

Control biológico de marchitez vascular mediante *Trichoderma* spp., para el cultivo de cacahuete

Omar Romero-Arenas¹
Conrado Parraguirre-Lezama^{1,§}
Manuel Huerta-Lara¹
Saira Jazmín Martínez-Salgado²
Petra Andrade-Hoyos²
Antonio Rivera³

1 Centro de Agroecología-Instituto de Ciencias-Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla. México. (biol.ora@hotmail.com; batprofessor@hotmail.com).

2 Posgrado en Manejo Sostenible de Agroecosistemas-Instituto de Ciencias-Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla. México. (jazmin-saira@hotmail.com; andrad@colpos.mx).

3 Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas-Instituto de Ciencias-Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla. México. (jose.riverat@correo.buap.mx).

Autor para correspondencia: conrado.parraguirre@correo.buap.mx.

Resumen

En México, el cultivo de cacahuete es una actividad productiva en zonas rurales, no obstante, está amenazado por enfermedades fúngicas, como la marchitez vascular, causada por *Fusarium incarnatum*, reportada recientemente en el país. El estudio evaluó la capacidad antagonista de cinco especies de *Trichoderma* contra la cepa 'MA-PET-03' de *F. incarnatum* en el cultivo de cacahuete en Buenavista de Benito Juárez, Chietla, Puebla. Se destacó que *T. koningiopsis* presentó la mayor tasa de crecimiento y el mayor porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIGR) de *F. incarnatum* en pruebas *in vitro*. En condiciones de campo, los tratamientos con *Trichoderma* spp., presentaron más vainas de cacahuete por planta y menor incidencia de la enfermedad, mejorando el rendimiento del cultivo. Estos resultados confirman la efectividad de *Trichoderma* spp., para el manejo de la marchitez vascular en la región.

Palabras clave:

Trichoderma spp., calidad de fruto, actividad antifúngica, necrosis basal.



Introducción

El cultivo del cacahuete (*Arachis hypogaea* L.) tiene gran importancia a nivel mundial debido a sus beneficios económicos y nutricionales (Akram *et al.*, 2018). Además, es una fuente vital de proteínas, grasas saludables, vitaminas y minerales esenciales como el hierro, calcio, fósforo, magnesio, selenio y zinc, así como vitamina E, B6, riboflavina, tiamina y niacina (Montero-Torres, 2020). Más allá de su valor nutricional, el cacahuete desempeña un papel crucial en la seguridad alimentaria y economía de muchas regiones, proporcionando fuentes de trabajo e ingresos directos a los agricultores de las comunidades locales (Desmae *et al.*, 2018).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) menciona que los principales productores de cacahuete son China, India, Nigeria, EE. UU., Argentina y Sudáfrica (FAO, 2023). En México, las principales entidades que producen cacahuete son, Chihuahua, Sinaloa, Chiapas, Puebla y Oaxaca, representando el 77.2% del total del área cultivada para el ciclo agrícola 2022-2023, donde alcanzó las 47 532 ha, con una producción de 81 413 t.

El estado de Puebla ocupó el tercer lugar en producción nacional con 9.31 t (SIAP, 2024). A pesar del éxito del cultivo, el cacahuete es vulnerable a diversas enfermedades causadas por hongos, bacterias y virus que impactan negativamente el rendimiento, siendo las enfermedades fúngicas particularmente preocupantes, debido a las significativas pérdidas económicas (Thirumalaisamy *et al.*, 2019).

Entre las enfermedades fúngicas que afectan al cultivo de cacahuete se encuentran la marchitez causada por *Fusarium oxysporum* Schlecht, la pudrición de vainas causada por *Fusarium equiseti* (Corda) y *Fusarium solani* (Mart.) y la marchitez vascular causada por *F. incarnatum*, recientemente reportada en México (Romero-Arenas *et al.*, 2024). *F. incarnatum* está clasificada dentro del complejo de especies *F. incarnatum-equiseti* (FIESC), que comprende 33 especies filogenéticas en una amplia gama de hábitats y hospedantes en todo el mundo (Wang *et al.*, 2019).

Se caracteriza por un micelio aéreo inicialmente blanco que con la edad produce esporodocios de color naranja. Como fitopatógeno, puede infectar plantas de Cacahuete, causando síntomas de clorosis, marchitez de hojas, pudrición de tallo y raíz, lo que lleva a la muerte prematura de la planta huésped (Romero-Arenas *et al.*, 2024). El control de hongos fitopatógenos se basa principalmente en el uso de fungicidas.

Sin embargo, la aplicación de compuestos químicos no se recomienda para enfermedades causadas por hongos habitantes del suelo, debido a sus altos costos, baja eficiencia y posible toxicidad para los humanos y ambiente, lo que podría llevar al desarrollo de cepas tolerantes a fungicidas en cortos periodos de tiempo (Andrade-Hoyos *et al.*, 2019). En este contexto, las especies de *Trichoderma* han emergido como agentes potenciales que pueden desempeñar un papel fundamental en el manejo integrado de enfermedades en la agricultura (Bokade *et al.*, 2021).

El género *Trichoderma* es reconocido por su capacidad antagonista contra diversos patógenos. Puede interactuar sinérgicamente con fungicidas, mejorar la resistencia de las plantas a enfermedades y minimizar el riesgo de desarrollar resistencia a diferentes fungicidas (Asad *et al.*, 2022). Por lo tanto, el objetivo fue evaluar la capacidad antagonista de cinco especies de *Trichoderma* contra la cepa 'MA-PET-03' de *F. incarnatum*, así como la reducción de la incidencia de la enfermedad y el efecto sobre la productividad del cultivo de cacahuete, en la comunidad rural de Buenavista de Benito Juárez, ubicada en el municipio de Chietla, Puebla, México.

Materiales y métodos

Material biológico

Las cepas utilizadas para este estudio fueron: *Trichoderma harzianum* (T-H4), *Trichoderma koningiopsis* (T-K11), *Trichoderma asperellum* (T-AS1) y *Trichoderma hamatum* (T-A12), aisladas de la rizosfera de aguacate (*Persea americana*). Las secuencias de estas cepas están disponibles

en la base de datos del National Center for Biotechnology Information (NCBI) con los números de accesión: MK779064, MK791648, MK778890 y MK791650, respectivamente.

Adicionalmente, se incluyó una cepa nativa de la región de estudio de *T. harzianum* (T-Ah) MW227646, aislada de la rizosfera del cultivo de cacahuete (*Arachis hypogaea* L.). El agente patógeno utilizado fue la cepa MA-PET-03 de *Fusarium incarnatum*, recientemente reportada en México (Romero-Arenas *et al.*, 2024), asociada con el marchitamiento vascular del cacahuete, con números de accesión: OQ679820, OQ679821. Todas las cepas están resguardadas en el Laboratorio de Fitopatología 204 del Centro de Agroecología, Instituto de Ciencias- Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP).

Evaluación *in vitro* de la capacidad antagónica de *Trichoderma* spp.

Para evaluar el crecimiento micelial, fragmentos de 5 mm de diámetro de cepas de *Trichoderma* y *F. incarnatum* de 10 días de edad se inocularon en placas Petri con medio papa dextrosa agar (PDA: Bioxon, Becton Dickinson, Ciudad de México, México) y se incubaron en la oscuridad a 28 °C durante 10 días. El diámetro micelial se midió cada 12 horas con un Vernier digital (CD-6 Mitutoyo, Naucalpan de Juárez, México). La tasa de crecimiento (cm día^{-1}) se calculó utilizando la ecuación de crecimiento $y = mx + b$. Donde: y = distancia; m = pendiente; x = tiempo; b = constante.

El experimento se realizó por duplicado en un diseño experimental completamente al azar, con tres réplicas por tratamiento. Para determinar el porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR) se utilizó la técnica de cultivo dual según Andrade-Hoyos *et al.* (2019). Donde: $\text{PICR}(\%) = (R1 - R2) / R1 \times 100$. Donde: PICR= porcentaje de inhibición del crecimiento radial; R1= crecimiento radial (mm) de *F. incarnatum* sin *Trichoderma* spp. y R2= crecimiento radial (mm) de *F. incarnatum* con *Trichoderma* spp. Fragmentos de 5 mm de diámetro de cepas de *Trichoderma* y *F. incarnatum* de 10 días de edad fueron inoculados en extremos opuestos de placas Petri que contenían PDA, con una separación de 7.5 cm entre ellos (antagonista-fitopatógeno) e incubados a 28 °C durante 10 días.

El crecimiento radial de la colonia fúngica se evaluó cada 12 h hasta el primer contacto entre los micelios del antagonista y de *F. incarnatum*, utilizando la escala propuesta por Bell *et al.* (1982), donde: I) crecimiento de *Trichoderma* spp., cubrió toda la superficie del medio y redujo la colonia de *Fusarium* spp.; II) crecimiento de *Trichoderma* spp., cubrió al menos $\frac{2}{3}$ partes del medio; III) *Trichoderma* spp. y *F. incarnatum* crecieron $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{2}$ de la superficie del medio; IV) *F. incarnatum* creció al menos $\frac{2}{3}$ partes del medio y resistió a la invasión de *Trichoderma* spp. y V) crecimiento de *F. incarnatum* cubrió toda la superficie del medio.

Evaluación de la incidencia de enfermedades y el efecto sobre la productividad del cultivo

Se llevó a cabo una prueba *in situ* en condiciones de campo abierto en la comunidad de Buenavista de Benito Juárez (18° 27' 39" latitud norte; 98° 37' 11" longitud oeste), ubicada en el municipio de Chietla, estado de Puebla, México. Se utilizaron 1 500 semillas de cacahuete de la variedad 'Virginia Champs', proporcionadas por productores de la comunidad, las cuales se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 0.3% (v/v) durante 10 min, luego se enjuagaron tres veces con agua estéril y se secaron con papel estéril (Illa *et al.*, 2019).

Las semillas se sembraron utilizando un procedimiento mecánico estandarizado en bandejas de germinación con Peatmoss y Agrolite (1:1 v/v), previamente esterilizadas a 121 °C y 15 psi de presión (Mannai *et al.*, 2018). Se colocó una semilla por cavidad a una profundidad de 1 cm. Se utilizó Mancozeb 80[®] como agente de control químico, siguiendo las recomendaciones del fabricante para la producción de plántulas (1 kg de semilla por 5 g de producto). Finalmente, las bandejas se cubrieron con plástico negro durante 10 días y se mantuvieron a una temperatura de 27 °C para facilitar la germinación.

Preparación del terreno y siembra

Los productores de cacahuete prepararon el terreno tres meses antes de iniciar el experimento, se realizó una roturación del suelo con arado a una profundidad de 50 cm para reducir la compactación y nivelar el suelo, posteriormente se realizaron dos pasos de arados adicionales a una profundidad de 30 cm para mejorar la aireación y asegurar una textura uniforme.

El trasplante se realizó el 10 de julio de 2022, utilizando plántulas de cacahuete de 30 días de edad, sembradas a una profundidad de 8 cm. Se fertilizó con 40 kg ha⁻¹ de fósforo (P) y 60 kg ha⁻¹ de potasio (K) a los 15 días posteriores al trasplante (DPT). La densidad de siembra fue de 4 plantas m⁻², espaciadas a 35 cm entre sí, distribuidas en 26 surcos con 60 cm de separación, formando bloques experimentales en línea recta de dos surcos cada uno.

El diseño experimental se realizó en bloques completamente al azar con ocho tratamientos, utilizando 100 plantas para cada uno con ocho repeticiones, incluido el grupo control. Se dejaron cuatro plantas en los bordes que no fueron consideradas, concretando 800 plántulas establecidas para el presente estudio.

La inoculación de *F. incarnatum* se realizó a los 15 DPT en la base de cada planta de cacahuete (100 plántulas por tratamiento) con 2 ml de solución salina estéril a una concentración de 1×10⁸ conidios ml⁻¹, obtenida mediante una cámara de Neubauer (Paul Marienfeld). Después de 36 h, las plantas fueron inoculadas con una solución de esporas de las cepas *T. harzianum* (T-H3), *T. asperellum* (T-AS1), *T. hamatum* (T-A12), *T. koningiopsis* (T-K11) y la cepa nativa (T-Ah) a la misma concentración que el patógeno (1×10⁸ conidios ml⁻¹) para cada tratamiento. Se aplicó Cercobin® (Metil Tiofanato) como grupo de control químico, siguiendo las recomendaciones del fabricante (500 g en 400 L de agua ha⁻¹). Finalmente, para el grupo control se aplicó únicamente 2 ml de agua estéril.

La incidencia esperada de la enfermedad se midió en relación con la longitud total de la raíz y se clasificó según la escala propuesta por Bokhari y Perveen (2012), donde: 0 ≤ 25% de severidad, 1= 26 a 50% de severidad, 2= 51 a 75% de severidad y 3 ≥ 76% de severidad. Además, se tomaron variables complementarias, como el peso fresco total de cada planta, el peso seco de las vainas por planta, el número de vainas por planta y el peso de 100 granos de cacahuete por tratamiento. Asimismo, se calculó el rendimiento según Zamurrad et al. (2013) al final del ciclo de producción.

Análisis estadístico

Los datos de inhibición radial del crecimiento (PICR) se expresaron en porcentajes y se transformaron utilizando la expresión angular $\sqrt{x+1}$. Se realizó una prueba de homogeneidad de Bartlett, seguida de una prueba de comparación de medias de Tukey-Kramer, con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$, utilizando el paquete estadístico SPSS Statistics, versión 17 para Windows (Stehlik-Barry y Babinec, 2017). En la etapa de campo, las variables fueron analizadas mediante un análisis de varianza (Anova) de dos vías seguida de una prueba de comparación de medias de Tukey-Kramer, utilizando mismo paquete estadístico.

Resultados

Los resultados del estudio sobre la tasa de desarrollo y velocidad de crecimiento mostraron diferencias estadísticas altamente significativas ($p = 0.0021$). *T. koningiopsis* (T-K11) alcanzó los valores más altos, con 2.2 ± 0.15 mm h y 2.33 ± 0.01 cm día, respectivamente. Además, se clasificó como clase I en la escala de antagonismo de Bell. Además, se observaron áreas de interacción entre *T. koningiopsis* (T-K11), *T. harzianum* (T-H3), *T. hamatum* (T-A12), *T. asperellum* (T-AS1) y la cepa nativa (T-Ah) contra *F. incarnatum*, donde se logró un parasitismo superior al 80% a las 240 h.

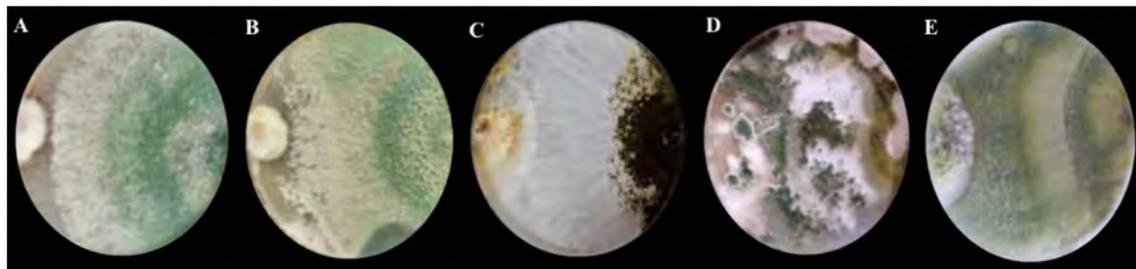
El mayor porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR) obtenido para el hongo fitopatógeno MA-PET-03 fue del 92.34% cuando se enfrentó con *T. koningiopsis* durante los 10 días de evaluación (Cuadro 1), seguido por *T. harzianum* (84.44%), mostrando diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). La cepa nativa 'Th-Ah' de *T. harzianum* presentó el menor PICR con 74.11% para este estudio (Figura 1).

Cuadro 1. Tasa de desarrollo, velocidad de crecimiento y PICR.

Cepas	Tasa de desarrollo (mm h ⁻¹) [*]	Tasa de crecimiento (cm d ^{#1}) [*]	PICR (%) [*]
<i>T. harzianum</i> (T-H3)	1.8 ±0.02 ^c	2.4 ±0.01 ^a	84.44 ^b
<i>T. asperellum</i> (T-AS1)	1.82 ±0.01 ^c	2.09 ±0.03 ^d	82.78 ^c
<i>T. hamatum</i> (T-A12)	1.95 ±0.04 ^b	1.3 ±0.01 ^e	79.52 ^d
<i>T. koningiopsis</i> (T-K11)	2.2 ±0.15 ^a	2.33 ±0.01 ^b	92.34 ^a
<i>T. harzianum</i> (Th-Ah) 'Nativo'	1.79 ±0.03 ^c	2.16 ±0.2 ^c	74.11 ^e
<i>F. incarnatum</i> (MA-PET-03)	0.56 ±0.02 ^d	1.08 ±0.03 ^f	-

^{*} = letras diferentes indican una diferencia significativa entre tratamientos ($p < 0.05$).

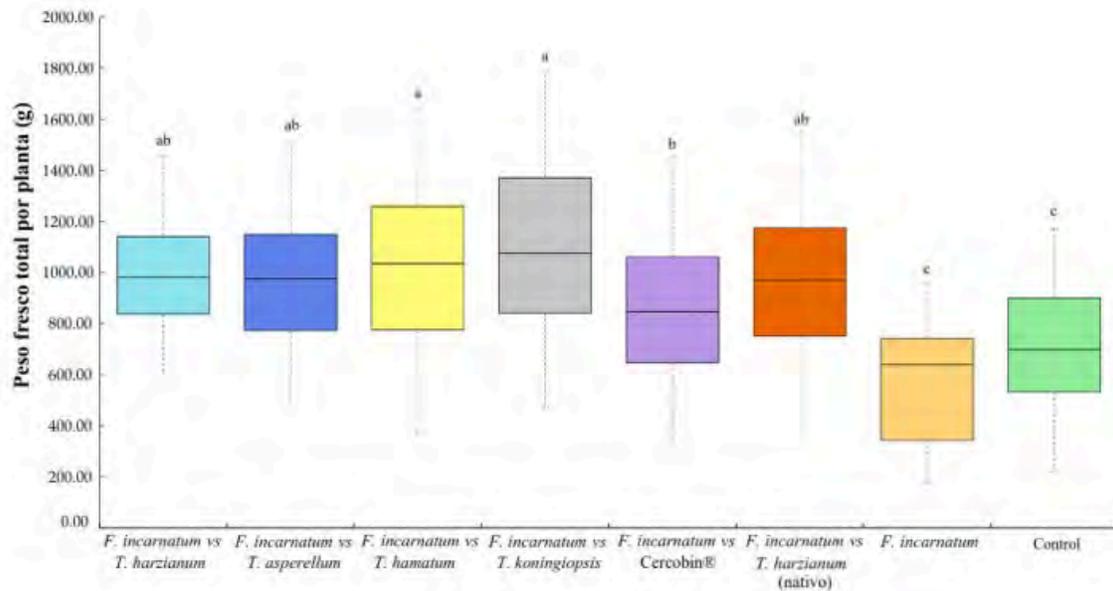
Figura 1. Antagonismo de *T. harzianum* (A); *T. asperellum* (B); *T. hamatum* (C); *T. koningiopsis* (D) y *T. harzianum* nativa (E), con *F. incarnatum* en la escala deBell *et al.* (1982) después de 240 h en placas con medio PDA, incubadas a 28 °C. Antagonismo clase I (D) y antagonismo clase II (A, B, C y E).



Los resultados de campo mostraron que los tratamientos con actividad antifúngica fueron efectivos en la reducción del marchitamiento vascular en la raíz, tallo y fruto de plantas de cacahuate 'Virginia Champs'. Se confirmó que *T. koningiopsis* (T-K11) fue el tratamiento más efectivo en promover el crecimiento total de la planta, alcanzando un peso de 1 080.08 ±25.69 g (Figura 2), reduciendo la incidencia de marchitez vascular en un 90%, similar a *T. hamatum* (T-A12). Sin embargo, las cepas *T. harzianum* (T-H3) y *T. asperellum* (T-AS1) mostraron una reducción del 50% en la enfermedad.

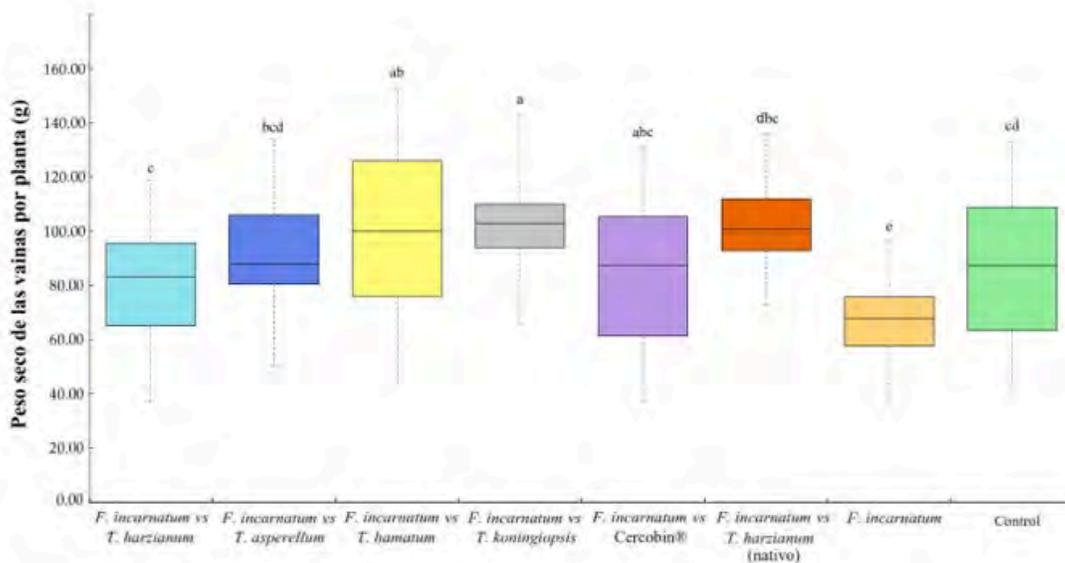


Figura 2. Peso fresco por planta de cacahuete inoculada con diferentes tratamientos. ^{abc}= letras diferentes indican una diferencia significativa entre tratamientos ($p < 0.05$).



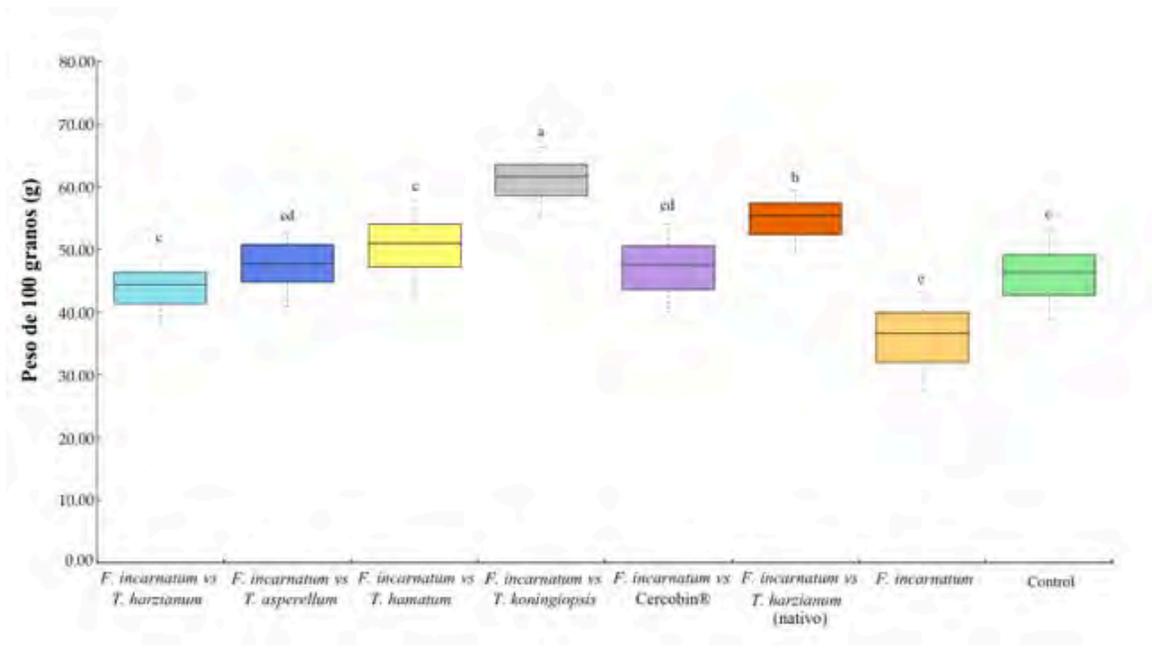
El tratamiento químico (Cercobin®) redujo un 20% el impacto de *F. incarnatum*, con un peso total de 91.06 ± 32.18 g. Sin embargo, *T. koningiopsis* (T-K11) fue el tratamiento más efectivo, logrando un peso seco de vainas de 103.82 ± 4.11 g, comparado con el menor peso (Figura 3) en el tratamiento con *F. incarnatum* (69.82 ± 3.28 g).

Figura 3. Peso seco de vainas por cacahuete inoculada con diferentes tratamientos. ^{abc}= letras diferentes indican una diferencia significativa entre tratamientos ($p < 0.05$).



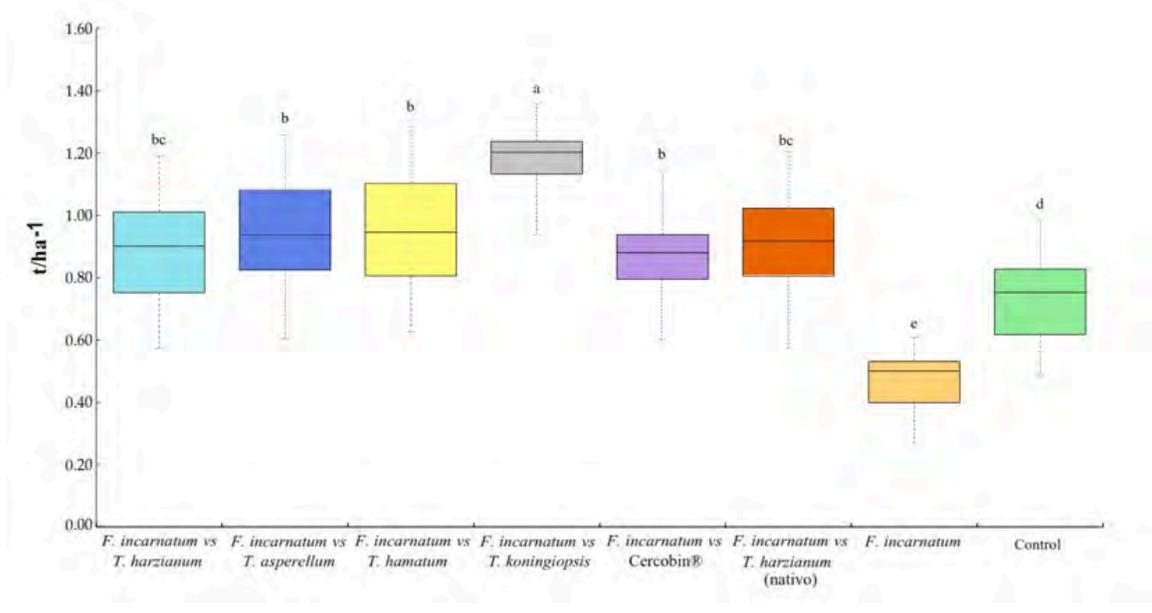
Además, el peso seco de 100 granos de cacahuete (Figura 4) en el tratamiento con *T. koningiopsis* mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.05$).

Figura 4. Peso seco de 100 granos de cacahuete inoculada con diferentes tratamientos. ^{abc}= letras diferentes indican una diferencia significativa entre tratamientos ($p < 0.05$).



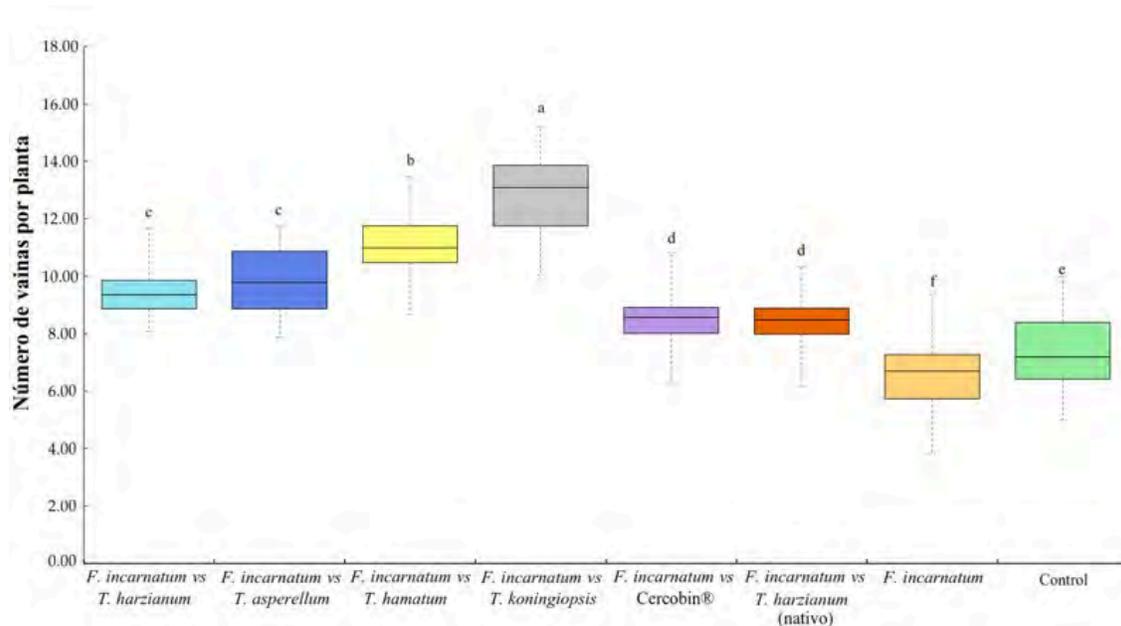
El rendimiento potencial por hectárea mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p = 0.00012$), siendo *T. koningiopsis* (T-K11) el que presentó la mayor producción (1.2 t ha^{-1}), con 13.1 vainas por planta (Figura 5). Esto indica que *T. koningiopsis* es prometedor para mejorar la productividad del cacahuete.

Figura 5. Rendimiento potencial (t ha^{-1}). ^{abc}= letras diferentes indican una diferencia significativa entre tratamientos ($p < 0.05$).



El tratamiento químico (Cercobin®) se caracterizó por no presentar diferencias estadísticas significativas con *T. harzianum*, *T. asperellum*, *T. hamatum* y *T. harzianum* nativa, obteniendo un rendimiento entre 0.88 a 0.93 t ha⁻¹ para esta investigación (Figura 6). La menor producción se observó en las plantas inoculadas únicamente con *F. incarnatum* (0.51 t ha⁻¹), con 6.67 vainas planta⁻¹ (25.48 vainas m⁻²).

Figura 6. Número de vainas por planta de cacahuate inoculada con diferentes tratamientos. ^{abc}= letras diferentes indican una diferencia significativa entre tratamientos ($p < 0.05$).



Discusión

El género *Fusarium* es conocido por incluir hongos filamentosos que comprenden numerosas especies fitopatógenas que causan pérdidas significativas en la producción agrícola (Diabankana *et al.*, 2024). Entre estas especies patógenas, *F. incarnatum* destaca por su capacidad de producir micotoxinas como las fumonisinas (Wonglom *et al.*, 2020) además es un patógeno significativo en varios cultivos, entre ellos el arroz (Tralamazza *et al.*, 2021), la piña (Blanco *et al.*, 2022) y más recientemente, el cacahuate (Thirumalaisamy *et al.*, 2019; Romero-Arenas *et al.*, 2024).

Numerosos estudios han proporcionado evidencia sólida que indica que las especies de *Trichoderma* poseen un alto potencial en el manejo de varios fitopatógenos en cultivos de importancia comercial (Abdullah *et al.*, 2021). Asimismo, Andrade-Hoyos *et al.* (2023) han discutido los mecanismos subyacentes a la actividad antagonista de *Trichoderma*, como el micoparasitismo y la inducción de resistencia de las plantas.

Además, *Trichoderma* puede penetrar el sistema radicular sin causar daño y mejorar las capacidades de defensa de la planta al aumentar la actividad enzimática de la peroxidasa y la quitinasa. Esto mejora la salud general de la planta y aumenta el crecimiento y el rendimiento (Nawrocka *et al.*, 2019). Se observó que la mayoría de las cepas presentaron tasas de parasitismo superiores al 80% a las 240 h, destacando la cepa *T. koningiopsis* (T-K11) con un 92%.

Este parasitismo puede atribuirse a la competencia por espacio y nutrientes, como lo evidencian estudios de Wonglom *et al.* (2020); Andrade-Hoyos *et al.* (2023). Además, Husseina *et al.* (2022), reportaron que *T. harzianum* presentó una tasa de inhibición del 85% frente a *F. incarnatum* al igual que el presente estudio, donde la cepa 'T-H3' de *T. harzianum* mostró un efecto comparable

(84.4%). En este sentido, Intana *et al.* (2021) identificaron que compuestos orgánicos volátiles (VOCs) emitidos por *T. asperellum* (T76-14) inhibieron el 81% del crecimiento de *F. incarnatum*.

Diversos estudios han atribuido las propiedades antagónicas de *Trichoderma* spp., a la producción de metabolitos secundarios y sustancias volátiles, incluyendo alcohol 6-nonílico, harzianolida, ácido palmítico, terpenos y acetaldehído (Dubey *et al.*, 2011). Estos compuestos desempeñan un papel crucial en la degradación de la pared celular fúngica. Específicamente, Kong *et al.* (2022) señalaron que *T. koningiopsis* (PSU3-2) produce 3-metil-1-butanol, 3-octanona y éster etílico de ácido butanoico, compuestos asociados con la antibiosis y la inhibición del crecimiento micelial de *F. incarnatum*.

Las cepas de *T. koningiopsis* (T-K11) y *T. hamatum* (T-A12) destacaron al reducir significativamente la incidencia de marchitamiento vascular y las lesiones en raíces y vainas de cacahuete bajo condiciones de campo. Resultados similares fueron descritos por Intana *et al.* (2021), quienes observaron actividad antifúngica de *T. asperellum* contra *F. incarnatum* en melón.

En contraste, las plantas inoculadas solo con la cepa 'MA-PET-03' mostraron síntomas característicos de *F. incarnatum*, como reportaron Thirumalaisamy *et al.* (2019); Romero *et al.* (2014). Por lo tanto, las plantas tratadas con especies de *Trichoderma* son más resistentes a los ataques de *F. incarnatum*, como se demuestra en los resultados de esta investigación.

Conclusiones

La cepa *T. koningiopsis* (T-K11) presentó el mayor antagonismo de clase I en la escala de Bell. Además, demostró una tasa de desarrollo, velocidad de crecimiento y porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIGR) superiores a la cepa *F. incarnatum* 'MA-PET-03' en condiciones *in vitro*. En condiciones de campo, las cepas de *T. koningiopsis* (T-K11) y *T. hamatum* demostraron ser las más efectivas para promover el crecimiento general de las plantas, reducir la incidencia de marchitez vascular causada por *F. incarnatum* y mejorar la salud y productividad de las plantas en el cultivo de cacahuete.

Bibliografía

- 1 Abdullah, N. S.; Doni, F.; Mispan, M. S.; Saiman, M. Z.; Yusuf, Y. M.; Oke, M. A. and Suhaimi, N. S. M. 2021. Harnessing *Trichoderma* in agriculture for productivity and sustainability. *Agronomy*. 11(12):2559-2576. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122559>.
- 2 Akram, N. A.; Shafiq, F. and Ashraf, M. 2018. Peanut (*Arachis hypogaea* L.): a prospective legume crop to offer multiple health benefits under changing climate. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 17(5):1325-1338. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12383>.
- 3 Andrade-Hoyos, P.; Luna-Cruz, L.; Osorio-Hernández, E.; Molina-Gayosso, E.; Landero-Valenzuela, N. y Barrales-Cureño, H. J. 2019. Antagonismo de *Trichoderma* spp. vs. hongos asociados a la marchitez de chile. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 10(6):1259-1272. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1326>.
- 4 Andrade-Hoyos, P.; Rivera-Jiménez, M. N.; Landero-Valenzuela, N.; Silva-Rojas, H. V.; Martínez-Salgado, S. J. y 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>.
- 5 Asad, S. A. 2022. Mechanisms of action and biocontrol potential of *Trichoderma* against fungal plant diseases a review. *Ecol. Complex.* 49(1)e100978. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2021.100978>.
- 6 Bell, D. K.; Pozos, H. D. and Markham, C. R. 1982. *In vitro* antagonism of *Trichoderma* species against six fungal plant pathogens. *Phytopathology*. 72(4):379-382. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-72-379>.

- 7 Blanco, M. M.; Castro, Z. O. y Umaña, R. G. 2022. Estudio preliminar de especies de *Fusarium* presentes en piña (*Ananas comosus*) en Costa Rica. *Agron. Costarricense*. 46(1):47-64. <https://doi.org/10.15517/rac.v46i1.49867>.
- 8 Bokade, P.; Purohit, H. J. and Bajaj, A. 2021. Myco-remediation of chlorinated pesticides: insights into fungal metabolic system. *Indian J. Microbiol.* 61(3):237-249. <https://doi.org/10.1007/s12088-021-00940-8>.
- 9 Bokhari, N. A. and Perveen, K. 2012. Antagonistic action of *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma viride* against *Fusarium solani* that causes tomato root rot. *África. J. Microbiol. Res.* 6(44):7193-7197. <https://doi.org/10.5897/AJMR12.956>.
- 10 Desmae, H.; Janila, P.; Okori, P.; Pandey, M. K; Motagi, B. N.; Monyo, E.; Mponda, O.; Okello, D.; Sako, D.; Echeckwu, C.; Oteng-Frimpong, R.; Miningou, A.; Ojiewo, C. and Varshney, R. K. 2018. Genetics, genomics and breeding of ground nuts (*Arachis hypogaea* L.). *Plant Breed.* 138(4):425-444. <https://doi.org/10.1111/pbr.12645>.
- 11 Diabankana, R. G. C.; Frolov, M.; Islamov, B.; Shulga, E.; Filimonova, M. N.; Afordoanyi, D. M. and Validov, S. 2024. Identification and aggressiveness of *Fusarium* species associated with onion bulb (*Allium cepa* L.) during storage. *J. Fungi.* 10(2):161-179. <https://doi.org/10.3390/jof10020161>.
- 12 Dubey, S. C.; Tripathi, A.; Dureja, P. and Grover, A. 2011. Characterization of secondary metabolites and enzymes produced by *Trichoderma* species and their efficacy against plant pathogenic fungi. *Indian J. Agric. Sci.* 81(5):455-461.
- 13 FAO. 2023. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available online. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- 14 Husseina, N. A.; Al-Janabib, H. J.; Al-Mashhadyc, F. R.; Al-Janabia, J. K. A. and Al-Shujairia, A. R. S. 2022. Antagonistic activities of bioagent fungi *Trichoderma harzianum* and *Pleurotus ostreatus* against three species of *Fusarium* in cucumber plants. *Asia Pac. J. Mol. Biol. Biotechnol.* 30(1):12-21. <https://doi.org/10.35118/apjmbb.030.1.02>.
- 15 Illa, C.; Andres-Perez, A.; Matias, T. y Perez, M. A. 2019. Efecto de biocontrol y promoción del crecimiento en maní por *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis* en condiciones controladas y de campo. *Revista Mexicana de Fitopatología.* 38(1):119-131. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1910-6>.
- 16 Intana, W.; Kheawleng, S. and Sunpapao, A. 2021. *Trichoderma asperellum* T76-14 released volatile organic compounds against postharvest fruit rot in muskmelons (*Cucumis melo*) caused by *Fusarium incarnatum*. *J. Fungi.* 7(1):e46. <https://doi.org/10.3390/jof7010046>.
- 17 Kong, W. L.; Ni, H.; Wang, W. Y. and Wu, X. Q. 2022. Antifungal effects of volatile organic compounds produced by *Trichoderma koningiopsis* T2 against *Verticillium dahliae*. *Front. Microbiol.* 21(13):e1013468. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1013468>.
- 18 Mannai, S.; Jabnoun-Khiareddine, H.; Nasraoui, B. and Daami-Remadi, M. 2018. *Rhizoctonia* root rot of pepper (*Capsicum annum*): comparative pathogenicity of causal agent and biocontrol attempt using fungal and bacterial agents. *J. Plant Pathol. Microbiol.* 9(2):431-439. <https://doi.org/10.4172/2157-7471.1000431>.
- 19 Montero-Torres, J. 2020. Importancia nutricional y económica del Cacahuete (*Arachis hypogaea* L.). *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales.* 7(2):112-125.
- 20 Nawrocka, J.; Gromek, A. and Ma#olepsza, U. 2019. Nitric oxide as a beneficial signaling molecule in *Trichoderma atroviride* TRS25-induced systemic defense responses of cucumber plants against *Rhizoctonia solani*. *Front. Plant Sci.* 10(10):421-436. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00421>.

- 21 Romero-Arenas, O.; Andrade-Hoyos, P.; Silva-Rojas, H. V.; Luna-Cruz, A. and Martínez-Salgado, S. J. 2024. First report vascular wilt on peanut in Mexico caused by *Fusarium incarnatum*. *Plant Dis.* 108(1):e208. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-23-0877-PDN>.
- 22 SIAP. 2024. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/siap>.
- 23 Stehlik-B. K. and , A. J. Babinec 2017. Data analysis with IBM SPSS statistics. Packt Publishing Ltd. 446 p.
- 24 Thirumalaisamy, P. P.; Dutta, R.; Jadon, K. S.; Nataraja, M. V.; Padvi, R. D.; Rajyaguru, R. and Yusufzai, S. 2019. Association and characterization of the *Fusarium incarnatum-F. equiseti* species complex with leaf blight and wilt of peanut in India. *J. Gen. Plant Pathol.* 85(2):83-89. <https://doi.org/10.1007/s10327-018-0827-y>.
- 25 Tralamazza, S. M.; Piacentini, K. C.; Savi, G. D.; Carnielli, Q. L.; De Carvalho-Fontes, L.; Martins, C. S.; Corrêa, B. and Rocha, L. O. 2021. Wild rice (*O. latifolia*) from natural ecosystems in the Pantanal region of Brazil: host to *Fusarium incarnatum-equiseti* species complex and highly contaminated by zearalenone. *Int. J. Food Microbiol.* 345(4):109-127. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109127>.
- 26 Wang, M. M.; Chen, Q.; Diao, Y. Z.; Duan, W. J. and Cai, L. 2019. *Fusarium incarnatum-equiseti* complex from China. *Persoonia.* 43(3):70-89. <https://doi.org/10.3767/persoonia.2019.43.03>.
- 27 Wonglom, P. and Sunpapao, A. 2020. *Fusarium incarnatum* is associated with postharvest fruit rot of muskmelon (*Cucumis melo*). *J. Phytopathol.* 168(1):204-210. <https://doi.org/10.1111/jph.12882>.
- 28 Zamurrad, M.; Tariq, M.; Shah, F. H.; Subhani, A.; Ijaz, M.; Iqbal, M. S. and Koukab, M. 2013. Performance based evaluation of groundnut genotypes under Chakwal medium rainfall conditions. *J. Agricole.* 1(1):9-12.



Control biológico de marchitez vascular mediante *Trichoderma* spp., para el cultivo de cacahuete

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 February 2025
Date accepted: 01 June 2025
Publication date: 28 August 2025
Publication date: Jul-Aug 2025
Volume: 16
Issue: 5
Electronic Location Identifier: e3787
DOI: 10.29312/remexca.v16i5.3787

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Trichoderma spp.
actividad antifúngica
necrosis basal.

Counts

Figures: 6
Tables: 1
Equations: 0
References: 28
Pages: 0