2019	100	a
M12_2022	100	a	M5_2_2019	100	a
M15_2022	100	a	M7_1_2019	100	a
M16_2022	100	a	M7_2022	100	a
M19_2022	100	a	M7_2_2019	99,47	a
M2_1_2019	100	a	M3_3_2019	96,85	abc
M2_2022	100	a	M6_2022	96,65	abc
M2_3_2019	100	a	M1_2022	92,86	ab
M20_2022	100	a	M17_2022	92,13	abc
M22_2022	100	a	M9_2022	89,73	abc
M23_2022	100	a	M9_1_2022	86,67	bc
M24_2022	100	a	M13_2022	76,07	bc
M3_2_2019	100	a	M5_2022	64,29	c



**Figura 3.** Crecimiento micelial de *Phytophthora palmivora* frente a compuestos no volátiles de *Trichoderma* spp.

compuestos no volátiles de 20 especies conocidas de *Trichoderma* que incluyen peptaiboles, terpenos, dicetopiperazinas, esteroides, amidas, lactonas, polícétidos, derivados del ácido tetrónico, péptidos, derivados de piranona, piridinas y ciclopentenonas. Estos compuestos exhiben actividades biológicas citotóxicas, antitumorales, antifúngicas, antibacterianas, antivirales, antibióticas, antiinflamatorias, antimicroalgales, potenciadoras e inhibidoras del crecimiento de las plantas, bioinductoras, inhibidoras de la hiperplasia, siderofóricas, antagonistas, nematocidas, resistentes a las plantas y efectos inhibidores de enzimas (Li *et al.*, 2019).

La producción de metabolitos secundarios de naturaleza volátil y no volátil caracteriza al género *Trichoderma* y está comprobado que tienen un papel importante y efectivo en la eliminación de microorganismos patógenos de plantas y estimulación del crecimiento de la planta. Algunos compuestos no volátiles son reconocidos por tener una acción estimulante o por potenciar los agentes biocontrolado-

res de patógenos del suelo. Una mayor comprensión de estos compuestos y sus mecanismos de acción podría llevar a desarrollos innovadores en biotecnología agrícola y beneficiar tanto a los agricultores como al medio ambiente (Jiménez Bremont *et al.*, 2024).

De igual manera, Pakora *et al.* (2018) indicaron que los compuestos no volátiles inhiben el crecimiento y mostraron actividad antagonista tanto *in vitro* como *in vivo* frente a *P. palmivora*, *Phytophthora megakarya* y *Phytophthora capsici*. En este caso, la viridina y gliovirina tienen un efecto inhibitor significativo sobre el crecimiento micelial y la germinación de conidios, aunque juntos tienen una mayor eficacia en comparación con su uso individual.

Khan *et al.* (2020) describieron varios compuestos producidos por diferentes especies de *Trichoderma* spp. y su actividad antagonista frente a varios microorganismos patógenos fúngicos de los géneros *Alternaria*, *Botrytis*, *Rhizoctonia*, *Fusarium* y *Phytophthora*. Los resultados obtenidos en el presente es-



tudio indicaron eficiencia en la capacidad antagónica frente a este oomiceto fitopatógeno, aunque es válido señalar que los efectos de estos compuestos varían en dependencia del microorganismo patógeno y de las condiciones ambientales en que se desarrollan.

De manera general, los metabolitos volátiles y no volátiles producidos por todos los aislados de *Trichoderma* spp. redujeron el crecimiento de *P. palmivora*. La mayoría de los aislados mediante los compuestos no volátiles fueron más eficientes al inhibir entre el 64,29 y el 100% el desarrollo de *P. palmivora*. Se demostró que existen aislados de hongos como *Trichoderma* spp. procedentes de los cacaotales de Baracoa que tienen un efecto antagonista ante *P. palmivora*. La utilización de estos hongos puede ser una solución prometedora para la reducción de esta enfermedad. Esta investigación expone que se pueden utilizar nuevas estrategias para el control de *P. palmivora* en las plantaciones de cacao con productos derivados de estos compuestos.

## CONCLUSIONES

El experimento de los metabolitos volátiles revela que el aislado M3\_3\_2019 produce mayor inhibición del crecimiento de *P. palmivora* en comparación con el resto de los aislados. El crecimiento de *P. palmivora* también se retarda por los metabolitos no volátiles de *Trichoderma* spp., donde en este experimento se obtuvo más del 50% de PICR para todos los aislados. A partir de los resultados encontrados se puede concluir que los compuestos no volátiles son más eficientes que los volátiles en la inhibición del crecimiento micelial de la cepa Poa2 de *P. palmivora*, los cuales podrían utilizarse en la formulación de bioproductos. Los resultados sugieren que los aislados M3\_3\_2019, M4\_2022 y M7\_1\_2019 son los que mayor actividad antagonista mostraron para esta cepa de *P. palmivora* y pueden ser usados como agentes de control biológico frente al agente causal de la podredumbre oscura del fruto de cacao.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Academia de Investigación y Enseñanza superior de Bélgica (ARES) por el financiamiento del proyecto de investigación “Diseño y fortalecimiento de un sistema de producción agroecológica de cacao en Cuba”.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

**Conceptualización:** Debbie Addael Cuscó Casenave-Cambet, Maybel Almenares Casanova, Yurelkys Fernández Maura y Cony Decock

**Investigación:** Addael Cuscó Casenave-Cambet y Maybel Almenares Casanova

**Análisis formal:** Addael Cuscó Casenave-Cambet e Igor Bidot Martínez

**Visualización:** Addael Cuscó Casenave-Cambet

**Redacción - primera redacción:** Addael Cuscó Casenave-Cambet

**Redacción - revisión y edición:** Maybel Almenares Casanova, Yurelkys Fernández Maura, Igor Bidot Martínez, Cony Decock y Pierre Bertin

**Supervisión:** Yurelkys Fernández Maura y Cony Decock

**Recursos:** Cony Decock

**Obtención de financiación:** Pierre Bertin

**Gestión de proyectos:** Igor Bidot Martínez y Pierre Bertin

## BIBLIOGRAFÍA

- ASNIAH, A., WAHYUNI, W. and TAUFIK, M. 2021. Daya hambat *Trichoderma* sp. terhadap patogen yang berasosiasi dengan daun tanaman tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *Journal Ilmiah Membangun Desa dan Pertanian*, 6 (4): 144.
- BIRARI, B., INGLE, S., MANE, S. and BRAMHANKAR, S. 2025. Fungicidal profiling of *Trichoderma asperellum* mutants released volatile and non-volatile compounds against *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceri*. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 58 (2): 59-91.
- ELSHERBINY, A. E., AMIN, B. H., ALEEM, B., KINGSLEY, K. L. and BENNETT, J. W. 2020. *Trichoderma* volatile organic compounds as a biofumigation tool against late blight pathogen *Phytophthora infestans* in postharvest potato tubers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68 (31): 8163-8171.
- ESPARZA REYNOSO, S., PELAGIO FLORES, R. and LÓPEZ BUCIO, J. 2023. Role of volatile organic compounds in establishment of the *Trichoderma*-plant interaction. En: SCOTT, B. and MESARICH, C. (Eds.). *Plant Relationships: Fungal-Plant Interactions*. Springer International Publishing, pp. 239-252.
- FERNÁNDEZ, Y. M., LACHENAUD, P., DECOCK, C., DÍAZ RODRÍGUEZ, A. y ABREU ROME-



- RO, N. 2018. Caracterización de *Phytophthora*, agente etiológico de la pudrición negra de la mazorca del cacao en Cuba y Guyana Francesa. *Centro Agrícola*, 45 (3): 17-26.
- FRAGOSO SILVA, R. A., GONÇALVES DE OLIVEIRA, L., DA COSTA, A. F. and VIEIRA TIA-GO, P. 2025. Antagonistic activity of *Trichoderma* species on phytopathogens of *Phaseolus vulgaris* L. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, 23 (2): e9123.
- INTERNACIONAL COCOA ORGANIZATION (ICCO). 2025. *Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics*. Disponible en: <https://www.icco.org/february-2025-quarterly-bulletin-of-cocoa-statistics/>. Consultado: 02/02/2025.
- JIMÉNEZ BREMONT, J. F., GONZÁLEZ PÉREZ, E., ORTEGA AMARO, M. A., MADRIGAL ORTIZ, S., DUQUE ORTIZ, A. and MENDOZA MENDOZA, A. 2024. Volatile organic compounds emitted by *Trichoderma*: Small molecules with biotechnological potential. *Scientia Horticulturae*, 325: 112656.
- KHAN, R. A. A., NAJEEB, S., HUSSAIN, S., XIE, B. and LI, Y. 2020. Bioactive secondary metabolites from *Trichoderma* spp. against phytopathogenic fungi. *Microorganisms*, 8 (6): 817.
- LI, M. F., LI, G. H. and ZHANG, K. Q. 2019. Non-volatile metabolites from *Trichoderma* spp. *Metabolites*, 9 (3): 3.
- MISMAN, N., SAMSULRIZAL, N. H., NOH, A. L., WAHAB, M. A., AHMAD, K. and AHMAD AZMI, N. S. 2022. Host range and control strategies of *Phytophthora palmivora* in Southeast Asia perennial crops. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 45 (4): 991-1019.
- PAKORA, G.-A., MPIKA, J., KONE, D., DUCAMP, M., KEBE, I., NAY, B. and BUISSON, D. 2018. Inhibition of *Phytophthora* species, agents of cocoa black pod disease, by secondary metabolites of *Trichoderma* species. *Environmental Science and Pollution Research*, 25 (30): 29901-29909.
- RAO, Y., ZENG, L., JIANG, H., MEI, L. and WANG, Y. 2022. *Trichoderma atroviride* LZ42 releases volatile organic compounds promoting plant growth and suppressing *Fusarium* wilt disease in tomato seedlings. *BMC Microbiology*, 22 (1): 88.
- SARRIA, G., GARCIA, A., MESTIZO, Y., MEDINA, C., VARÓN, F., MESA, E. and HERNANDEZ, S. 2021. Antagonistic interactions between *Trichoderma* spp. and *Phytophthora palmivora* (Butler) from oil palm in Colombia. *European Journal of Plant Pathology*, 161 (4): 751-768.
- STEYAERT, J., HICKS, E., KANDULA, J., KANDULA, D., ALIZADEH, H., BRAITHWAITE, M., YARDLEY, J. and MENDOZA MENDOZA, A. 2016. Methods for the evaluation of the bioactivity and biocontrol potential of species of *Trichoderma*. En: GLARE, T. R. and MORAN-DIEZ, M. (Eds.). *Microbial-based biopesticides. Methods and Protocols*. Springer Science+Business Media, pp. 23-35.
- YAO, W., ANTHELME JOCELIN, N., N'GUESAN, J., KOFFI, A. L. F. H., EBA, M., GNAMIEN, A. and DIALLO, H. 2023. Inhibition of *Phytophthora palmivora*, causal agent of cocoa black pod disease, by using three (3) species of *Trichoderma* in three (3) cocoa-producing regions in Côte d'Ivoire. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences (IJARBS)*, 10: 8-17.
- ZHANG, Y., WU, L., LU, Y., LI, B., JIN, Z., WANG, J., BAI, R., WU, Q., FAN, Q., TANG, J., YIN, F. and HE, Y. 2025. Biocontrol activity and antifungal mechanisms of volatile organic compounds produced by *Trichoderma asperellum* XY101 against pear *Valsa* canker. *Pest Management Science*, 81 (8): 4742-4757.
- ZOHAIR, M. M., AHMED, A., SADIK, M. W., HAMMED, E. R. and SEDIK, M. Z. 2018. Promising biocontrol agents isolated from medicinal plants rhizosphere against root-rot fungi. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 15: 11-18.

#### CITAR COMO:

CUSCÓ CASENAVE-CAMBET, A., ALMENARES CASANOVA, M., FERNÁNDEZ MAURA, Y., BIDOT MARTÍNEZ, I., DECOCK, C. BERTIN, P. 2025. Efecto de metabolitos volátiles y no volátiles producidos por *Trichoderma* spp. frente a *Phytophthora palmivora*. *Centro Agrícola*, 52 (2025) e2456



Artículo de **libre Acceso** bajo los términos de una *Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional*. Se permite, sin restricciones el uso, distribución, traducción y reproducción del documento, siempre que la obra sea debidamente citada.