



Control microbiano de *Meloidogyne incognita* en *Capsicum chinense* bajo un sistema de producción orgánica

Citlally Guadalupe Puc-Flores¹, Felicia Amalia Moo-Koh¹, José M. Tun-Suárez¹, Eduardo Villanueva-Couoh¹, Jairo Cristóbal-Alejo^{1*}. Tecnológico Nacional de México/Campus Conkal, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Avenida Tecnológico, Conkal, Yucatán, CP. 97345, México.

*Autor de Correspondencia:
Jairo Cristóbal-Alejo
jairo.ca@conkal.tecnm.mx

Sección:
Número Especial

Recibido:
23 Noviembre, 2024

Aceptado:
19 Septiembre, 2025

Publicado:
25 Septiembre, 2025

Cita:
Puc-Flores CG, Moo-Koh FA, Tun-Suárez JM, Villanueva-Couoh E y Cristóbal-Alejo J. 2025. Control microbiano de *Meloidogyne incognita* en *Capsicum chinense* bajo un sistema de producción orgánica. Revista Mexicana de Fitopatología 43(4): 90. <https://doi.org/10.18781/R.ME.X.FIT.2024-33>

RESUMEN

Antecedentes/Objetivo. El cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense*) es limitado por nematodos agalladores como *Meloidogyne incognita*, su control se realiza con la aplicación recurrente de nematicidas sintéticos. Una alternativa es con la aplicación de especies de agentes microbianos. El objetivo del estudio fue evaluar el control de *M. incognita* con especies nativas de *Trichoderma* spp. en *C. chinense*, en un sistema de producción orgánica.

Materiales y Métodos. Se utilizaron plántulas del cultivar Izamal de 45 días, y trasplantadas con sustrato a base de suelo, bocashi y rocas volcánicas (6:3:1), se aplicaron tres inoculaciones de cepas nativas de *Trichoderma asperellum* (Ta13-17), *T. erinaceum* (Te10-15) y su combinación; al momento del trasplante, ocho y 15 días posteriores, como tratamientos testigo: un nematicida (Vydate[®]) y agua. Se realizaron cuatro muestreos destructivos durante el ciclo del cultivo, y las variables fueron la severidad con el índice de agallamiento, número de huevos y hembras por g de raíz.

Resultados. En relación al testigo, la combinación de *T. asperellum* (Ta13-17) y *T. erinaceum* (Te10-15) causó significativamente menor severidad del nematodo estimado con el ABCPE. La tasa de infección aparente mediante el modelo Weibull ($1/b$) e índice de agallamiento final (4.13 %), también mostró, los menores promedios de reproducción del nematodo (número de huevos y hembras por g de raíz). Con la combinación de *T. asperellum* (Ta13-17) y *T. erinaceum* (Te10-15) se mejoró significativamente el rendimiento del cultivo en un 47.26 y un 34.25 % en relación al testigo y al Vydate[®], respectivamente.

Conclusión. En un sistema de producción orgánico de chile habanero para el control de *M. incognita*; la aplicación individual de *T. asperellum* (Ta13-17) disminuyó de manera significativa el índice de agallamiento; sin embargo, cuando se combinó con *T. erinaceum* (Te 10-15) mejoró el control del nematodo (86.17 %).

Palabras clave: Chile habanero, *Trichoderma asperellum*, *T. erinaceum*, Efectividad, Fitonematodo



INTRODUCCIÓN

Los cultivos de hortalizas en áreas tropicales y subtropicales dependen en gran medida del control adecuado de nematodos agalladores (Sikora y Fernández, 2005; Ulloa *et al.*, 2016), especialmente contra *Meloidogyne* spp. los cuales son difícil de controlar, debido a su amplia gama de hospedantes, altas tasas de reproducción y su tipo de parasitismo (Manzanilla *et al.*, 2004; Guerrero-Abad *et al.*, 2021).

En general, *M. incognita* induce la formación de agallas (hipertrofia e hiperplasia) en la raíz, lo cual bloquea el flujo de agua y nutrientes. Por el mal funcionamiento del sistema vascular, disminuye el crecimiento de las plantas, lo que causa clorosis, marchitez, caída de flores, frutos y pérdidas en la producción (Hernández *et al.*, 2011). El manejo de estos nematodos se basa en la aplicación de nematicidas organofosforados y carbamatos (Marbán y Manzanilla, 2012). Sin embargo, por su toxicidad y persistencia ambiental existe la tendencia de evaluar alternativas de control compatibles con la salud de los agroecosistemas (Xie *et al.*, 2015), como con *Trichoderma* spp. antagonistas de patógenos de la raíz (Szabó *et al.*, 2013).

La eficiencia de *Trichoderma* spp. para regular poblaciones de parásitos radicales como los nematodos, depende principalmente del origen de la cepa, la interacción con el hospedante, la capacidad para adaptarse al ambiente donde se incorporan y del tipo de parasitismo del nematodo (Zhang *et al.*, 2014). La investigación sobre el uso de microorganismos antagonistas cada vez es mayor (Hallman *et al.*, 2009; Corazon-Guivin *et al.*, 2024).

De los microorganismos que parasitan a los nematodos, los hongos son particularmente atractivos ya que han mostrado su potencial (Martínez-Canto *et al.*, 2023). *Trichoderma* spp. son micoparásitos activos que han sido considerados para el biocontrol de hongos causantes de enfermedades foliares y radicales (Martínez-Canto *et al.*, 2021; Natsiopoulos *et al.*, 2024). Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar en condiciones protegidas, la aplicación individual y en combinación de dos especies de *Trichoderma* en *Capsicum chinense* para controlar a *Meloidogyne incognita*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en condiciones protegidas (invernadero) y en el laboratorio de Fitopatología perteneciente al Tecnológico de Nacional de México/Campus Conkal, ubicado en la Avenida Tecnológico S/N, localizado entre los paralelos 21°02' y 21°08' latitud norte y los meridianos 89°29' y 89°35' longitud oeste.

Establecimiento del experimento. Se utilizaron plántulas de 45 días de germinadas de chile habanero cv. Izamal (rojo en su madurez final), se trasplantaron en bolsas de 5 kg de capacidad, que contenían sustrato compuesto por suelo, bocashi y rocas volcánicas en proporción de 6:3:1. Las bolsas se establecieron en un diseño experimental de bloques completos al azar, en un invernadero tipo túnel el cual tuvo una cubierta de techo con plástico y paredes cubiertas con malla antiáfidos. Se establecieron cinco tratamientos: 1) *T. asperellum* (Ta13-17), 2) *T. erinaceum* (Te10-15), 3) combinación de *T. asperellum* (Ta 13-17) y *T. erinaceum* (Te10-15), se consideraron dos testigos; 4) Vydate® (i. a Oxamil 24 % de síntesis química) en dosis de 2 mL L⁻¹ de agua, al momento del trasplante y 5) testigo, solo plantas sin el control del nematodo.

Obtención cepas *Trichoderma* spp. e inoculación en plantas de Chile. Las cepas de *Trichoderma* que se evaluaron, fueron proporcionadas por el Ceparío Fúngico del Laboratorio de Fitopatología perteneciente al Campus Conkal, las cuales fueron identificadas como *T. asperellum* (Ta13-17) (Celis-Perera *et al.*, 2021) y *T. erinaceum* (Te10-15) (Martínez *et al.*, 2021). Para su uso, se reactivaron en medio de cultivo papa dextrosa agar (PDA) y se incubaron a 28 °C durante 15 días. Después se preparó el inóculo fúngico (1×10^3 esporas mL⁻¹). Previo al trasplante, este inóculo se aplicó por separado y en combinación al suelo, posteriormente se realizaron dos inoculaciones a los ocho y 15 días después del trasplante.

Obtención del inóculo de *Meloidogyne incognita* e inoculación en plantas. A partir de poblaciones establecidas de *M. incognita* en condiciones protegidas en el cultivo de *Solanum lycopersicum*, se extrajeron raíces agalladas, las cuales se diseccionaron para la obtención de masas de huevos del nematodo, para su posterior desinfestación y obtención de los huevos del nematodo, la desinfestación se realizó con hipoclorito de sodio al 2 % durante dos minutos; inmediatamente después, se realizaron lavados sucesivos con agua potable usando tamices de malla con número 45, 100, 200, 325 y 400 (Ayoub, 1980). La inoculación de huevos del nematodo se realizó al sustrato indicado contenido en bolsas de 5 kg, cada una de estas fue inoculada con 500 huevos larvados (Martínez *et al.*, 2023).

Variables de estimación de control de *M. incognita*. Para estimar la efectividad de los tratamientos, se consideraron las variables de severidad de agallamiento y de reproducción, evaluadas a los 56, 90, 122 y 137 días después del trasplante (ddt). Para la severidad, se utilizó una escala de índice de agallamiento de seis clases (Taylor y Sasser, 1978). Los puntos medios de cada clase se utilizaron para realizar mediante parámetros epidemiológicos, los siguientes análisis: Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE), tasa de infección aparente mediante el parámetro inverso de b (1/b) con el modelo de Weibull y la severidad final mediante el parámetro de Y_{final} (Pennypacker *et al.*, 1980; Campbell y Madden, 1990).

Para el efecto de tratamientos en la reproducción de *M. incognita*, se contabilizaron huevos y hembras por gramo de raíz; se realizaron fragmentaciones de raíces de Chile habanero y se homogenizaron y se tomaron dos gramos. Posteriormente, se licuó un gramo durante 10 s, con 20 mL de cloro y 30 mL de agua potable y se filtró con tamices de malla con número 45, 100, 200, 325 y 400. Finalmente, se realizó la colecta de huevos y, fueron lavados con agua corriente. Para su contabilización se realizó con ayuda de una cámara cuenta nematodos con un microscopio compuesto utilizando el objetivo de 4X. El otro gramo de raíz, se tiñó con fucsina ácida previamente preparada, que consistió en colocar 1 g de raíz en un frasco, se añadieron 2 mL de fucsina ácida con 50 mL de agua potable para su tinción con calor a punto de ebullición; después que se enfrió se lavó con agua potable para quitar el exceso de la solución de fucsina, al final se colocó glicerina para su conservación y posterior evaluación. En un microscopio estereoscópico se separaron y contabilizaron las hembras a partir de las raíces teñidas (Moo *et al.*, 2018; Martínez *et al.*, 2023).

Variables Agronómicas. En cada uno de los cuatro muestreos realizados (56, 122, 137 días ddt), se estimaron las variables asociadas con la productividad del cultivo como la altura de la planta, se inició con la extracción de las plantas de la bolsa, en donde se separó la parte aérea y raíz. Con un flexómetro se midió desde el ápice de la planta hasta la base

del tallo; peso seco foliar de tallo y hojas, éstas fueron depositadas en bolsas de papel estraza, se colocaron en una estufa de secado a 50 °C durante 10 días, hasta que las muestras tuvieron peso constante. Para la variable peso seco de raíz, se realizó mediante lavados de raíces, después de evaluar la severidad de la enfermedad se procedió al secado de raíces, de la misma manera las variables de peso seco de tallo y hojas. El volumen de raíces, se calculó por desplazamiento volumétrico de agua con una probeta de 1000 mL. El rendimiento, se obtuvo de ocho cortes durante el ciclo del cultivo, se determinó: peso del fruto, diámetro polar y ecuatorial.

Análisis de resultados. Los análisis epidemiológicos y de reproducción del nematodo, así como las variables agronómicas, se analizaron con el paquete estadístico de SAS ver. 9.4 para Windows. Con las variables de reproducción del nematodo, se hicieron análisis de varianzas (ANDEVAS) en las fechas de muestreo indicada. Las comparaciones de medias se realizaron con el método de Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de control microbiano de *M. incognita* en chile habanero. Durante el primer muestreo a partir de los 56 ddt, el tratamiento de la combinación de *T. asperellum* (Ta13-17) y *T. erinaceum* (Te10-15), permitió el menor índice de agallamiento y así se mantuvo hasta el último muestreo (137 ddt) con una disminución del 86.17 %, seguido de *T. asperellum* (Ta13-17) con 65.26 %, mientras que el tratamiento testigo sin inoculantes fúngicos, se observaron los mayores daños del nematodo durante las evaluaciones con un promedio de 29.88 % (Figura 1). Resultados también confirmados por Moo-Koh *et al.* (2018), mostraron que la interacción entre dos cepas de *T. citrinoviride* (Th33-58) y *T. harzianum* (Th33-59) ejercieron una reducción del 83 % en la severidad del daño radical. También Affokpon *et al.* (2011) reportaron menor índice de agallamiento con *T. asperellum* (T-12), a las nueve semanas en comparación con el testigo sin inoculación fúngica.

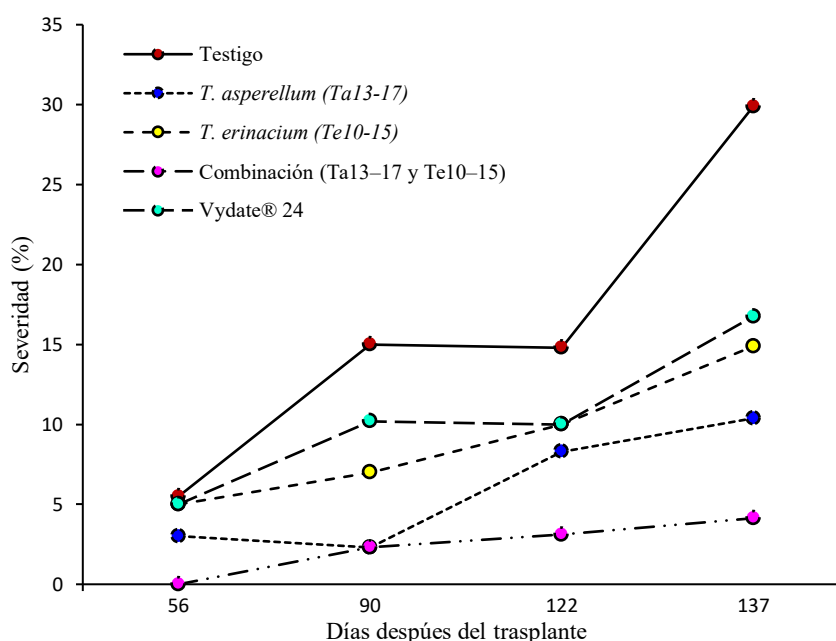


Figura 1. Curvas del progreso del índice de agallamiento en el cultivo orgánico de *C. chinense*, durante el período de 56, 90, 122 y 137 días después del trasplante.

Efecto del control microbiano en los parámetros epidemiológicos. El ABCPE en los tratamientos, mostró en la combinación *T. asperellum* (Ta13-17) y *T. erinaceum* (Te10-15) menor progreso de la enfermedad con 138.19 unidad % día⁻¹; seguido del tratamiento individual de *T. asperellum* con 376.94 unidad % día⁻¹. Lo que significó que durante el ciclo del cultivo en estos dos tratamientos se mejoró el control de la enfermedad con respecto al testigo. En un manejo integrado de nematodos agalladores (*Nacobus aberrans* y *M. incognita*), con biosolarización y *T. viride* se mantuvo 457 unidad % día⁻¹ (Magallanes, 2021), lo que evidenció también que una acumulación de materia orgánica en asociación con organismos antagónicos y saprofitos puede disminuir la población de *M. incognita* (Pérez *et al.*, 2019). La enfermedad se pudo caracterizar y ajustar al modelo de descripción Weibull con el cual se estimó la tasa de infección aparente mediante el inverso de su parámetro b-1 (Pennypeker *et al.*, 1980). Al respecto, los tratamientos que permitieron menores tasas de infección aparente (velocidad de la enfermedad) fueron: el tratamiento de la combinación *T. asperellum* (Ta13-17) / *T. erinaceum* (Te10-15), tratamiento con Vydate[®], y *T. erinaceum*, lo que demostró que los intervalos de aplicación fueron los adecuados para el control de la enfermedad. En contraste, el tratamiento que mayor intensidad de enfermedad mostró fue el testigo, sin control del nematodo (Cuadro 1). Al final del experimento el parámetro de Y_{final}, mostró que la combinación Ta13-17 y Te10-15 fue la que mejor controló la enfermedad al permitir un 4.13 % de severidad final, lo cual superó (p≤0.01) al resto de los tratamientos ya que estos permitieron al menos un 30 % de severidad de la enfermedad (Cuadro 1). El efecto antagónico de *Trichoderma* spp. en el control del nematodo, está asociado con sus mecanismos de acción en la producción de metabolitos secundarios como viridina, gliotoxina, gliovirina, que inhiben no solo el crecimiento de hongos, si no la eclosión de huevos e inmovilización de estadios juveniles de nematodos (Zin y Badaluddin *et al.*, 2020) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de tratamientos en el control de *M. incognita* estimado con parámetros epidemiológicos en el cultivo orgánico de *C. chinense*.

Tratamiento	ABCPE (unidad % día ⁻¹)	Tasa de la infección aparente 1/b (unidad % día ⁻¹)	r ² (ajuste del modelo Weibull)	Y _{final} (%)
<i>T. asperellum</i> (Ta13-17)	376.94 c ^z	0.0076 ab	0.97	10.38 ab
<i>T. erinaceum</i> (Te10-15)	778.25 b	0.0072 b	0.91	14.88 ab
Combinación	138.19 c	0.0044 c	0.93	4.13 b
Testigo	1202.63 a	0.0091 a	0.90	29.88 a
Vydate [®]	815.75 b	0.0074 b	0.90	16.75 ab
DMS*	293.86	0.0016	-	11.56

^zMedias con letras iguales no son estadísticamente diferencias (Tukey, ≤0.05). *Diferencia Mínima Significativa (P≤0.05).

Número de huevos por gramo de raíz licuada. La combinación (Ta13-17 y Te10-15) a los 56 días después del trasplante, no presentó huevos, y se mantuvo un control de esta variable con un porcentaje de disminución con respecto al testigo con 81 % a los 122 días después del trasplante y, 77 % a los 137 días después del trasplante (Cuadro 2). Moo Koh *et al.* (2018) evaluaron la interacción *T. simmonsii* (Th 09-06) / *T. harzianum* (Th33-59) y consiguieron un 59.3 % en la reducción de huevos. El tratamiento solo con *T. asperellum* causó una disminución de número de huevos de 37.65 % a los 137 días después del trasplante, también cuando se aplicó *T. asperellum* cepa Ta.90 en plantas de tomate, disminuyeron en el número de huevos del 50 % (Hernández *et al.*, 2015). La disminución

de huevos es una consecuencia del parasitismo detectado en ootecas y huevos, lo que ratifica el efecto observado bajo condiciones *in vitro* en donde *T. asperellum* FbMi6 mostró una actividad de inhibición sobre la eclosión de los huevos y la mortalidad de juveniles de *M. incognita* (Saharan *et al.*, 2023).

Cuadro 2. Efecto de tratamientos en número de huevos de *M. incognita* en el cultivo orgánico de *C. chinense*.

Tratamiento	Número de huevos por gramo de raíz licuada			
	56 ddt ^y	90 ddt	122 ddt	137 ddt
<i>T. asperellum</i> (Ta13-17)	70.25 bc ^z	86.50 b	1214.25 a	1361.75 ab
<i>T. erinaceum</i> (Te10-15)	105.75 bc	491.75 ab	1372.25 a	1487.25 ab
Combinación	0.00 c	55.50 b	335.25 a	495.25 b
Testigo	394.25 a	944.25 a	1787.00 a	2184.25 a
Vydate®	302.25 ab	843.75 ab	1540.25 a	1554.50 ab
DMS*	233.81	822.92	1978.01	1530.49

^yddt: Días después del trasplante. ^zMedias con letras iguales no son estadísticamente diferencias (Tukey, ≤ 0.05). *Diferencia Mínima Significativa ($P \leq 0.05$).

Número de hembras por gramo de raíz teñida. A los 90 días después del trasplante, el tratamiento con *T. asperellum* (Ta13-17) disminuyó un 75 % respecto al tratamiento testigo. Mismo efecto mostró el tratamiento con la combinación *T. asperellum* (Ta13-17) / *T. erinaceum* (Te10-15) en número de hembras por gramo de raíz teñida y, así se mantuvo el control de reproducción del nematodo hasta los 122 días después del trasplante. Al final del cultivo, es decir 137 días después del trasplante, con la combinación (Ta13-17 y Te10-15), el número de hembras por gramo de raíz teñida se disminuyó un 77.31 y un 73.65 % en relación al testigo y al Vydate®, respectivamente (Cuadro 3). En otro estudio, en el cultivo de tomate las interacciones (combinaciones) de *T. simmonsii* (Th09-06) / *T. harzianum* (Th33-59), *T. virens* (Th27-08) / *T. harzianum* (Th33-59) y *T. virens* (Th 43-13) / *T. ghanense* (Th26-52) tuvieron una disminución del 90.1, 88.1 y 31.5 %, respectivamente (Moo-Koh *et al.*, 2018). Al final del cultivo, el tratamiento individual de *T. asperellum* (Ta13-17) causó una disminución de reproducción del 43.81 % en comparación con el tratamiento testigo.

Cuadro 3. Efecto de tratamientos en el número de hembras de *M. incognita* en cultivo orgánico de *C. chinense*.

Tratamiento	Número de hembras por gramo de raíz teñida			
	56 ddt ^y	90 ddt	122 ddt	137 ddt
<i>T. asperellum</i> (Ta 13-17)	4.50 ab ^z	4.50 a	25.75 a	27.25 ab
<i>T. erinaceum</i> (Te 10-15)	11.25 a	13.25 a	29 a	35.25 ab
Combinación	0 b	4.50 a	6.25 a	11 b
Testigo	8.50 ab	18 a	41.77 a	48.5 a
Vydate®	7.50 ab	37 a	32.50 a	41.75 ab
DMS*	10.98	33.79	35.65	34.43

^yddt: días después del trasplante. ^zMedias con letras iguales no son estadísticamente diferencias (Tukey, ≤ 0.05). *Diferencia Mínima Significativa ($P \leq 0.05$).

Se ha planteado también que las propiedades de *Trichoderma*, radica en la habilidad para parasitar diferentes estadios de vida de *M. incognita* (Sharon *et al.*, 2011). En particular con *T. asperellum*, mejora la tolerancia de las plantas infectadas por nematodos, al fortalecer las características bioquímicas y fisiológicas, sobre todo la producción de metabolitos secundarios como compuestos fenólicos, que dificulta la reproducción del nematodo (Saharan *et al.*, 2023).

Efecto de control microbiano en el cultivo. En las variables agronómicas, aunque no hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos; en la altura de la planta, biomasa foliar y volumen radicular se estimó mayor efecto con la combinación de *Trichoderma* (cepas: Ta13-17 y Te10-15), con promedios de 30.85 cm, 95.49 g y 55.06 cm³ en su orden, que cuando se estimó el efecto correspondiente a la aplicación individual de las cepas de *Trichoderma* spp. El tratamiento con menor efecto en altura fue con el tratamiento Vydate® con un promedio de 23.64 cm. Es notorio que el tratamiento de la combinación de *Trichoderma* (cepas: Ta13-17 y Te10-15) tuvo un efecto favorable en diámetro de tallo (Cuadro 4). La aplicación de cepas de *Trichoderma* spp., estudiadas como antagonistas de *M. incognita*, al suprimir la población de nematodos y disminuir el índice de agallamiento, tuvieron una tendencia en mejorar el crecimiento del cultivo, lo que se reflejó en las variables agronómicas del chile habanero. Cuando hay una promoción del crecimiento tiene lugar una interacción específica con *Trichoderma* y la producción del ácido indolacético, que se refleja en mayor producción de biomasa vegetal (Contreras *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2011). Sin embargo, esto no sucede cuando el hospedante establece una interacción con un patógeno. En cambio, los microorganismos de biocontrol, como *Trichoderma*, destinan los recursos a la activación de mecanismos de defensa, conocidos como resistencia sistémica inducida, a través de las vías del ácido jasmónico, el ácido salicílico o el etileno, a lo que se atribuye lo ocurrido en el presente estudio (Hermosa *et al.*, 2013; Nawrocka *et al.*, 2013).

Cuadro 4. Efecto de tratamientos en el control de *M. incognita* en las variables agronómicas del cultivo orgánico de *C. chinense*.

Tratamiento	Altura de la planta (cm)	Diámetro del tallo (mm)	Biomasa Foliar (g)	Volumen Radicular (cm ³)
<i>T. asperellum</i> (Ta 13-17)	28.84±2.68 a	7.84±0.82 ab	81.9±13.54 a	48.94±6.3 a
<i>T. erinaceum</i> (Te 10-15)	26.76±1.36 a	7.16±0.75 ab	88.43±15.96 a	49.31±8.35 a
Combinación	30.85±3.14 a	7.96±0.71 a	95.49±11.83 a	55.06±7.05 a
Testigo	30.41±1.26 a	7.47±0.67 ab	76.41±11.46 a	40.88±6.24 a
Vydate®	23.64±2.94 a	6.72±0.82 b	79.88±12.83 a	44.38±7.76 a
DMS*	9.32	1.23	52.26	16.00

^ZMedias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, ≤ 0.05). *Diferencia Mínima Significativa ($P \leq 0.05$).

Efecto de tratamientos en la producción de frutos, mediante el control de *M. incognita* en el cultivo orgánico de *C. chinense*. Los resultados de rendimiento y tamaño de frutos fueron de ocho cortes realizados, los análisis de varianza mostraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p \leq 0.01$). Los tratamientos con mayor producción fueron los inoculados con *Trichoderma* spp. Los tratamientos con *T. asperellum* (Ta13-17) y la combinación (cepas: Ta13-17 y Te10-15), no solo superaron al tratamiento testigo sin inoculante fúngico, también fueron mejores al tratamiento con el nematicida Vydate®. En el primer caso se tuvo un rendimiento de 244.78 g planta⁻¹, en el segundo 231.08 g planta⁻¹. El mejor tamaño de fruto se determinó en el tratamiento de *T. erinaceum* (Te10-15) (Cuadro 5). Algunos estudios sugieren que los antagonistas microbianos también pueden reducir el rendimiento de los cultivos debido a la competencia fúngica (Meyer *et al.*, 2001) y la interacción con hongos en los cultivos (Harman, 2006) o la supresión de raíces, lo que debe considerarse en próximos estudios de biocontrol. Sin embargo, este efecto se evidenció en este estudio (Cuadro 5).

Cuadro 5. Efecto de tratamientos en el rendimiento de frutos en el cultivo de *C. chinense*.

Tratamiento	Rendimiento (g planta ⁻¹)	Número de frutos	Diámetro Ecuatorial (cm)	Diámetro Polar (cm)
<i>T. asperellum</i> (Ta 13-17)	244.78±20.95 a	23.59±1.85 a	2.89±1.02 b	4.63±1.64 b
<i>T. erinaceum</i> (Te 10-15)	210.4±17.65 ab	20.97±1.69 a	4.51±1.16 a	11.23±3.97 a
Combinación	231.08±18.41 a	18.94±1.27 ab	2.89±1.02 b	3.94±1.39 b
Testigo	121.85±11.88 c	12.91±1.29 b	2.94±1.04 b	3.94±1.39 b
Vydate®	151.93±15.78 bc	17.59±1.81 ab	3.05±1.08 b	4.79±1.69 b
DMS*	66.47	6.18	0.45	1.13

²Medias con letras iguales no son estadísticamente diferencias (Tukey, ≤ 0.05). *Diferencia Mínima Significativa ($P \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

Los tratamientos que incluyeron inoculaciones con *T. asperellum* (Ta13-17) mejoraron el control de *M. incognita* con una disminución del 65.26 % en la severidad, al igual que el tratamiento con la combinación de *Trichoderma* (cepas: Ta13-17 y Te10-15) que redujo un 86.17 %. En las variables de reproducción del nematodo se disminuyeron del 75 al 85 % en número de huevos por gramo de raíz licuada y hembras por gramo de raíz teñida a los 122 días después del trasplante del cultivo. Al igual que en el rendimiento, estos mismos tratamientos aumentaron en un 40 al 50 % la producción de frutos por planta con respecto al testigo. El ABCPE y la tasa de infección aparente mediante el modelo de Weibull, explicaron una disminución significativa en el índice de agallamiento con la aplicación individual de *T. asperellum* (Ta13-17); sin embargo, cuando se combinó con *T. erinaceum* (Te10-5) causaron menor formación de agallas.

Limitaciones

Los experimentos de esta investigación se realizaron bajo condiciones protegidas, los resultados deben ser validados en condiciones de campo, ya que factores bióticos y abióticos influyen en la efectividad de los antagonistas y en la respuesta de la planta. Es recomendable realizar la detección de genes involucrados en la resistencia sistémica durante la interacción de los hongos antagonistas y la planta para el control del nematodo.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no poseen conflicto de intereses.

Financiamiento

Proyecto TecNM: Control microbiano de Fitopatógenos en Hortalizas Tropicales (21013.24-P)

Contribución de los autores

Citlally Guadalupe Puc-Flores; ejecución de experimentos muestreos y mediciones de variables. **Felicia Amalia Moo-Koh**; activación de aislados fúngicos, preparación de tratamientos y redacción del manuscrito. **José María Tun Suárez**; revisión crítica de experimento y proceso de redacción del manuscrito. **Eduardo Villanueva-Couoh**; diseño y orientación de los experimentos y mediciones de las variables, revisión y redacción final

del manuscrito. **Jairo Cristóbal-Alejo**; orientación del estudio, análisis y diseño de la investigación. Líder del proyecto de investigación. Participó en el análisis de los resultados y en la revisión crítica del manuscrito ya probación final del mismo.

REFERENCIAS

- Affokpon A, Coyne D, Htay C, Dossou R, Lawouin L, *et al.* 2011. Biocontrol potential of native *Trichoderma* isolates against root-knot nematodes in West African vegetable production systems. *Soil Biology and Biochemistry* 43: 600-608. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.11.029>
- Ayoub SM. 1980. Plant Nematology an Agricultural Training Aid. Department of Food and Agriculture Division of Plant Industry Laboratory Services Nematology. Editorial Nema aid publications, Sacramento, CA, USA. 157 p.
- Campbell C, Madden V. 1990. Introduction to plant disease epidemiology. John Wiley & Sons Inc. New York, USA. 532. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19912305030>
- Celis-Perera SE, Moo-Koh FA, Reyes-Ramírez A, Tun-Suárez JM and Cristóbal-Alejo J. 2021. *In vitro* antagonism of *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckf. & Nirenberg (Ta13-17) against phytopathogenic fungi of *Solanum lycopersicum* L. *Revista Protección Vegetal* 36:1-7. <https://censa.edicionescervantes.com/index.php/RPV/article/view/1154>
- Contreras-Cornejo HA, Macías-Rodríguez L, Cortés-Penagos C and López-Bucio J. 2009. *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in *Arabidopsis*. *Plant Physiology* 149: 1579–1592. <https://doi.org/10.1104/pp.108.130369>
- Corazon-Guivin MA, Rengifo del Aguila S, Corrêa RX, Cordova-Sinarahua D, Costa Maia L, *et al.* 2024. Native arbuscular mycorrhizal fungi promote *Plukenetia volubilis* growth and decrease the infection levels of *Meloidogyne incognita*. *Journal of Fungi* 10:451. <https://doi.org/10.3390/jof10070451>
- Guerrero-Abad JC, Padilla-Domínguez A, Torres-Flores E, López Rodríguez C, Guerrero-Abad RA, *et al.* 2021. A pathogen complex between the root knot nematode *Meloidogyne incognita* and *Fusarium verticillioides* results in extreme mortality of the inka nut (*Plukenetia volubilis*). *Journal of Applied Botany and Food Quality*. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2021.094.019>
- Hallman J, Davies KG and Sikora R. 2009. Biological control using microbial pathogens, endophytes and antagonists. In: Perry, R.N., Moens, M., Starr, J.L. (Eds.), *Root-knot Nematodes*. CAB International, Wallingford, UK. 380-411. <https://doi.org/10.1079/9781845934927.0380>
- Harman GE. 2006. Overview of mechanism and uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology* 96: 190-194. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-0190>
- Hermosa R, Rubio M, Cardoza R, Nicolás C, Monte E, *et al.* 2013. The contribution of *Trichoderma* to balancing the costs of plant growth and defense. *International Journal of Microbiology* 16:69-80. <https://doi.org/10.2436/20.1501.01.181>
- Hernández M, Sánchez M, García J, Mayek N, González J, *et al.* 2011. Caracterización molecular y agronómica de aislados de *Trichoderma* spp. nativos del noroeste de México. *Revista Colombiana de Biotecnología* 13:176-185. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/48718/28009-99239-1-PB.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Hernández-Ochandía D, Rodríguez MG, Peteira B, Miranda I, Arias Y, *et al.* 2015. Efecto de cepas de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt y Nirenberg sobre el desarrollo del tomate y *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood. *Revista de Protección Vegetal* 30: 139-147. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522015000200008
- Magallanes M. 2021. Paquete tecnológico para el manejo de los nematodos *Nacobus aberrans* y *Meloidogyne incognita* en tomate de invernadero. Colegio de Postgraduados. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. Campus Montecillo. Fitosanidad. *Fitopatología*. 81-86. http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/4621/Magallanes_Tapia_MA_DC_Fitopatologia_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Consulta, enero 2024)
- Manzanilla H, Kenneth E and Bridge J. 2004. Plant diseases caused by nematodes. Pp. 637-716. In: Chen ZX., Chen SY, Dickson DW (eds). *Nematology Advances and Perspectives. Nematode Management and Utilization*. CAB International, Wallingford, UK. <https://doi.org/10.1079/9780851996462.0637>
- Marbán M and Manzanilla R. 2012. Chemical and non-chemical tactics to control plant-parasitic nematodes. Pp:729-759. In: Manzanilla-López RH and Marbán-Mendoza N (eds.). *Practical plant nematology*. Mundi-Prensa. Madrid España. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx., México. <https://repository.rothamsted.ac.uk/item/8qwx6/chemical-and-non-chemical-tactics-to-control-plant-parasitic-nematodes>
- Martínez-Canto OJ, Cristóbal-Alejo J, Tun-Suárez JM y Reyes-Ramírez A. 2021. Detección de genes *Epl1* y *Sml1* en *Trichoderma* spp. antagonistas contra hongos fitopatógenos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 8:1-8. <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.2791>
- Martínez-Canto OJ, Cristóbal-Alejo J, Tun-Suárez JM and Reyes-Ramírez A. 2023. *Trichoderma erinaceum* and *Trichoderma virens* in the control of *Meloidogyne incognita* in *Solanum lycopersicum*. *Agrociencia* 58:1-13. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v57i8.2784>

- Martínez MA, Roldán A and Pascual AJ. 2011. Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and *Trichoderma harzianum* under conventional and low fertilization field condition in melon crops: Growth response and *Fusarium* wilt biocontrol. *Applied Soil Ecology* 47: 98 -105. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.11.010>
- Meyer SLF, Roberts DP, Chitwood DJ, Carta LK, Lumsden RD, *et al.* 2001. Application of *Burkholderia cepacia* and *Trichoderma virens*, alone and in combinations, against *Meloidogyne incognita* on bell pepper. *Nematropica* 31: 75-86. <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/69615>
- Moo-Koh FA, Cristóbal-Alejo J, Reyes-Ramírez A, Tun-Suárez JM, Gamboa-Angulo M, *et al.* 2018. Incompatibilidad interespecífica de especies de *Trichoderma* contra *Meloidogyne incognita* en *Solanum lycopersicum*. *Scientia Fungorum* 47:37-45. <https://scientiafungorum.org.mx/index.php/micologia/article/view/1191/1380>
- Natsiopoulos D, Topalidou E, Mantzoukas S and Eliopoulos PA. 2024. Endophytic *Trichoderma*: Potential and prospects for plant health management. *Pathogens* 13: 548. <https://doi.org/10.3390/pathogens13070548>
- Nawrocka J, and Malolepsza U. 2013. Diversity in plant systemic resistance induced by *Trichoderma*. *Biological Control* 67:149-156. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.07.005>
- Pennypacker S, Knoble H, Antle C and Madden L. 1980. A flexible model for studying plant disease progression. *Phytopathology* 70: 232-235. <https://doi.org/10.1094/Phyto-70-232>.
- Pérez EA, Cid del Prado VI, Alatorre RR, Suárez EJ, Rodríguez GM, *et al.* 2019. Efecto de la biofumigación y *Pochonia chlamydosporia* en el manejo de nematodos nodulares en tomate. *Nematropica* 49:172-180. <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/119471>
- Saharan R, Patil J, Yadav S, Kumar A and Goyal V. 2023. The nematicidal potential of novel fungus, *Trichoderma asperellum* FbMi6 against *Meloidogyne incognita*. *Scientific Reports* 13:1-7. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33669-z>
- Sharon E, Chet I and Spiegel Y. 2011. *Trichoderma* as a Biological Control Agent. Pp:183-201 *In: Davies, K and Spiegel, Y. (eds) Biological Control of Plant-Parasitic Nematodes: Progress in Biological Control Vol. 11. Springer, Dordrecht.* https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9648-8_8
- Sikora R and Fernández E. 2005. Nematode parasites of vegetables. Pp: 319-392. *In: Luc M, Sikora RA, Bridge J (eds.), Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture. CAB International, Wallingford, UK.* <https://doi.org/10.1079/9780851997278.0319>
- Szabó M, Urbán P, Virányi F, Kredics L and Fekete C. 2013. Comparative gene expression profiles of *Trichoderma harzianum* proteases during *in vitro* nematodes egg-parasitism. *Biological Control* 67:337-343. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.09.002>
- Taylor AL and JN Sasser. 1978. Biology, identification and control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* species). North Carolina State University, Graphics, 111p.
- Ulloa M, Wang C, Saha S, Hutmacher RB, Stelly DM, *et al.* 2016. Analysis of root-knot nematode and *Fusarium* wilt disease resistance in cotton (*Gossypium* spp.) using chromosome substitution lines from two alien species. *Genetica* 144:167-179 <https://doi.org/10.1007/s10709-016-9887-0>
- Xie H, Yan D, Mao L, Wang Q, Li Y, *et al.* 2015. Evaluation of methyl bromide alternatives efficacy against soil-borne pathogens, nematodes and soil microbial community. *Plos One* 10:1-12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117980>
- Zhang S, Gan Y and Xu B. 2014. Efficacy of *Trichoderma longibrachiatum* in the control of *Heterodera avenae*. *BioControl* 59:319-331. <https://doi.org/10.1007/s10526-014-9566-y>
- Zin N and Badaluddin N. 2020. Biological functions of *Trichoderma* spp. for agricultura applications. *Annals of Agricultural Sciences* 65: 168-178. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2020.09.003>