


Control de *Meloidogyne incognita* por *Trichoderma* spp. mortalidad *in vitro* y reducción de la severidad de la enfermedad en *Capsicum chinense*

Control of *Meloidogyne incognita* by *Trichoderma* spp. *in vitro* mortality and reduction of disease severity in *Capsicum chinense*

Mónica Ake-Kuyoc¹ ; Carolina Isabel Basto-Pool¹ ; Elizabeth Herrera-Parra^{1*} 

Recibido para publicación: 01 de noviembre de 2024 - Aceptado para publicación: 21 de junio de 2025

RESUMEN

En el sureste de México el nematodo endoparásito sedentario *Meloidogyne incognita* reduce la producción de chile habanero (*Capsicum chinense*). El objetivo del trabajo fue evaluar la efectividad de cepas nativas de *Trichoderma* spp. contra juveniles del segundo estadio (J2) de *M. incognita in vitro* y en *C. chinense* para reducir la severidad de la enfermedad en condiciones de invernadero. En ensayos *in vitro* se evaluaron filtrados del medio de cultivo de 20 cepas de *Trichoderma* contra J2, estimando la mortalidad a las 24 y 48 h. Las cepas activas se evaluaron contra *M. incognita* en *C. chinense*. Cada cepa se consideró un tratamiento, se tuvo un nematocida y un testigo, dispuestos en un diseño experimental completamente al azar. Transcurridos 60 días se estimó el índice de agallamiento (IA), el número de huevos (NHU) y hembras (NHE) por gramo de raíz y variables agronómicas. La evaluación *in vitro* a las 24 y 48 h de los filtrados de las cepas YUC1, YUC5, YUC6, YUC7, YUC10, YUC17 y YUC21, provocaron un 74,54 a un 100% de mortalidad de los J2. Asimismo, las cepas YUC1, YUC5, YUC8, YUC10, YUC21 y el nematocida redujeron un 50% la producción de huevos. El menor número de hembras se obtuvo con YUC5, YUC8, YUC21 y con el nematocida con reducciones de 47% en relación al testigo. Las cepas de *Trichoderma* no promovieron el crecimiento de las plantas, pero redujeron el daño en las raíces de *C. chinense* y afectaron la reproducción de *M. incognita*.

Palabras clave: Control biológico; Endoparásito sedentario; Nematodo.

¹Yucatán, México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

*Autor para correspondencia: Elizabeth Herrera-Parra
E-mail: elian.herrera09@gmail.com

ABSTRACT

In southeastern Mexico, the sedentary endoparasitic nematode *Meloidogyne incognita* reduces the production of habanero pepper (*Capsicum chinense*). The objective of the research was to evaluate the effectiveness of native strains of *Trichoderma* spp. against second stage juveniles (J2) of *M. incognita in vitro* and in *C. chinense* to reduce the severity of the disease in greenhouse conditions. *In vitro* assays, filtrates from the culture medium of 20 *Trichoderma* strains against J2 were evaluated, estimating mortality at 24 and 48 h. Active strains were evaluated against *M. incognita* in *C. chinense*. Each strain represented a treatment and a nematocida and a control were also evaluated using a complete randomized design. After 60 days, the galling index (AI), the number of eggs (NHU) and females (NHE) per g of root and agronomic variables were estimated. The *in vitro* assay showed, at 24 and 48 h that filtrates of the YUC1, YUC5, YUC6, YUC7, YUC10, YUC17 and YUC21 strains caused 74.54 to 100% J2 mortality. Likewise, strains YUC1, YUC5, YUC8, YUC10, YUC21 and the nematocida reduced egg production by 50%. The lowest number of females was obtained with YUC5, YUC8, YUC21 and nematocida with reductions of 47% compared to control. *Trichoderma* strains did not promote plant growth, but reduced root damage of *C. chinense* and affected the reproduction of *M. incognita*.

Key words: Biological control; Nematode; Sedentary endoparasite.

Cómo citar

Ake-Kuyoc, M., Basto-Pool, C. I. y Herrera-Parra, E. 2025. Control de *Meloidogyne incognita* por *Trichoderma* spp. mortalidad *in vitro* y reducción de la severidad de la enfermedad en *Capsicum chinense*. Temas Agrarios, 30(1): 11-22. <https://doi.org/10.21897/x1mmvr86>



Temas Agrarios 2025. Este artículo se distribuye bajo los términos de la Licencia Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>), que permite copiar, redistribuir, remezclar, transformar y crear a partir del material, de forma no comercial, dando crédito y licencia de forma adecuada a los autores de la obra.

INTRODUCCIÓN

En México, el chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) se cultiva principalmente en la región sureste en la Península de Yucatán. Durante el 2023 se destinaron 649 ha para su cultivo de las cuales se obtuvo una producción de 10. 570, 75 t (SIAP, 2024). En esta zona del país en 2011 se documentó uno de los problemas fitosanitarios más frecuentes, la presencia del nematodo endoparásito sedentario *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood, que parasita a más de 15 hospederos de importancia agrícola entre los que se encuentran *Capsicum* spp. (Herrera et al., 2011). Este nematodo se caracteriza por inducir enanismo en la planta, marchitez, clorosis, caída de frutos y formación de agallas en las raíces, lo que impide el paso de agua y nutrientes hacia la planta, en consecuencia, se reduce la calidad de frutos y la producción (López et al., 2021). El principal control de este patógeno es a través de nematicidas químicos, sin embargo, el uso desmedido induce poblaciones resistentes, contaminación del suelo y manto freático, muerte de organismos benéficos y problemas en la salud de los productores (Sasanelli et al., 2021; Cabrejos et al., 2022).

En la región de Yucatán los trabajos enfocados a la búsqueda y evaluación de alternativas inocuas al ambiente como los microorganismos nativos que favorezcan el control de *M. incognita* son incipientes. Al respecto, en 2011 se inició el aislamiento de cepas de *Trichoderma*, reportándose 45 cepas, de estas el 45 % se aislaron de campos de cultivos agrícolas y el 65 % de áreas sin cultivos agrícolas (Herrera et al., 2023 a). Posteriormente, se reportó que los filtrados del medio de cultivo de cepas de *Trichoderma* identificadas como Th43-13 y Th43-14 causaron 100 % de mortalidad a las 24 y a las 48 h de evaluación de los juveniles de segundo estadio J2 del nematodo (Candelero

et al., 2015), y 41 filtrados lograron un 91,1 % de inhibición de la eclosión de huevos (Cristóbal et al., 2018). Otro reporte, señala que 19 filtrados fúngicos ejercieron 100 % de inmovilidad de los J2 a las 24 horas de evaluación, 29 indujeron efectos significativos de control a las 48 horas, y solamente 27 lograron mantener su efectividad hasta las 72 horas (Cámara et al., 2019). Los metabolitos secundarios identificados de estas cepas, que confieren la actividad nematicida, corresponden a iludina, naematolina, 4β scirpenol, 3, 7, 8, 15 scirpenetrol (Moo et al., 2022).

En evaluaciones en invernadero, en cultivos de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) inoculados con las cepas identificadas como *T. virens* y *T. simmonsii* redujeron un 22 % la formación de agallas en la raíz, un 87 y 52,39 % la formación de hembras, respectivamente (Cetz et al. 2018). En jitomate de tipo Saladette cv. Río Grande, el consorcio de *T. citrinoviride*-*T. harzianum* redujeron en 83 % la severidad del daño radical inducido por *M. incognita* (Moo et al., 2018). En chile dulce (*C. annuum* L.) la cepa *T. atroviride* además de promover el crecimiento en la altura de las plantas redujo la producción de huevos en 63 % y de hembras hasta 14,36 % (Herrera et al., 2017). En chile cv. Catiknifap (*C. annuum*) *Trichoderma* sp. afectó negativamente la reproducción del nematodo y redujo la producción de huevos hasta 90,82 % y de hembras hasta 84,33 %. Adicionalmente, presentó efecto promotor de crecimiento y las raíces presentaron mayor volumen (1,63 cm³) en relación a las plantas testigo (0,493 cm³) (Basto et al., 2023). En chile habanero (*C. chinense*) con *T. harzianum*-C1, *T. harzianum*-C2 y *T. viride* se reportan reducción de un 82,91 % la severidad de la enfermedad lo que significó raíces con menor daño y número de agallas, asimismo, afectaron la reproducción del nematodo con reducción en 82,69 y 50 % la producción de huevos y

hembras, respectivamente (Herrera *et al.*, 2018). Además, plantas de chile habanero cv. Calakmul (*C. chinense*) y chile dulce (*C. annuum*) inoculadas con *Trichoderma* spp. más hongos micorrízicos arbusculares, mostraron hasta un 60 % de raíces libres de agallas y reducción de producción de huevos en un 68 %, respectivamente (Cristóbal *et al.*, 2023; Herrera *et al.*, 2023 b).

Adicionalmente se han realizado trabajos en la búsqueda de cepas de *Trichoderma* spp. que promuevan el crecimiento vegetal en *S. lycopersicum* (Moo *et al.*, 2017), en *C. chinense* (Cristóbal *et al.*, 2021; Herrera *et al.*, 2018), y en *C. annuum* (Herrera, 2017; Basto *et al.*, 2023) que controlen patógenos fúngicos como *Fusarium oxysporum*, *F. equiseti*, *Corynespora cassicola*, *C. truncatum*, y *C. cassicola* (Martínez *et al.*, 2021; Montañez *et al.*, 2024). Así, como la identificación molecular de cepas de *Trichoderma* promisorias (Moo *et al.*, 2017; 2018; Martínez *et al.*, 2021) y la identificación de genes que activan elicitores asociados con la resistencia sistémica en plantas (Martínez *et al.*, 2021).

Por lo que las cepas de *Trichoderma*, del sureste del país, han demostrado potencial como agente de control efectivo para disminuir la severidad y la reproducción de *M. incognita* en especies hortícolas (Candelero *et al.*, 2015; Herrera *et al.*, 2017; 2018; Cetz *et al.* 2018; Cámara *et al.*, 2019; Moo *et al.*, 2022; Basto *et al.*, 2023). Sin embargo, la efectividad de este hongo depende de factores como: la cepa de *Trichoderma*, el patógeno a controlar, el cultivo y las condiciones ambientales que incluyen el pH, la temperatura, la salinidad y la disponibilidad de nutrientes (Poveda *et al.*, 2019; Kredics *et al.*, 2024). Por lo cual, el objetivo del presente trabajo fue explorar y evaluar la efectividad de nuevas cepas nativas de *Trichoderma* spp., aisladas de cultivos de chile habanero (*C. chinense*) en Yucatán, contra juveniles de segundo estadio (J2) de *M. incognita in vitro* y en la reducción de la severidad de la enfermedad en chile habanero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Bioensayo *in vitro*. Se evaluaron 20 cepas de *Trichoderma* asociadas a suelo de la rizósfera de cultivos de chile habanero, establecidos en municipios de Yucatán, México (Tabla 1). A través de la técnica de lavado de partícula de Bills *et al.* (2004) se tomó 1 g de suelo de cada muestra colectada, y se depositó en una serie de micro tamices (1 mm, 250 μ m y 105 μ m de abertura) conectados a una bomba de vacío, enseguida para su lavado se vertió 2 L de agua destilada estéril. Las partículas que quedaron en el tamiz inferior (malla de 105 μ m) se transfirieron a cajas Petri con medio de cultivo rosa de bengala con dicloran y clorafenicol y se incubaron en la oscuridad a 25 °C durante 15 días. A partir del tercer día las colonias de *Trichoderma* que crecieron se pasaron a cajas Petri con medio de cultivo papa dextrosa y agar. Posteriormente, de las cepas que crecieron, con un sacabocados se tomó un disco de micelio de cada cepa y se depositó en un matraz que contenía medio de cultivo líquido papa dextrosa y se dejó crecer por 15 días a 26 \pm 2 °C. Transcurrido el tiempo, el medio de cultivo se filtró con gasas estériles, se eliminó el sobrenadante y se centrifugó durante 15 minutos a 3000 rpm en dos ocasiones. Posteriormente, los filtrados se pasaron a través de un filtro milipore de 0,45 μ m, se depositaron en tubos Falcón y se mantuvieron en refrigeración a 4 °C hasta su uso. En pocillos de placas de cultivo se depositó 2 mL del filtrado del medio de cultivo líquido y 10 juveniles de segundo estadio (J2) de *M. incognita*. Se evaluaron 23 tratamientos, 20 correspondieron al filtrado de cada cepa de *Trichoderma*, un tratamiento químico (Oxamil 1 mL L⁻¹ de agua + 10 J2), el medio de cultivo líquido (papa dextrosa + 10 J2) y un testigo (agua + 10 J2) (Tabla 1). Cada tratamiento con tres repeticiones y cada uno con 10 J2, distribuidos en un diseño experimental completamente al azar.

Se evaluó la efectividad de los filtrados mediante la mortalidad del número de J2 de *M. incognita* a las 24 y 48 h de exposición. La muerte del nematodo se confirmó estimulando su región cefálica con un pincel, al no mostrar respuesta de movimiento se consideró inviable.

Evaluación de cepas de *Trichoderma* spp. en el control de *M. incognita* en *C. chinense*.

Bandejas de poliestireno de 200 cavidades se llenaron con sustrato comercial estéril y se sembraron semillas de chile habanero variedad Mayapan. Las semillas se inocularon con una dilución de esporas de 1×10^{-3} , de las cepas de *Trichoderma* que resultaron efectivas en el bioensayo *in vitro*. Cuando las semillas germinaron y se tuvieron las plántulas se realizaron tres inoculaciones a los 5, 10 y 15 días posteriores a la germinación. A los 45 días de edad las plántulas se trasplantaron a macetas de 2 kg de capacidad con suelo agrícola de la región, el que se esterilizó mediante arrastre de vapor durante tres días por 1 hora a 90 °C, y se inoculó con 1.300 huevos y 300 J2 de *M. incognita*. Se tuvieron 10 tratamientos: cada cepa de *Trichoderma* que presentó la mayor efectividad en el bioensayo *in vitro* (Cuadro 2), un tratamiento químico (Oxamil 1 mL L⁻¹ de agua + *M. incognita*) y un testigo (sin *Trichoderma* y con *M. incognita*), cada uno con 15 repeticiones distribuidas en un diseño experimental completamente al azar. Transcurridos 60 días posteriores a la inoculación se estimó el índice de agallamiento (IA) a través de la escala de Taylor y Sasser (1983), número de huevos (NHU) y de hembras (NHE) por gramo de raíz licuada y teñida respectivamente (Basto *et al.*, 2023) y variables agronómicas asociadas al crecimiento del cultivo: altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT) biomasa aérea seca (BAS), longitud de raíz (LR), volumen de raíz (VR) y peso seco de raíz (PSR).

Análisis estadístico. Con los datos obtenidos se realizaron análisis de varianza. Los datos estimados en porcentaje: mortalidad de J2 e índice de agallamiento se transformaron mediante la función de arco seno [$y = \arcsin(\sqrt{x/100})$]. Se utilizó como comparador de medias la prueba de Scott & Knott ($P \leq 0,05$). Los datos se analizaron mediante el paquete estadístico InfoStat.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el experimento *in vitro*, a las 24 h de evaluación el 40 % de los filtrados de las cepas (YUC1, YUC5, YUC6, YUC7, YUC10, YUC16, YUC17 y YUC21) causaron la muerte del 74,54 al 100 % de los juveniles de segundo estadio (J2) con efectividad igual al nematocida resultado esperado ya que se trata de un producto químico inhibidor de la acetilcolinesterasa, enzima que desdobla la acetilcolina y actúa sobre el sistema nervioso de los J2 induciendo parálisis y su muerte (Armendáriz *et al.*, 2015). El 35 % de las cepas presentaron los menores porcentajes de mortalidad de los J2 de 42,86 a 2,22 %. Y el 25 % de las cepas no tuvieron efecto para inducir la muerte de los nematodos, debido a que permanecieron viables al igual que los del testigo y los del medio de cultivo. A las 48 h las mismas cepas (YUC1, YUC5, YUC6, YUC7, YUC10, YUC17 y YUC21), presentaron el 100 % de mortalidad de los J2, mostrando un efecto consistente en los dos tiempos de evaluación. Adicionalmente, la cepa YUC8 causó la muerte del 100 % de los nematodos y las cepas YUC3, YUC12, YUC13 y YUC14 provocaron hasta un 68,97 % de mortalidad. Las cepas YUC19 y YUC20 no tuvieron efecto en los J2, y el resto de las cepas presentaron porcentajes de mortalidad que oscilaron de 42,12 a 5,34 % (Tabla 1).

Tabla 1. Efecto *in vitro* de filtrados de *Trichoderma* spp. en la mortalidad de J2 de *M. incognita* a las 24 y 48 h de exposición.

Tratamiento	*Origen	Mortalidad de J2 de <i>M. incognita</i> (%)	
		24h	48h
YUC1	Tizimín	96,97 a	100 a
YUC3	Tizimín	0,00 d	57,88 b
YUC4	Tizimín	9,39 c	42,12 c
YUC5	Tizimín	100 a	100 a
YUC6	Tizimín	74,54 a	100 a
YUC7	Tizimín	93,33 a	100 a
YUC8	Tizimín	33,85 b	100 a
YUC9	Tizimín	0,00 d	5,34 e
YUC10	Tizimín	100 a	100 a
YUC12	Tizimín	0,00 d	68,97 b
YUC13	Tekax	28,24 b	59,72 b
YUC14	Tekax	13,33 c	53,33 b
YUC15	Tekax	2,22 d	28,37 c
YUC16	Tekax	100 a	77,27 a
YUC17	Valladolid	100 a	100 a
YUC18	Valladolid	42,86 b	95,24 a
YUC19	Valladolid	0,00 d	0,00 f
YUC20	Valladolid	0,00 d	0,00 f
YUC21	Halachó	96,67 a	100 a
YUC22	Halachó	12,58 d	17,67 d
Nematicida (Oxamil)		100 a	100 a
Testigo (Agua)		0,00 d	0,00 f
Medio de cultivo		0,00 d	0,00 f
CV (%)		19,88	17.49
P-valor		0,0001	0,0001

La tabla muestra promedios, literales diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (Scott & Knott, $P \leq 0,05$). n=30. CV= coeficiente de variación. *origen=Municipios del estado de Yucatán, México.

Los resultados indicaron que no todas las cepas de *Trichoderma* presentaron el mismo potencial antagónico contra *M. incognita*. Al respecto, la producción de metabolitos secundarios se asocia al origen de las cepas y a las condiciones adversas cuando compiten contra microorganismos como

nematodos, hongos y bacterias por espacios y nutrientes. Por lo cual, de acuerdo a la presión natural a las que están sometidas se asocia a los tipos de metabolitos secundarios que producen y su efectividad (Poveda *et al.*, 2019; López *et al.*, 2023; Kredics *et al.*, 2024). Asimismo, se ha documentado la capacidad

de *Trichoderma* para inducir la muerte *in vitro* de *M. incognita* (Cristóbal et al., 2018; Fan et al., 2020). Donde los metabolitos identificados que confieren la actividad nematocida corresponden a gliotoxina, viridina, trichodermina, naematolina, sepedonina y konigininas B, L (Zhang et al., 2021; Moo et al., 2022, Torres et al., 2023). También se sabe que algunas cepas producen quitinasas, proteasas y glucanasas, que hidrolizan la pared celular y desencadenan la ruptura de la membrana plasmática provocando cambios estructurales en el citoplasma de los J2 y huevos del nematodo (Vicente et al., 2022).

En las plantas de Chile habanero el menor IA se obtuvo con las cepas YUC8 y YUC21 la inoculación de estas redujo un 50 % el daño en la raíz en relación a la raíz de las plantas que incluyó el nematocida, donde las raíces tuvieron un IA de 72,55 %. El resto de las cepas de *Trichoderma* y el testigo presentaron el mayor IA (83,45 %) e igualdad estadística (Tabla 2). Se reportan varios mecanismos a través de los cuales *Trichoderma* reduce el daño y la reproducción de nematodos (Poveda y Eugui, 2022; Yao et al., 2023). Entre estos se encuentra la producción de metabolitos secundarios con actividad nematostática (Moo et al., 2022; Torres et al., 2023) que desorientan a los J2 impidiendo la penetración de estos a la raíz, lo que reduce la formación de agallas (Saeed et al., 2023). Al respecto cepas de *T. harzianum* lograron reducciones de IA de 48,58 % en jitomate (*S. lycopersicum*) parasitados por *M. incognita* (Ali et al., 2022). Y *T. koningiopsis* inmovilizó J2 e inhibió la eclosión de huevos de *M. incognita* en pepino (*Cucumis sativus* L.) mediante parasitismo

y lisis lo que suprimió el daño en las raíces (Sreenayana et al., 2022).

Por otra parte, las cepas YUC1, YUC5, YUC8, YUC10 y YUC21, mostraron la misma capacidad que el nematocida para reducir el NHE hasta en un 50 % en relación al resto de las cepas y el testigo. El menor NHE se obtuvo con YUC5, YUC8, YUC21 y con el nematocida con reducciones de 47 % en relación al testigo. Las cepas YUC7 y YUC10 fueron las menos efectivas para reducir el NHE y presentaron igualdad estadística al testigo (Tabla 2). Esta respuesta de control se asocia a la capacidad de *Trichoderma* de parasitar estados inmaduros de nematodos: huevos, estadios juveniles, adultos y reducir la población. Al respecto, en Chile Xcatik var. Catiknifap (*Capsicum annuum* L.) *Trichoderma* spp., redujo la producción de hembras en 84,33 %, y de huevos en 90,82 % respecto a las plantas control y un 85,97 % a las plantas tratadas con el nematocida (Basto et al., 2023). En jitomate (*S. lycopersicum*) *T. erinaceum* disminuyó la producción de hembras en 80,60 % y de huevos en 60,27 % en relación a las plantas control (Martínez et al., 2023). Sin embargo, la efectividad de *Trichoderma* spp. depende del tipo de cepa, patógeno, especie de cultivo y factores bióticos (Herrera et al., 2023). Particularmente, la cepa YUC8 mantuvo su efecto de control en los bioensayos *in vitro* y en invernadero, lo cual nos señala su potencial para el control de nematodos endoparásitos sedentarios como *M. incognita*, sin embargo, se requiere su evaluación en sistemas agrícolas complejos para conocer si su efecto se mantiene.

Tabla 2. Efecto antagónico de cepas de *Trichoderma* spp. en la severidad de la enfermedad y reproducción de *M. incognita* en chile habanero.

Tratamiento	IA (%)	NHU/g ⁻¹ de raíz	NHE/g ⁻¹ de raíz
YUC1	83,45 a	145,00 b	27,60 b
YUC5	69,82 a	156,40 b	25,60 c
YUC6	83,45 a	232,00 a	28,00 b
YUC7	83,45 a	188,60 a	38,00 a
YUC8	43,91 b	129,00 b	23,00 c
YUC10	62,77 a	122,80 b	40,20 a
YUC17	74,36 a	215,60 a	28,60 b
YUC21	36,18 b	109,40 b	25,20 c
Testigo (Agua)	74,36 a	220,60 a	43,40 a
Nematicida (Oxamil)	72,55 a	131,40 b	24,20 c
CV (%)	26,18	27,25	15,76
P-valor	0,0001	0,0002	0,0001

La tabla 2 muestra promedios, literales diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (Scott & Knott, $P \leq 0,05$). IA= Índice de agallamiento. NHU= Número de huevos. NHE= Número de hembras. n=15. CV= coeficiente de variación.

Tabla 3. Efecto de cepas de *Trichoderma* spp. en el crecimiento de plantas de chile habanero a los 60 días posteriores a la inoculación de *M. incognita*

Tratamientos	Altura de la planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Biomasa aérea seca (g)	Longitud de raíz (cm)	Volumen de raíz (cm ³)	Peso seco de raíz (g)
YUC1	64,27 a	3,95 b	2,04 d	22,20 b	3,27 d	0,58 b
YUC5	45,53 a	4,38 b	2,04 d	20,40 b	3,13 d	0,59 b
YUC6	47,07 a	4,33 b	2,23 d	28,20 a	4,13 c	0,59 b
YUC7	45,73 a	3,38 b	2,96 c	25,60 a	4,47 c	0,85 b
YUC8	48,60 a	4,45 b	3,12 b	27,33 a	4,47 c	0,69 b
YUC10	44,80 a	4,71 a	3,47 b	26,27 a	2,68 d	1,07 a
YUC17	47,00 a	4,49 b	3,60 b	25,47 a	6,27 b	1,20 a
YUC21	44,87 a	4,47 b	3,52 b	25,87 a	3,53 c	1,28 a
Testigo	48,03 a	4,35 b	3,82 b	28,27 a	5,13 c	1,07 a
Nematicida (Oxamil)	51,80 a	4,93 a	5,13 a	22,43 b	8,13 a	1,16 a
CV (%)	13,13	9,26	27,51	26,03	29,05	31,06
P-valor	0,0806	0,0001	0,0001	0,0116	0,0001	0,0001

La tabla 3 muestra promedios, literales diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas (Scott & Knott, $P \leq 0,05$). n = 15. CV=coeficiente de variación.

Las cepas de *Trichoderma* no presentaron un efecto significativo en el crecimiento de las plantas de chile habanero lo que indicó que bajo las condiciones de estudio no promovieron el crecimiento de estas. La

altura de las plantas inoculadas con las cepas osciló de 44,80 a 48,60 cm, sin embargo, estos promedios fueron estadísticamente igual a la altura de las plantas testigo y el nematicida. Solo la cepa YUC10 y el

nematicida favorecieron el crecimiento del diámetro del tallo (4,71 y 4,93 mm) el resto de las cepas mostraron diámetro de tallo igual a las plantas testigo. La mayor biomasa aérea seca y volumen de raíz se registró en las plantas donde se incorporó el nematicida. Las raíces de las plantas inoculadas con las cepas presentaron longitudes de 20,40 a 28,20 cm, pero fueron iguales estadísticamente al testigo. El mayor peso seco de raíz se registró con YUC10, YUC17 y YUC21, sin embargo, fueron estadísticamente iguales al nematicida y al testigo (Tabla 3). En general las cepas de *Trichoderma* no promovieron el crecimiento de las plantas y fueron susceptibles al nematodo, lo que favoreció su reproducción y el daño en la raíz de las plantas. En este sentido, es posible que las cepas evaluadas no produzcan metabolitos secundarios como ácido harziánico, 6-pentil pirona, así como ácido cumárico, glucurónico, cítrico que contribuyen en la disponibilidad de fósforo, zinc, magnesio, manganeso y sideróforos (Sood et al., 2020; Marra et al., 2022) que actúan como compuestos quelantes de hierro que promueven el crecimiento de raíz y biomasa cuando se inoculan con *Trichoderma* (González et al., 2022; Martínez et al., 2023).

CONCLUSIONES

El 40 % de las cepas de *Trichoderma* provocó el 100 % de mortalidad de los J2 con efectos de control igual al nematicida Oxamil a las 48 h de evaluación. Las cepas YUC1, YUC5, YUC8, YUC10 y YUC21 afectaron la reproducción de *M. incognita*. Las plantas inoculadas con las cepas YUC8 y YUC21 presentaron el menor daño en las raíces y redujeron en un 50 % la severidad de la enfermedad.

Conflictos de intereses

La preparación y revisión del presente manuscrito contó con la participación de todos los autores, quienes declaramos que

no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

Agradecimientos

Al proyecto 9403436377 “*Trichoderma* spp. y hongos micorrízicos arbusculares: recursos biológicos para la producción de chile habanero, jitomate y biocontrolador de patógenos de la raíz”. Fiscal-INIFAP.

REFERENCIAS

- Ali, A., Eldeeb, A., Ramadan, M. y El-Ashry, R. 2022.** Efecto nematicida de tres especies de *Trichoderma* sobre la idoneidad de las plantas de tomate para la reproducción de *Meloidogyne incognita*. Revista Egipcia de Agronomatología 21 (2): 59-78. <https://doi.org/10.21608/ejaj.2022.257669>
- Armendáriz, G. I., Quiña, C. D., Rios, M. S. y Landázuri, A. P. 2015.** Nematodos fitopatógenos y sus estrategias de control. Primera edición. ISBN: 978-9978-302-63-0. https://www.researchgate.net/profile/IgnacioArmendariz/publication/284185706_nematodos_fitopatogenos_y_sus_estrategias_de_control/links/564f200108ae1ef9296e6137/nematodos-fitopatogenos-y-sus-estrategias-de-control.pdf.
- Basto, P. C., Zavala, L. M., Cristóbal, A. J. y Herrera, P. E. 2023.** Efecto de *Trichoderma* en el crecimiento de chile Catiknifap (*Capsicum annuum* L.) y en el control de *Meloidogyne incognita*. Avances en Investigación Agropecuaria 27(1): 175. <https://doi.org/10.53897/RevAIA.23.27.29>

- Bills, G. F., Christensen, M., Powell, M. y Thorn, G. 2004.** Saprobic soil fungi. In: Mueller, G. M., Bills, G.F., & M.S Foster, (eds). pp. 271-302. Biodiversity of fungi: Inventory and monitoring methods. San Diego, California, USA, Elsevier Academic Press 777 p. <https://books.google.es/books>
- Cabrejos, R. M. D., Lannacone, J., Romero, E. L. M., Rivera, R. A. y Vignati, D. R. 2022.** Efecto de los plaguicidas en la salud de los agricultores: una revisión sistemática de la literatura. *Biotiempo* 19(2): 1-18. <https://doi.org/10.31381/biotempo.v19i2.4909>
- Cámara, C. C., Candelero, J. D. C., Noh, J. M., Peraza, F. L. y Ruz, J. C. 2019.** Efecto nematicida de filtrados fúngicos (*Trichoderma* spp.) contra *Meloidogyne incognita*. En: Agroecosistemas tropicales: conservación de recursos naturales y seguridad alimentaria. Editores: Cetzal, I. W., casanova, L. A., Chay, C. J. y Martínez, P. J. F. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná. Instituto Tecnológico de la Zona Maya, 2019. 533 pp.
- Candelero, D. J., Cristóbal, A. J., Reyes, R. A., Tun, S. J. y Ruíz, S. E. 2015.** *Trichoderma* spp. promotoras del crecimiento en plántulas de *Capsicum chinense* Jacq. y antagónicas contra *Meloidogyne incognita*. *Phyton* 84: 113-119.
- Cetz, C. J., Cristóbal, A. J., Tun, S. J., Peraza, L. A. y Candelero de la Cruz, J. 2018.** Especies nativas de *Trichoderma* spp. y su actividad antagónica contra *Meloidogyne incognita* en *Solanum lycopersicum* L. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes 26(73): 5-12. <https://doi.org/10.33064/iycuaa201873136>
- Cristóbal, A. J., Cetz, C. J. I., Tún, S. J. M., Moo, K. F. A. y Peraza, L. F. A. 2018.** Filtrados fúngicos de *Trichoderma* con actividad nematicida contra *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood. *Revista de Protección Vegetal* 33(3):1-8. <https://revistas.censa.edu.cu/index.php/RPV/article/view/972>
- Cristóbal, A. J., Moo, K. F. A., Tún, S. J. M. y Reyes, R. A. 2021.** Efecto de la interacción dual de especies de *Trichoderma* en el crecimiento de *Capsicum chinense* Jacq. *Agociencias* 55: 681-693. <https://doi.org/10.47163/agociencia.v55i8.2661>
- Cristóbal, A. J., Ramos, Z. J. A., Garruña, H. R., Reyes, E. M. M. y Herrera, P. E. 2023.** Consorcios nativos de hongos micorrizicos arbusculares y *Trichoderma* controlan a *Meloidogyne incognita* en chile habanero. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 10(3): e3802. <https://doi.org/10.19136/era.a10n3.3802>
- Fan, H., Yao, M., Wang, H., Zhao, D., Zhu, X., Wang, Y. y Chen, L. 2020.** Isolation and effect of *Trichoderma citrinoviride* Sneh1910 for the biological control of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. *Microbiology* 20,1-11. <https://doi.org/10.1186/s12866-020-01984-4>
- González, L. Y., Ortega, B. J., Anducho, R. M. A. y Mercado, F. Y. 2023.** *Bacillus subtilis* y *Trichoderma*: Características generales y su aplicación en la agricultura. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 25(1): 1-14. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.520>

- Herrera, P. E., Cristóbal, A. J., Tun, S. J. M., Góngora, J. J. A. y Lomas, B. T. C. 2011. Nematofauna nociva (*Meloidogyne* spp.) en cultivos hortícolas tropicales: Distribución y perspectivas de manejo en Yucatán. Vol. 1. p. 125-136. In Gamboa, A.M., Rojas, H.R., y Subsistema Nacional de Recursos Genéticos Microbianos (SUBNARGEN) (eds.) Recursos genéticos microbianos de la Zona Golfo Sur-Sureste de México, Editorial Morevalladolid S. de R.L. de C.V., México.
- Herrera, P. E., Cristóbal, A. J. y Ramos, Z. J. 2017. *Trichoderma* strains as growth promoters in *Capsicum annuum* and as biocotrol agents in *Meloidogyne incognita*. *Chilean Journal of Agricultural Research* 77(4): 318-324.
- Herrera, P. E., Ramos, Z. J., Cristóbal, A. J., Tun, S. J. y Reyes, R. A. 2018. Species of *Trichoderma* antagonistic to the root knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in habanero pepper. *Phyton* 87: 7-13.
- Herrera, P. E., Reyes, E. M., Cristóbal, A. J., Basto, P. C. I. y Zavala, L. M. J. 2023 a. *Trichoderma*: recurso microbiológico y sus aplicaciones en la agricultura en Yucatán, México. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. 15: 27-32. http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/ ISSN: 2395-8790.
- Herrera, P. E., Cristóbal, A. J., Zavala, L. M. J. y Basto, P. C. I. 2023 b. Hongos micorrícicos arbusculares y *Trichoderma* en *Capsicum annuum* disminuyen el daño inducido por *Meloidogyne incognita*. *Temas Agrarios* 28(1): 37-45. <https://doi.org/10.21897/rta.v28i1.3158>
- Kredics, L., Büchner, R., Balázs, D., Allaga, H., Kedves, O., Racić, G. y Sipos, G. 2024. Recent advances in the use of *Trichoderma*-containing multicomponent microbial inoculants for pathogen control and plant growth promotion. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 40(5), 162. <https://doi.org/10.1007/s11274-024-03965-5>
- López, H., Soilán, L., Caballero, G., Grabowski, C. y Enciso, G. 2021. Manual de nematología agrícola. Bases y procedimientos. Asunción, Paraguay. Editorial: Atlas: 77-82. <http://dx.doi.org/10.53997/DFXA5914>
- López, L. M. E., Toro, S. C. L. D., Ochoa, A. S., Aguilar, L. J. A., Martínez, C. O., Madrigal, P. J. A. y Gutiérrez, L. M. 2023. Antagonismo de cepas de *Trichoderma* aisladas en Tanaxuri, Michoacán, México contra patógenos postcosecha del fruto de aguacate (*Persea americana* Mill). *Biotecnia*, 25(1): 24-33. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i1.1726>
- Marra, R., Lombadi, N., Piccolo, A., Bazghaleh, N., Prashar, P., Vandenberg, A. y Woo S. 2022. Mineral biofortification and growth simulation of lentil plants inoculated with *Trichoderma* strain and metabolites. *Microorganisms* 10(87): 1-15. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010087>.
- Martínez, C. O., Cristóbal, J., Tun, J. y Reyes, A. 2021. Detección de genes Ep11 y Sm1 en *Trichoderma* spp. antagonistas contra hongos fitopatógenos. *Ecosistemas y recursos Agropecuarios* 8(2): e2791. <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.279>

- Martínez, C. O., Cristóbal, J., Tun, J. y Reyes, A. 2023.** *Trichoderma erinaceum* and *Trichoderma virens* in the control of *Meloidogyne incognita* in *Solanum lycopersicum*. *Agrociencia* 1-13. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v57i8.2784>
- Moo, K. F. A., J. Cristóbal, A. J., Reyes, R. A., Tun, S. J.M. y Gamboa, A. M. 2017.** Identificación molecular de aislados de *Trichoderma* spp. y su actividad promotora en *Solanum lycopersicum* L. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* 71: 5-11. <https://doi.org/10.33064/iycuaa201771335>
- Moo Koh, F. A., Cristobal Alejo, J., Reyes Ramírez, A., Tun Suárez, J. M., Gamboa Angulo, M. y Islas Flores, I. R. 2018.** Incompatibilidad interespecífica de especies de *Trichoderma* contra *Meloidogyne incognita* en *Solanum lycopersicum*. *Scientia Fungorum*, 47, 37–45. <https://doi.org/10.33885/sf.2018.47.1191>
- Montañez, M. D., Cristóbal, A.J., Uc, V. A., Moo, K. F. A. y Tun, S. J. M. 2024.** Efecto antifúngico de hongos endófitos de curcubitáceas criollas de Yucatán. *Ecosistemas y recursos Agropecuarios* 11(2): e3992. <https://doi.org/10.19136/era.a11n2.3992>
- Moo, K. F. A., Cristóbal, A. J., Andrés, M. F., Martín, J., Reyes, F., Tun, S. J. M. y Gamboa, A. M. 2022.** *In vitro* assessment of organic and residual fractions of nematicidal culture filtrates from thirteen tropical *Trichoderma* strains and metabolic profiles of most active. *Journal of Fungi* 8(82):1-16. <https://doi.org/10.3390/jof8010082>
- Poveda, J. y Eugui, D. 2022.** Combined use of *Trichoderma* and beneficial bacteria (mainly *Bacillus* and *Pseudomonas*): Development of microbial synergistic bio-inoculants in sustainable agriculture. *Biological control* 176:1-19. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105100>
- Poveda, J., Hermosa, R., Monte, E. y Nicolás, C. 2019.** *Trichoderma harzianum* favours the access of arbuscular mycorrhizal fungi to non-host Brassicaceae roots and increases plant productivity. *Scientific reports* 9(1): 11650. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48269-z>
- Saeed, M., Mukhtar, T., Ahmed, R., Ahmad, T. y Iqbal, M. 2023.** Suppression of *Meloidogyne javanica* infection in peach (*Prunus persica* L.) Batsch) using fungal biocontrol Agents. *Sustainability* 15: 1-13. 13833. <https://doi.org/10.3390/su151813833>
- Sasanelli, N., Konrat, A., Migunova, V., Toderas, I., Straistaru, E., Rusu, S., Bivol, A. Andoni, C. y Veronico, P. 2021.** Review on control methods against plant parasitic nematodes applied in southern member states (c zone) of the European Union. *Agriculture* 11 (7): 1-19. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070602>
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2024.** Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. consultado el 10 de julio de 2024.
- Sood, M., Kapoor, D., Kumar, V., Sheteiwiy, M. S., Ramakrishnan, M., Landi, M., Araniti, F. y Sharman, A. 2020.** *Trichoderma*: the “secrets” of a multitasking biocontrol agent. *Plants* 9(762): 1-25. <https://doi.org/10.3390/plants9060762>.