

Artículo de investigación

Cepas de *Trichoderma asperellum* aisladas de suelos semiáridos: su potencial *in vitro* para controlar *Colletotrichum acutatum* asociado a flores de limón Persa

Trichoderma asperellum strains isolated from semi-arid soils: *in vitro* potential to control *Colletotrichum acutatum* associated with Persian lime flowers

Nadia Landero Valenzuela ¹, Tania Guerra Manzano ¹, Luis Alfonso Aguilar Pérez ², Rosalinda Mendoza Villarreal ¹, Petra Andrade Hoyos ³, Brenda Ponce Lira ^{4,*}

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; nadialandero00@gmail.com, gumtcbtis75@gmail.com, rosalindamendoza@hotmail.com.

² Universidad Veracruzana; aguilar.luis1410@yahoo.com.mx

³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, petra.andrade.hoyos@gmail.com,

⁴ Universidad Politécnica de Francisco I. Madero; bponce@upfim.edu.mx,

*Autor para correspondencia: bponce@upfim.edu.mx

Recibido:

22/04/2026

Aceptado:

19/08/2026

Publicado:

29/08/2026

Como citar:

Landero Valenzuela N., Guerra Manzano T., Aguilar Pérez L.C., Mendoza Villarreal R., Andrade Hoyos P., Ponce Lira B. (2026). Cepas de *Trichoderma asperellum* aisladas de suelos semiáridos: su potencial *in vitro* para controlar *Colletotrichum acutatum* asociado a flores de limón Persa. Universitas Agri 5(2): e67. <https://doi.org/10.59741/agri.v5i2.67>

RESUMEN

En las regiones citrícolas de México, la antracnosis causada por *Colletotrichum acutatum* es una enfermedad endémica que cada año ocasiona pérdidas severas en la producción de limón Persa (*Citrus × latifolia*). El uso de *Trichoderma asperellum* como agente de control biológico representa una alternativa viable a los pesticidas sintéticos para el manejo de este patógeno, debido a sus diversos mecanismos de acción y a la ausencia de los efectos negativos asociados con los fungicidas químicos. El objetivo de este estudio fue evaluar *in vitro* el efecto antagonista de cepas de *Trichoderma asperellum* aisladas de regiones semiáridas sobre el desarrollo de *C. acutatum*, agente causal de la antracnosis en limón Persa en Veracruz, México. Los aislamientos de *Trichoderma asperellum* se obtuvieron a partir de suelos de regiones semiáridas de Coahuila y Durango, mientras que el patógeno fue aislado de tejido vegetal infectado de limón Persa. Se establecieron cinco tratamientos, incluido un testigo absoluto, cada uno con cuatro repeticiones. Las variables evaluadas incluyeron la colonización de *Trichoderma asperellum* sobre el patógeno, así como la producción de metabolitos volátiles y no volátiles. Los resultados indican que las dos cepas aisladas de Durango, identificadas como *Trichoderma asperellum*, presentaron la mayor capacidad de colonización sobre *C. acutatum* a lo largo del tiempo. Asimismo, estas cepas mostraron el mayor efecto inhibitorio sobre el crecimiento micelial del patógeno mediante la acción de metabolitos no volátiles. En contraste, los metabolitos volátiles no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, lo que sugiere una baja o nula participación de estos compuestos en la inhibición del patógeno bajo las condiciones evaluadas.

Palabras clave: antagonismo, Microorganismos benéficos, Patógeno, cítricos, control biológico.

ABSTRACT

In citrus-growing regions of Mexico, anthracnose caused by *Colletotrichum acutatum* is an endemic disease that each year causes severe losses in Persian lime (*Citrus × latifolia*) production. The use of *Trichoderma asperellum* as a biological control agent represents a viable alternative to synthetic pesticides for the management of this pathogen, due to its diverse mechanisms of action and the absence of the negative effects associated with chemical fungicides. The objective of this study was to evaluate in vitro the antagonistic effect of *Trichoderma asperellum* strains isolated from semi-arid regions on the development of *C. acutatum*, the causal agent of anthracnose in Persian lime in Veracruz, Mexico. *Trichoderma asperellum* isolates were obtained from soils of semi-arid regions in Coahuila and Durango, while the pathogen was isolated from infected Persian lime plant tissue. Five treatments were established, including an absolute control, each with four replications. The evaluated variables included *Trichoderma asperellum* colonization over the pathogen, as well as the production of volatile and non-volatile metabolites. The results indicate that the two strains isolated from Durango, identified as *Trichoderma asperellum*, exhibited the greatest colonization capacity over *C. acutatum* over time. Likewise, these strains showed the highest inhibitory effect on the mycelial growth of the pathogen through the action of non-volatile metabolites. In contrast, volatile metabolites did not show statistically significant differences among treatments, suggesting a low or null involvement of these compounds in pathogen inhibition under the evaluated conditions.

Key words: Antagonism, beneficial microorganism, pathogen, citrus, biological control.

1. INTRODUCCIÓN

El limón (*Citrus limon* (L.) Burm. f.) ocupa el segundo lugar en importancia entre los cítricos cultivados en México, tanto por su consumo en fresco (7.2 kg per cápita) como por su relevancia industrial. En 2024, la producción nacional alcanzó las 3.3 millones de toneladas, de las cuales aproximadamente el 50% correspondieron a limón Persa (*Citrus × latifolia* Tanaka ex Q. Jiménez), uno de los cultivares más apreciados por su rendimiento, contenido de jugo y aceptabilidad en mercados de exportación (FAOSTAT, 2024).

Este cultivo es altamente susceptible a diversas enfermedades, entre las cuales destacan la gomosis, el Huanglongbing, el Virus de la Tristeza de los Cítricos (CTV) y la antracnosis. Esta última, causada por *Colletotrichum acutatum* sensu lato, es responsable de pérdidas económicas significativas, superando en algunos casos el 80 % del rendimiento comercializable (Borges & Soares, 2016).

Los síntomas de la enfermedad se manifiestan principalmente como necrosis floral y aborto de frutos, afectando de manera directa los niveles de producción en la cosecha (Wang *et al.*, 2021). Dado que el limón Persa representa uno de los principales cultivares de exportación en México y América Latina, este impacto fitopatológico constituye una amenaza seria para la competitividad agrícola (Evans *et al.*, 2014; Mogollón *et al.*, 2021).



El manejo convencional de la antracnosis se basa predominantemente en la aplicación recurrente de fungicidas químicos (Gonçalves *et al.*, 2021; Camiletti *et al.*, 2024). Sin embargo, en los últimos años, las restricciones impuestas por agencias regulatorias debido a los riesgos potenciales para la salud humana y el ambiente, así como la aparición de cepas resistentes, han reducido la eficacia y viabilidad del uso sostenido de estos productos (Forcelini & Peres, 2018; Dowling *et al.*, 2020). Esta situación ha incentivado la búsqueda de alternativas sustentables, entre las cuales destacan las estrategias de control biológico, el empleo de metabolitos naturales y tecnologías basadas en microbiomas benéficos (Iqbal *et al.*, 2023; Oliveira *et al.*, 2016; Muñoz, 2021). En este contexto, diversos estudios han documentado el potencial de *Trichoderma asperellum* como agente de biocontrol eficaz contra fitopatógenos. Este hongo filamentoso, reconocido por su plasticidad ecológica, capacidad de colonización endofítica y amplia gama de mecanismos de acción como el micoparasitismo, la competencia por nutrientes y espacio, la producción de enzimas líticas y de metabolitos antifúngicos no solo contribuye al control de enfermedades, sino que también promueve el crecimiento vegetal (Osorio-Hernández, 2018; Cortés-Hernández, 2023; De Silva *et al.*, 2019). Sus interacciones simbióticas con los tejidos vegetales le permiten inducir resistencia sistémica y generar compuestos bioactivos que actúan directamente sobre el patógeno, disminuyendo la necesidad de productos químicos sintéticos (Mukherjee *et al.*, 2013; Contreras-Cornejo *et al.*, 2016; Khan *et al.*, 2020). En el presente estudio, se evaluó el efecto de cepas nativas de *Trichoderma asperellum* en el control de la antracnosis asociada a *Colletotrichum acutatum* en el cultivo de limón Persa en el estado de Veracruz, México.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el laboratorio de Cultivo *in vitro* en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

2.1 Material vegetal

El material vegetal utilizado fueron plantas de limón Persa (*Citrus × latifolia*) sin semilla, susceptibles al ataque del hongo *Colletotrichum acutatum* SGO.

2.2 Patógeno fúngico

2.2.1 Colecta de muestras, aislamiento e identificación de *C. acutatum*

Para el aislamiento del patógeno, se recolectaron flores y frutos jóvenes que presentaban síntomas típicos de antracnosis.

Para el aislamiento de los hongos, los fragmentos de tejido fueron desinfectados con hipoclorito de sodio al 2% durante 2 min. Los fragmentos de tejido vegetal fueron depositados en medio Agar Dextrosa y Papa (Bioxon, PDA, 39 g L⁻¹ de agua), incubados a 28 °C durante siete días (Oliveira *et al.*, 2005).

2.2.2 Aislamiento y caracterización de cepas de *Trichoderma asperellum*

Las cepas antagonistas de *Trichoderma asperellum* se aislaron a partir de muestras de suelo sin tejido radicular colectadas en una región semiárida del sur del municipio de Saltillo, Coahuila, México. Se aplicó la técnica de dilución seriada hasta 10⁻⁵. Las colonias con morfología característica de *Trichoderma asperellum* fueron seleccionadas y purificadas mediante resiembras sucesivas hasta obtener cultivos axénicos.

Las cepas aisladas se enfrentaron preliminarmente a *Colletotrichum acutatum* mediante cultivos duales en medio Papa Dextrosa Agar (PDA). Las cepas seleccionadas se codificaron como CCH-SS-2024 (Cepa de *Trichoderma asperellum* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila, suelo seco donde se encontraba establecido un cultivo de chile) y CCH-SH-2024 (Cepa de *Trichoderma asperellum* aislada de suelo de zona semiárida en Saltillo, Coahuila, cultivo de chile con suelo húmedo). Adicionalmente, se incluyeron dos cepas de *Trichoderma asperellum*: CD-AR-2024+ (Cepa de *Trichoderma asperellum* aislada de zona semiárida en el Estado de Durango, México) y CD-AR-2024A° (Cepa de *Trichoderma asperellum* aislada de suelo de zona semiárida de Durango, México), proporcionadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Valle del Guadiana, en el estado de Durango, México, región semiárida templada.



2.3 Bioensayos *in vitro*

Los bioensayos se establecieron bajo un diseño completamente al azar. Cada tratamiento contó con cuatro repeticiones, considerando cada caja de Petri como una unidad experimental. Se evaluaron cinco tratamientos en total: cuatro cepas de *Trichoderma asperellum* (dos aisladas de Saltillo, Coahuila, y dos provenientes de Durango), además de un testigo absoluto sin la presencia del antagonista.

2.3.1 Evaluación de los mecanismos de acción de *Trichoderma asperellum*

Micoparasitismo (cultivo dual)

La capacidad antagonista de las cepas de *Trichoderma asperellum* se evaluó mediante la técnica de cultivo dual descrita por Cherif y Benhamou (1990). Las cajas se incubaron a 25 ± 1 °C y se evaluó la colonización del antagonista sobre el patógeno. El crecimiento micelial radial de *C. acutatum* se midió con un vernier digital a partir del punto de contacto entre ambos microorganismos.

Metabolitos no volátiles

El efecto inhibitorio de metabolitos no volátiles producidos por *Trichoderma asperellum* se evaluó siguiendo la metodología propuesta por Dennis y Webster (1971) (Técnica de celofán para difusión de metabolitos en PDA). El crecimiento del patógeno se evaluó cada 24 horas.

Metabolitos volátiles

Para evaluar la inhibición del patógeno por metabolitos volátiles producidos por *Trichoderma asperellum*, se empleó la metodología descrita por Dennis y Webster (1971) (Técnica de placa doble). El crecimiento micelial del patógeno se evaluó cada 24 h durante el periodo de incubación.

2.4 Análisis estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas. Posteriormente, se realizaron análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Asimismo, se analizaron los valores del área bajo la curva del progreso del patógeno para comparar el efecto de los tratamientos.

3. RESULTADOS

3.1 Colonización y competencia espacial de *Trichoderma asperellum* sobre *Colletotrichum acutatum*

La colonización de *Trichoderma asperellum* sobre *Colletotrichum acutatum* mostró diferencias entre cepas durante el periodo de evaluación (Tabla 1). A partir del día 4 se observaron diferencias en la velocidad de avance del antagonista sobre el patógeno.

La cepa CD-AR-2024A°, aislada de una región árida de Durango, presentó la mayor colonización y alcanzó 42.38 mm al día 8 (Tabla 1), seguida por CCH-SH-2024 con 31.17 mm, CCH-SS-2024 con 29.17 mm y CD-AR-2024+ con 27.03 mm.

Tabla 1. Colonización de diferentes cepas de *Trichoderma asperellum* sobre *Colletotrichum acutatum* SGO aislado de flores de limón Persa.

Tratamiento	Colonización (mm)							
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
CD-AR-2024+	16.97 a*	18.36 a	19.8 a	21.49 a	23.67 ab*	24.33 a	25.19 b	27.03 b
CCH-SS-2024	12.44 abc	16.44 ab	19.55 a	23.54 a	23.74 ab	24.21 a	25.62 b	29.17 ab



CCH-SH-2024	9.94 bc	10.31 b	11.90 a	14.88 a	18.32 b	28.03 a	36.01 ab	31.17 ab
CD-AR-2024A°	7.40 c	11.25 b	18.48 a	25.63 a	29.67 ab	32.50 a	38.88 a	42.38 a
<i>p</i> -value	0.001	0.004	0.171	0.082	0.018	0.047	0.011	0.001

*Letras iguales indican que no hay diferencia estadística entre tratamientos ($P=0.05$).

Tabla 2. Área bajo la curva de la colonización de diferentes cepas de *Trichoderma asperellum* sobre *Colletotrichum acutatum* aislado de tejido de flores de limón Persa.

Área Bajo la Curva	
Tratamientos	Valores
CD-AR-2024A°	181.2850 a*
CD-AR-2024+	154.7800 a
CCH-SS-2024	153.9050 a
CCH-SH-2024	139.9983 a
<i>p</i> -value	0.0648

*Letras iguales indican que no hay diferencia estadística entre tratamientos ($P=0.05$).

El análisis del área bajo la curva de colonización no mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p > 0.05$), aunque la cepa CD-AR-2024A° registró el valor numérico más alto (Tabla 2).

3.2 Actividad antagónica por antibiosis

3.2.1 Inhibición de crecimiento de *Colletotrichum* por metabolitos no volátiles

La evaluación del efecto de los metabolitos no volátiles mostró diferencias significativas entre tratamientos durante todo el periodo de evaluación (Tabla 3). Las cepas CD-AR-2024+ y CD-AR-2024A° presentaron el mayor efecto inhibitorio sobre el crecimiento de *C. acutatum*, con valores menores en comparación con el testigo y con las cepas aisladas de Saltillo.

Tabla 3. Crecimiento de *Colletotrichum acutatum* por metabolitos no volátiles de *Trichoderma asperellum*.

Tratamiento	Medias de crecimiento (mm)		
	Día 1	Día 2	Día 3
TGO	7.17 a	16.63 a	25.62 a*
CCH-SS-2024	5.77 ab	13.76 a	23.27 a
CCH-SH-2024	4.99 ab	13.09 ab	22.41 a
CD-AR-2024+	3.72 bc	8.7 bc	13.62 b
CD-AR-2024A°	1.37 c	7.62 c	13.65 b
<i>p</i> -value	0.00000999	0.000224	0.000000444

*Letras iguales indican que no hay diferencia estadística entre tratamientos ($P=0.05$). Solo se evaluaron 3 días debido a contaminación con esporas de *Trichoderma* en el medio de cultivo.

Tabla 4. Área bajo la curva del crecimiento de *Colletotrichum acutatum* bajo tratamientos a base de metabolitos no volátiles de diferentes cepas de *Trichoderma asperellum*.

Área Bajo la Curva



Tratamientos	Valores
TGO	12052.300 a*
CCH-SS-2024	10320.375 a
CCH-SH-2024	9777.133 a
CD-AR-2024+	6341.267 b
CD-AR-2024A°	5520.017 b
<i>p</i> -value	0.00000212

*Letras iguales indican que no hay diferencia estadística entre tratamientos ($P=0.05$).

El análisis del área bajo la curva mostró diferencias estadísticas entre tratamientos y confirmó menor crecimiento acumulado de *C. acutatum* con los metabolitos no volátiles producidos por las cepas aisladas del Estado de Durango (Tabla 4).

3.2.2 Inhibición de crecimiento radial de *Colletotrichum* por metabolitos volátiles

Los metabolitos volátiles producidos por *Trichoderma asperellum* no mostraron efecto inhibitorio significativo sobre *C. acutatum* durante el periodo de evaluación (Tabla 5). El crecimiento del patógeno en presencia de estos compuestos fue comparable al del testigo.

Tabla 5. Crecimiento micelial de *C. acutatum* bajo tratamientos a base de metabolitos volátiles de cepas de *Trichoderma asperellum* de zonas áridas y semiáridas.

Tratamiento	Crecimiento micelial de <i>C. acutatum</i>		
	Día 1	Día 2	Día 3
CD-AR-2024A°	25.07 a	26.20 a	32.92 a*
TGO	14.37 a	24.69 a	27.03 a
CCH-SH-2024	14.33 a	20.35 a	31.76 a
CD-AR-2024+	9.63 a	22.06 a	33.36 a
CCH-SS-2024	8.35 a	13.85 a	27.87 a
<i>p</i> -value	0.179	0.633	0.481

*Letras iguales indican que no hay diferencia estadística entre tratamientos ($P=0.05$).

El análisis del área bajo la curva correspondiente a este ensayo no mostró diferencias estadísticas entre tratamientos (Tabla 6).

Tabla 6. Área bajo la curva del crecimiento de diferentes cepas de *Trichoderma asperellum* sobre *Colletotrichum acutatum* aislado de tejido de flores de limón Persa.

Área Bajo la Curva	
Tratamientos	Valores
CD-AR-2024A°	20177.56 b*
TGO	16594.43 a
CD-AR-2024+	15997.88 b
CCH-SH-2024	15864.32 a
CCH-SS-2024	11688.09 a
<i>p</i> -value	0.464

*Letras iguales indican que no hay diferencia estadística entre tratamientos ($P=0.05$).



4. DISCUSIÓN

Los resultados muestran que el antagonismo de las cepas evaluadas dependió del mecanismo analizado y del origen del aislamiento. Las cepas CD-AR-2024+ y CD-AR-2024A°, procedentes del Estado de Durango, mantuvieron un desempeño consistente frente a *C. acutatum* en colonización y en inhibición por metabolitos no volátiles. Este patrón coincide con reportes previos que señalan que la eficacia de *Trichoderma asperellum* contra *Colletotrichum* es dependiente de la cepa y de la combinación de mecanismos expresados por cada aislamiento, aun dentro de una misma especie (Infante Martínez y Martínez Coca, 2020; Mena-Bahena *et al.*, 2024; Yao *et al.*, 2023).

La mayor velocidad de colonización observada en CD-AR-2024A° sugiere una ventaja en competencia por espacio y recursos durante las etapas tempranas de interacción. En *Trichoderma asperellum*, esta respuesta suele relacionarse con reconocimiento del hospedero, crecimiento dirigido, micoparasitismo y secreción de enzimas hidrolíticas implicadas en la degradación de la pared celular del fitopatógeno (Cherif y Benhamou, 1990; Abbas *et al.*, 2022). No obstante, la falta de diferencias en el área bajo la curva indica que, al integrar toda la dinámica temporal, todas las cepas lograron colonizar al patógeno en grado comparable. Por tanto, la principal diferencia entre aislamientos no parece radicar en la capacidad final de ocupación, sino en la rapidez con la que inician y sostienen la colonización, aspecto relevante en patosistemas florales donde el periodo de infección es corto y está fuertemente influido por las condiciones ambientales (Gonçalves *et al.*, 2021). El efecto más claro del estudio se registró en el ensayo de metabolitos no volátiles. La reducción del crecimiento micelial y los menores valores del área bajo la curva con las cepas aisladas del Estado de Durango indican que la antibiosis soluble fue un componente central del antagonismo. Este resultado concuerda con la capacidad de *Trichoderma asperellum* para sintetizar peptaiboles, poliquétidos, terpenos y otros metabolitos bioactivos con actividad antifúngica, además de proteínas y péptidos extracelulares que alteran la integridad de la membrana y pared del patógeno (Mukherjee *et al.*, 2013; Khan *et al.*, 2020; Vinale y Sivasithamparam, 2020; Baccelli *et al.*, 2022). La respuesta diferencial entre CD-AR-2024+ y CD-AR-2024A° indica que los aislamientos no expresan un único patrón funcional: una cepa puede destacar por colonización temprana y otra por producción de compuestos difusibles, lo que abre la posibilidad de seleccionar aislamientos complementarios o de combinarlos en formulaciones futuras.

En contraste, los metabolitos volátiles no redujeron de manera consistente el crecimiento de *C. acutatum*. Esto difiere de lo informado por Chávez-Avilés *et al.* (2024), quienes documentaron compuestos orgánicos volátiles de *T. asperellum* con actividad antifúngica contra *C. acutatum*, y de Rubio *et al.* (2023), quienes describieron la participación de VOCs de *T. harzianum* en la inhibición de hongos fitopatógenos; de manera similar, en un agroecosistema semiárido de Brasil, Barbosa *et al.* (2024) comprobaron que los volátiles de aislamientos de *T. asperellum* afectaron el crecimiento micelial y la esporulación de *Aspergillus welwitschiae*, aunque la respuesta varió entre aislamientos, esto último puede explicar las discrepancias con nuestros resultados, es decir, las diferencias entre cepas, además el medio de cultivo, el tiempo de incubación, la concentración real de VOCs acumulados y la sensibilidad propia del aislado del patógeno. En consecuencia, en esta interacción de microorganismos la producción de compuestos volátiles no debe considerarse un criterio primario de selección, al menos bajo las condiciones *in vitro* empleadas.

En conjunto, los datos respaldan el potencial de CD-AR-2024+ y CD-AR-2024A° como candidatos para el manejo biológico de la antracnosis en limón Persa; sin embargo, la extrapolación a campo debe hacerse con cautela. La actividad observada *in vitro* necesita validarse sobre flores y frutos, donde intervienen la humedad, la temperatura, la microbiota asociada y la persistencia del antagonista. También es necesario confirmar la identidad taxonómica a nivel molecular, cuantificar la producción de esporas y evaluar compatibilidad con otras prácticas de manejo integrado. Estudios previos en otros cultivos muestran que el desempeño de *Trichoderma asperellum* puede mejorar cuando se incorpora dentro de esquemas integrados de control biológico o de compatibilidad con fungicidas de bajo impacto (Ezziyyani *et al.*, 2004; Peláez-Álvarez *et al.*, 2016; Muñoz Guerrero, 2021).



CONCLUSIONES

Las cepas de *Trichoderma asperellum* aisladas de suelos áridos del estado de Durango, particularmente CD-AR-2024+ y CD-AR-2024A°, mostraron el mayor potencial antagonista *in vitro* contra *C. acutatum*, en comparación con las cepas aisladas de suelos semiáridos de Saltillo, Coahuila.

La cepa CD-AR-2024A° presentó la mayor capacidad de colonización y sobrecrecimiento del patógeno, evidenciando un antagonismo efectivo principalmente mediante competencia por espacio y recursos, uno de los mecanismos clave del control biológico ejercido por *Trichoderma asperellum*.

En términos de inhibición directa del crecimiento micelial, la cepa CD-AR-2024+ fue la más eficiente, alcanzando los mayores porcentajes de inhibición y el valor más alto del área bajo la curva de inhibición, lo que confirma su alta capacidad para restringir el desarrollo del patógeno durante el periodo de evaluación.

Los metabolitos no volátiles producidos por las cepas de *Trichoderma asperellum* aisladas de Durango ejercieron un efecto inhibitorio significativo y sostenido sobre *C. acutatum*, siendo éste el mecanismo de antibiosis más relevante identificado en el presente estudio.

Por el contrario, los metabolitos volátiles no mostraron un efecto inhibitorio significativo sobre el crecimiento acumulado del patógeno, de acuerdo con el análisis de varianza aplicado al área bajo la curva, lo que indica que este mecanismo no desempeñó un papel determinante en el antagonismo observado bajo las condiciones experimentales evaluadas.

Declaración de conflictos de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

Contribución de autoría

Conceptualización: NLV, BPL, PAH. Curación de datos: NLV, BPL. Análisis formal: LAAP, PAH, TGM, NLV, RMV. Adquisición de fondos: NLV. Investigación: NLV, TGM, BPL, PAH. Metodología: NLV, TGM, BPL, RMV. Administración del proyecto: NLV, BPL, TGM. Recursos: NLV, LAAP, PAH. Software: NLV, BPL, LAAP. Supervisión: TGM, NLV, LAAP, PAH. Validación: NLV, LAAP, PAH, BPL. Visualización: NLV, TGM. Redacción - borrador original: NLV, BPL, TGM. Redacción - revisión y edición: NLV, BPL, PAH, LAAP, RMV.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por el apoyo económico al presente proyecto. Así mismo se agradece a la empresa El Ensueño, Limón Persa en el estado de Veracruz por su valiosa colaboración.

Literatura citada

- Abbas, A., Jiang, D. y Fu, Y. (2022) *Trichoderma asperellum* spp. genes involved in the biocontrol activity against plant pathogenic fungi. *Frontiers in Microbiology*, 13, 884469. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.884469>
- Baccelli, I., Cicero, L.L., Berardi, E., Masi, E. y Scala, A. (2022) Water-soluble trichogin GA IV-derived peptaibols protect plants against fungal pathogens. *Frontiers in Plant Science*, 13, 881961. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.881961>
- Barbosa, L. O., da Conceição, T. D. S., Neves, A. O., Rocha, W. Z. B., Damasceno, B. S., Fonseca, P. L. C., Ribeiro, P. R., Tome, L. M. R., Bortolini, D. E., Martins, F. M., Raya, F. T., Góes-Neto, A., & Soares, A. C. F. (2024).



Native and non-native soil and endophytic *Trichoderma* spp. from semi-arid sisal fields of Brazil are potential biocontrol agents for sisal bole rot disease. *Journal of Fungi*, 10(12), 860. <https://doi.org/10.3390/jof10120860>

Borges, A.B. y Soares, S.D. (2016) *Bacillus subtilis*-based formulation for the control of postbloom fruit drop of citrus. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32, 205. <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2157-6>

Camiletti, B.X., Campos, M.E., Ruiz Posse, A., Paredes, J.A., Lichtemberg, P.S.F., Gabri, V.M. y Michailides, T.J. (2024) Effect of bloom sprays on *Alternaria* rot in California mandarins and fungicide efficacy against *Colletotrichum*. *Plant Disease*. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-24-0666-RE>

Campbell, C.L. y Madden, L.V. (1990) *Introduction to plant disease epidemiology*. New York: John Wiley & Sons. <https://ppc.nwafu.edu.cn/docs/2016-06/20160628142315445651.pdf>

Chávez-Avilés, M.N., García-Álvarez, M., Ávila-Oviedo, J.L., Hernández-Hernández, I., Bautista-Ortega, P.I. Macías-Rodríguez, L.I. (2024) Volatile organic compounds produced by *Trichoderma asperellum* with antifungal properties against *Colletotrichum acutatum*. *Microorganisms*, 12(10), 2007. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12102007>

Cherif, M. y Benhamou, N. (1990) Cytochemical aspects of chitin breakdown during the parasitism of *Rhizoctonia solani* by *Trichoderma harzianum*. *Phytopathology*, 80(2), 140–146. https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1990Articles/Phyto80n12_1406.pdf

Cortés Hernández, J.A., García, A.R. y Martínez, L.F. (2023) Biological control agents: mechanisms of action, selection, formulation and challenges in agriculture. *Frontiers in Agronomy*, 5, 1578915. <https://doi.org/10.3389/fagro.2025.1578915>

Cortez Lázaro, A.A. et al. (2025) Global trends in *Trichoderma asperellum* secondary metabolites in sustainable agricultural bioprotection. *Frontiers in Microbiology*. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1595946>

Dennis, C. y Webster, J. (1971) Antagonistic properties of species-groups of *Trichoderma asperellum*: I. Production of non-volatile antibiotics. *Transactions of the British Mycological Society*, 57(1), 25–39. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(71\)80077-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(71)80077-3)

De Silva, N.I., Brooks, S., Lumyong, S. y Hyde, K.D. (2019) Use of endophytes as biocontrol agents. *Fungal Biology Reviews*, 38, 133–148. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2018.10.001>

Dowling, M., Peres, N.A., Villani, S.M. y Schnabel, G. (2020) Managing *Colletotrichum* on fruit crops: a “complex” challenge. *Plant Disease*, 104(10), 2301–2316. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-19-2378-FE>

Evans, E.A., Ballen, F.H. y Crane, J.H. (2014) Economic potential of producing Tahiti limes in southern Florida in the presence of citrus canker and citrus greening. *HortTechnology*, 24(1), 99–106. <https://journals.ashs.org/view/journals/horttech/24/1/article-p99.xml>

Ezziyyani, M., Pérez-Sánchez, C., Sid Ahmed, A., Requena, M.E. y Candela, M.E. (2004) Biocontrol by *Trichoderma asperellum* spp. against *Phytophthora capsici* in pepper plants. *Plant Pathology*, 53(4), 465–474. <https://www.um.es/analesdebiologia/numeros/26/PDF/05-TRICHODERMA ASPERELLUM.pdf>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2026). FAOSTAT: Crops and livestock products. Production quantity of lemons and limes, Mexico, 2024. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/>



- Forcelini, B.B. y Peres, N.A. (2018) Widespread resistance to QoI fungicides of *Colletotrichum acutatum* from strawberry nurseries and production fields. *Plant Health Progress*, 19, 338–341. <https://doi.org/10.1094/PHP-08-18-0050-RS>
- Gonçalves, F.P., Nogueira Júnior, A.F., Silva Junior, G.J., Ciampi Guillard, M. y Amorim, L. (2021) Environmental requirements for infection of *Colletotrichum acutatum* and *C. gloeosporioides* sensu lato in citrus flowers and prevalence of these pathogens in Brazil. *European Journal of Plant Pathology*, 160(1), 27–37. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02218-7>
- Iqbal, M., Broberg, A., Andreasson, E. y Stenberg, J.A. (2023) Biocontrol potential of beneficial fungus *Aureobasidium pullulans* against *Botrytis cinerea* and *Colletotrichum acutatum*. *Phytopathology*, 113(11). <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-23-0067-R>
- Infante Martínez, D. y Martínez Coca, B. (2020) Antagonismo de seis cepas de *Trichoderma asperellum* sobre *Colletotrichum* spp. *Revista de Protección Vegetal*, 35(3). Disponible en: <https://censa.edicionescervantes.com/index.php/RPV/article/view/1100>
- Khan, R.A., Najeeb, S., Hussain, S., Xie, B. y Li, Y. (2020) Bioactive secondary metabolites from *Trichoderma asperellum* spp. against phytopathogenic fungi. *Microorganisms*, 8(6), 817. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8060817>
- Mena-Bahena, A. et al. (2024) Antagonismo de cepas nativas y foráneas de *Trichoderma asperellum* contra *Colletotrichum gloeosporioides* causante de antracnosis en maracuyá. *Revista Investigaciones y Estudios – UNA*. <https://doi.org/10.57201/ieuna2423323>
- Mogollón, Á.M., López, C.N. y Orduz, J.O. (2021) Efecto de las variables meteorológicas sobre la antracnosis (*Colletotrichum acutatum*) de la lima ácida Tahití en el piedemonte llanero, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 45, 250–259. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1237>
- Muñoz Guerrero, J. (2021) Hongos endófitos de lima Tahití (*Citrus × latifolia*) y su utilidad en el biocontrol de *Colletotrichum acutatum* causante de antracnosis. Tesis de maestría. Universidad de Santander. Disponible en: <https://repositorio.udes.edu.co/handle/001/5610>
- Mukherjee, P.K., Horwitz, B.A. y Kenerley, C.M. (2013) Secondary metabolism in *Trichoderma asperellum*: a genomic perspective. *Microbiology*, 159(1), 17–29. <https://doi.org/10.1099/mic.0.068819-0>
- Oliveira, M., Santos, A.F. y Silva, J.P. (2016) *Bacillus subtilis*-based formulation for the control of postbloom fruit drop of citrus. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32, 205. <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2157-6>
- Osorio-Hernández, E. (2018) Control biológico de fitopatógenos mediante aislados de *Trichoderma asperellum* spp. *Agroproductividad*, 10(3), 1–10. Disponible en: <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/961>
- Peláez-Álvarez, A., De los Santos-Villalobos, S., Yépez, E.A., Parra-Cota, F.I. y Reyes-Rodríguez, R.T. (2016) Efecto sinérgico de *Trichoderma asperellum* T8A y captan 50® contra *Colletotrichum gloeosporioides*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(6), 1401–1412. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000601401
- Rhaïem, A. y Taylor, P.W.J. (2016) *Colletotrichum gloeosporioides* associated with anthracnose symptoms on citrus, a new report for Tunisia. *European Journal of Plant Pathology*, 146, 219–224. <https://doi.org/10.1007/s10658-016-0907-9>

- Rubio, M.B., Hermosa, R., Keck, E., Monte, E. y Nicolás, C. (2023) *Trichoderma asperellum* harzianum 1 volatile organic compounds regulated by the THCTF1 transcription factor are involved in antifungal activity and beneficial plant responses. *Journal of Fungi*, 9(6), 654. <https://doi.org/10.3390/jof9060654>
- Silva-Junior, G.J., Spósito, M.B., Marin, D.R., Ribeiro-Junior, P.J. y Amorim, L. (2014) Spatiotemporal characterization of citrus postbloom fruit drop in Brazil and its relationship to pathogen dispersal. *Plant Pathology*, 63, 519–529. <https://doi.org/10.1111/ppa.12138>
- Vinale, F. y Sivasithamparam, K. (2020) Beneficial effects of *Trichoderma asperellum* secondary metabolites on crops. *Phytotherapy Research*, 34(11), 2835–2842. <https://doi.org/10.1002/ptr.6728>
- Wang, W., De Silva, D.D., Moslemi, A., Edwards, J., Ades, P.K. y Crous, P.W. et al. (2021) *Colletotrichum* species causing anthracnose of citrus in Australia. *Journal of Fungi*, 7, 1–24. <https://doi.org/10.3390/jof7010047>
- Yao, X. et al. (2023) *Trichoderma asperellum* and its role in biological control of plant fungal and nematode disease. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1160551. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1160551>

Aviso legal/Nota del editor: Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son exclusivamente de los autores y colaboradores, y no de Universitas agri ni de sus editores. Universitas agri y sus editores no se responsabilizan de ningún daño a personas o bienes que resulte de las ideas, métodos, instrucciones o productos mencionados en el contenido.