



Efecto de *Trichoderma* en el crecimiento de chile Catiknifap (*Capsicum annuum* L.) y en el control de *Meloidogyne incognita*

Trichoderma Effect on the Growth of Catiknifap Chili (*Capsicum annuum* L.) and the Control of *Meloidogyne incognita*

Carolina Basto-Pool¹ <http://orcid.org/0000-0002-1735-648X>

Manuel Zavala-León¹ <http://orcid.org/0000-0001-7987-2781>

Jairo Cristóbal-Alejo² <http://orcid.org/0000-0001-9354-1129>

Elizabeth Herrera-Parra^{1*} <http://orcid.org/0000-0003-4136-6693>

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

²Instituto Tecnológico de Conkal. Conkal, Yucatán, México.

*Autor de correspondencia: elian.herrera09@gmail.com

Recepción: 9 de julio de 2023

Aceptado: 25 de septiembre de 2023

Resumen

Objetivo. Estimar el efecto de cepas nativas de *Trichoderma* en el crecimiento inicial, a los 45 días posteriores a la siembra de chile Catiknifap, y el control del nematodo endoparásito sedentario *Meloidogyne incognita* (Mi), a los 97 días posteriores a su inoculación. **Materiales y métodos.** En condiciones de invernadero se establecieron dos experimentos, en ambos se incluyeron 12 tratamientos: 10 correspondieron a cada cepa de *Trichoderma* (C1...C10), un tratamiento de fertilización química y uno sin *Trichoderma* y sin fertilización. En el segundo experimento, además de los tratamientos constituidos por las cepas de *Trichoderma*, se incluyó uno con nematicida químico (Oxamil 24%) + Mi y otro sin nematicida químico, sin *Trichoderma* + Mi (testigo). Los

Abstract

Objective. Estimate the effect of native *Trichoderma* strains on initial growth 45 days after sowing Catiknifap chili and control of the sedentary endoparasitic nematode *Meloidogyne incognita* (Mi) 97 days after inoculation. **Materials and methods.** Two experiments were established under greenhouse conditions, both of which included 12 treatments: 10 corresponded to each *Trichoderma* strain (C1...C10), a chemical fertilization treatment and one without *Trichoderma* and no fertilization. In the second experiment, in addition to the treatments consisting of the *Trichoderma* strains, one with chemical nematicide (Oxamil 24%) + Mi and another without chemical nematicide, without *Trichoderma* + Mi (control), were included.

tratamientos se establecieron en un diseño experimental completamente al azar. **Resultados.** A los 45 días posteriores a la germinación, las plántulas con mayor altura se obtuvieron con el tratamiento de fertilización química (20.42 cm). El tratamiento C9 promovió mayor crecimiento en volumen de raíz (1.36 cm³) y el C1, C2 y C9 la biomasa seca de raíz (0.058 mg), con relación al tratamiento de fertilización química, sin *Trichoderma* y sin fertilización. A los 97 días posteriores a la inoculación del nematodo el nematicida Oxamil, disminuyó 39.74% el daño en la raíz. Los tratamientos C1 y C9 redujeron en 90.82 y 88.64, la producción de huevos, respectivamente, con relación al nematicida Oxamil y sin *Trichoderma* + Mi. Los tratamientos C1, C2, C3, C5, C6, C7, C8, C9 y C10 redujeron el número de hembras de 67.87 a 84.33% con relación al testigo, y de 48.38 a 74.83% con relación al nematicida Oxamil y sin *Trichoderma* + Mi, respectivamente. **Conclusión.** El tratamiento C9 con *Trichoderma* promovió el crecimiento en volumen de la raíz de las plántulas y con el C1, C2 y C9 la biomasa seca de raíz. La producción de huevos del nematodo disminuyó con los tratamientos C1 y C9, y las hembras con los tratamientos C2, C3, C5, C6, C7, C8, y C10, con efectos superiores al nematicida Oxamil.

Palabras clave

Nematodo, endoparásito sedentario, antagonismo, hongo.

The treatments were established in a completely randomized experimental design. **Results.** At 45 days after germination, the tallest seedlings were obtained with the chemical fertilization treatment (20.42 cm). Treatment C9 promoted greater growth in root volume (1.36 cm³) and C1, C2 and C9 dry root biomass (0.058 mg) in relation to the chemical fertilization treatment, without *Trichoderma* and without fertilization. At 97 days after the inoculation of the nematode, the nematicide Oxamil reduced root damage by 39.74%. Treatments C1 and C9 reduced egg production by 90.82% and 88.64%, respectively, in relation to the nematicide Oxamil and without *Trichoderma* + Mi. Treatments C1, C2, C3, C5, C6, C7, C8, C9 and C10 reduced the number of females from 67.87% to 84.33% in relation to the control and from 48.38% to 74.83% in relation to the nematicide Oxamil and without *Trichoderma* + Mi. **Conclusion.** Treatment C9, with *Trichoderma*, promoted the growth in root volume of the seedlings and with C1, C2 and C9 the dry root biomass. Nematode egg production decreased with treatments C1 and C9, and females with treatments C2, C3, C5, C6, C7, C8, and C10, with greater effects than the nematicide Oxamil.

Keywords

Nematode, sedentary endoparasite, antagonism, fungus.

Introducción

El género *Capsicum* cuenta con 27 especies, de las cuales *Capsicum annum* L., *Capsicum chinense* Jacq, *Capsicum frutescens* L., *Capsicum baccatum* L. y *Capsicum pubescens* L., son las que se cultivan (Ibiza *et al.*, 2012). En la península de Yucatán los cultivos de *C. chinense* y de materiales regionales de *C. annum* como chile max, chile bolita, chile picopaloma (Castillo y López, 2021) y variedades de chiles criollos mejorados, como chile dulce Costillón y chile Xcat ik Catiknifap (Santamaría *et al.*, 2021; 2022) son los de mayor demanda, debido a que se consumen en fresco y se emplean en la elaboración de platillos regionales por su bajo contenido de capsaicina y su aroma característico (Cázares *et al.*, 2005; Gamboa *et al.*, 2020).

En México, durante 2022 se destinaron 437.20 ha para el cultivo de chile Xcat ik (*C. annuum* L.), de las cuales se cosecharon 11 182.28 t de frutos; los estados que contribuyeron a esta producción fueron: Sinaloa, Jalisco, Guanajuato, Zacatecas, Durango y Yucatán (SIAP, 2023). Sin embargo, la producción de chile Xcat ik es mermada por plagas y enfermedades (Chew *et al.*, 2008). En campo e invernadero se observan plantas con poco crecimiento, clorosis, marchitez, nódulos o agallas en el sistema radicular, lo que repercute en una reducción en el número, tamaño y calidad de los frutos. En la península de Yucatán, estos síntomas los causa el nematodo agallador *Meloidogyne incognita*, que además de afectar al chile y otras solanáceas, también induce pérdidas de producción en cucurbitáceas y otras plantas de interés económico (Herrera *et al.*, 2021). Este fitonematodo causa daños directos y predisponen a las plantas a la infección de fitopatógenos como bacterias y hongos.

Actualmente, la principal estrategia para su control es el uso de nematicidas de síntesis química, principalmente carbamatos y organofosforados, los cuales tienen un impacto ambiental negativo al contaminar el suelo, el manto freático y la salud (Polanco *et al.*, 2019). La aplicación recurrente y no planificada de estos tóxicos genera poblaciones de nematodos resistentes y ocasionan la pérdida de biodiversidad de las poblaciones antagonistas naturales contra fitoparásitos con origen en el suelo (Pakeerathan *et al.*, 2009; Cetz *et al.*, 2018).

Una alternativa de control compatibles con el agroecosistema es el uso de hongos antagonistas, como *Trichoderma*. Las cepas de este hongo compiten por espacio, nutrientes, producen metabolitos secundarios que inhiben la eclosión de huevos, inducen la mortalidad e inmovilizan estadios juveniles de nematodos (Cristóbal *et al.*, 2018; Zin y Badaluddin, 2020). En cultivos de chile habanero y chile dulce parasitados por *M. incognita*, reducen la severidad de la enfermedad (Herrera *et al.*, 2017, 2018). En *Solanum lycopersicum*, redujo en 62.20% la formación de agallas, la producción de huevos en 88.82% y hasta 65.72% la formación de hembras (Cetz *et al.*, 2018). En *C. annuum*, *Trichoderma* estimuló el crecimiento, la biomasa foliar, radicular y del diámetro del tallo. En frutos incrementó el contenido de lípidos y proteínas (Villegas *et al.*, 2018; Gamboa *et al.*, 2020). Efectos que están asociados a la capacidad de las cepas de *Trichoderma* para producir ácido indol-3-acético que estimula el crecimiento apical e incrementa la biomasa vegetal. A la producción de cisteínas, proteína asociada con el crecimiento de raíces, y a la producción de sideróforos, quelación y solubilización de minerales que son aprovechados por las plantas (Sood *et al.*, 2020; Suárez *et al.*, 2023).

Aunque la efectividad de estos microorganismos depende de la cepa de *Trichoderma*, el patógeno a controlar, el cultivo agrícola y las condiciones edafoclimáticas. En reportes previos se demostró que el uso de cepas nativas tuvo mayor efectividad, ya que están adaptadas a las condiciones abióticas, lo que favorece su establecimiento y la colonización de hospederos locales (Celis *et al.*, 2021). En Yucatán, el estudio y la exploración de los recursos microbianos antagonistas contra *Meloidogyne* spp., es incipiente (Herrera *et al.*, 2018). El aislamiento y selección de cepas efectivas en la reducción de poblaciones de este nematodo forma parte del esquema en el desarrollo de bioproductos para la protección

de los cultivos (Quesada *et al.*, 2023). Con base en lo anterior, este trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto promotor de crecimiento de plántulas y antagónico de cepas nativas de *Trichoderma* en plantas de chile Xcat ik var. Catáknifap (*C. annuum* L.) en condiciones de invernadero para el control de *Meloidogyne incognita*.

Materiales y métodos

Origen de las cepas de *Trichoderma*

Se evaluaron 10 cepas de *Trichoderma* que fueron aisladas del suelo de cultivos de chile (*C. chinense* y *C. annuum*) establecidos en el estado de Yucatán, México (Candelero *et al.*, 2015). El aislamiento de las cepas se realizó mediante la técnica de lavado de partículas de suelo (Bills *et al.*, 2004) y la siembra de estas en medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA), a partir de las cuales se realizaron cultivos monospóricos de las cepas de *Trichoderma*.

Evaluación de *Trichoderma* en semillero de *C. annuum* var. Catáknifap

Las cepas de *Trichoderma* se reactivaron en medio de cultivo PDA y se dejaron crecer a 28 ± 1 °C durante 20 días. Con las que se elaboraron diluciones de esporas de 1×10^3 mL/L (Cubillos *et al.*, 2009), que sirvieron para inocular directo a las semillas de chile Catáknifap al momento de la siembra en charolas de unicel que contenían sustrato estéril Sunshine® y a los 10, 20 y 30 días después de la germinación dirigido a la raíz de las plántulas. Previo a la siembra de las semillas se desinfestaron con hipoclorito de sodio al 1% p/v, seguido de dos lavados con agua destilada estéril. Las charolas se cubrieron con plástico negro durante cinco días para inducir la germinación y se mantuvieron en invernadero a 28 ± 2 °C, con humedad relativa del 64%. Se tuvieron 12 tratamientos con cepas de *Trichoderma* (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9 y C10), un tratamiento de fertilización química (Polyfeed®, 17-17-17, Haifa, México, 1 g/L de agua) y otro sin la inoculación de *Trichoderma* y sin fertilización (testigo). Cada tratamiento tuvo 30 repeticiones, cada repetición constituida por una plántula, distribuidas en un diseño experimental completamente al azar. Después de 45 días posteriores a la germinación se estimaron las variables asociadas con el crecimiento: altura de plántula (cm), diámetro de tallo (mm), biomasa aérea seca (mg), largo (cm), volumen (cm³) y peso seco de la raíz (mg). Se realizaron análisis de varianza y comparación múltiples de medias Tukey ($P = 0.05$).

Evaluación de *Trichoderma* spp. como antagonistas de *M. incognita*

Obtención del inóculo J2 de *M. incognita*

Se muestrearon plantaciones comerciales de *C. annuum*, con agallas por *M. incognita*. Las raíces agalladas se lavaron con agua corriente, se abrieron con jeringas bajo un microscopio estereoscópico y se extrajeron las masas de huevos, que se desinfestaron con hipoclorito de sodio al 1% (Herrera *et al.*, 2018). Los huevos se incubaron a 28 ± 1 °C hasta la eclosión de los J2. De las raíces agalladas se extrajeron hembras adultas para identificar la especie mediante caracteres morfotaxonómicos (Ayoub, 1977).

Establecimiento del bioensayo

Se esterilizó suelo por arrastre de vapor con el que se llenaron bolsas de 2 kg de capacidad. Previo al trasplante, se realizó en el suelo un hoyo de tres cm de diámetro y cinco cm de profundidad y se inoculó 1 mL de agua que contenía 1 000 huevos larvados y 300 J₂ de *M. incognita*, enseguida se trasplantó una planta de *C. annuum* var. Catiknifap de 47 días de edad inoculadas con las cepas de *Trichoderma*, como se describió previamente. Se evaluaron 12 tratamientos: cada una de las cepas de *Trichoderma* más *M. incognita* (Mi), un tratamiento químico que correspondió al nematocida Oxamil 24% + Mi (en dosis de 1 mL/L de agua aplicado al suelo al momento del trasplante) y uno sin nematocida Oxamil, sin *Trichoderma* + Mi (testigo). Cada tratamiento estuvo constituido por 15 plantas que constituyeron las repeticiones y las unidades experimentales, distribuidas en un diseño experimental completamente al azar en condiciones de invernadero a 28 ± 2 °C.

Los tratamientos se evaluaron a los 166 días después de la siembra (dds), como variables de control del nematodo se consideró el índice de agallamiento como severidad de la enfermedad (Taylor y Sasser, 1983), mientras que el número de huevos y hembras por g de raíz, como índice de reproducción del nematodo; también se determinó altura de planta (cm), biomasa aérea seca (g), biomasa seca (g) y volumen de raíz (cm³), como variables de crecimiento.

Análisis estadísticos

Con los datos se realizaron análisis de varianza (ANDEVA) y para el caso de los datos relacionados con el índice de agallamiento se transformaron mediante la función de arco seno [$y = \arcsin(\sqrt{x/100})$]. Se aplicó como comparador de medias el método de Tukey ($P = 0.05$), mediante el paquete estadístico Statistical Analysis System, versión 9.3 c (SAS, 2014).

Resultados

Efecto de *Trichoderma* en semillero de *C. annuum* var. Catiknifap

Los resultados señalaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.001$) entre tratamientos. Al respecto, las plántulas con mayor altura se estimaron con el tratamiento que incluyó la fertilización, sin la inoculación de las cepas de *Trichoderma*. Las plántulas sin fertilización y sin *Trichoderma* (testigo) y del tratamiento C5 fueron estadísticamente superiores al resto de los tratamientos que incluyeron la inoculación de las cepas de *Trichoderma*. Para diámetro de tallo y biomasa aérea seca, el tratamiento de fertilización química obtuvo los mayores promedios de 2.28 mm y 0.170 mg (cuadro 1).

Las raíces de mayor volumen (1.360 cm³) las generó el tratamiento C9 y fue mejor que el tratamiento que incluyó la fertilización química donde se registraron raíces de hasta 0.946 cm³. Los tratamientos C4, C6, C7 y C10 fueron iguales al testigo.

La mayor biomasa seca de raíz se obtuvo con el tratamiento C9 (0.058 mg) y mostró efectos iguales con los tratamientos C1, C2, C7, C8 y el de fertilización química; sin embargo, el resto de los tratamientos que incluyeron la inoculación de *Trichoderma*, excepto el C1 y C2, fueron estadísticamente iguales al testigo (cuadro 1).

Cuadro 1

Efecto de tratamientos en el crecimiento de plántulas de chile Catiknifap (*Capsicum annum*) inoculadas con cepas nativas de *Trichoderma* a los 45 días después de la siembra

Tratamiento	Altura de plántula (cm)	Diámetro del tallo (mm)	Biomasa aérea seca (mg)	Volumen de raíz (cm ³)	Biomasa seca de raíz (mg)
C1	12.19 e	1.74 d	0.116 ab	0.946 bc	0.052 abc
C2	14.13 d	1.90 bcd	0.076 b	1.026 abc	0.054 ab
C3	12.63 e	1.87 cd	0.073 b	0.893 bc	0.037 bcd
C4	13.99 d	1.91 bcd	0.093 b	0.800 bcd	0.038 bcd
C5	15.38 bc	2.02 abc	0.106 ab	1.120 ab	0.035 bcd
C6	14.06 d	1.99 bcd	0.100 ab	0.853 bcd	0.027 d
C7	14.66 cd	1.94 bcd	0.103 ab	0.826 bcd	0.044 abcd
C8	14.30 cd	1.97 bcd	0.092 b	1.106 ab	0.044 abcd
C9	14.92 cd	2.03 abc	0.141 ab	1.360 a	0.058 a
C10	14.46 cd	2.01 abcd	0.081 b	0.640 cd	0.034 cd
Testigo	16.58 b	2.17 ab	0.112 ab	0.493 d	0.032 d
FQ	20.42 a	2.28 a	0.170 a	0.946 bc	0.042 abcd
CV	8.06	13.65	69.00	35.36	36.39
EEM ±	0.26	0.06	0.02	0.08	0.003
P	0.0001	0.0001	0.0013	0.0001	0.0001

C1...C10= tratamientos que incluyeron sólo *Trichoderma*. Testigo= sin *Trichoderma* y sin fertilización química (FQ). Fertilización química= fertilización química sin *Trichoderma*. Los datos son medias. n=30. CV= coeficiente de variación (%). EEM±= error estándar de la media. Literales diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, P = 0.05).

Antagonismo de cepas de *Trichoderma* contra *M. incognita* inoculadas en plantas de chile *Catiknifap*

Para las variables asociadas con la severidad de la enfermedad y reproducción del nematodo se observaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.0001$) entre tratamientos. El mayor índice de agallamiento lo permitieron los tratamientos C1, C3, C6 y el testigo. El nematicida Oxamil registró el menor índice de agallamiento al presentar menos daño en las raíces. El resto de los tratamientos C2, C4, C5, C7, C8 C9 y C10, a pesar de que mostraron tendencia para reducir el daño en las raíces, fueron iguales al testigo y al nematicida Oxamil (cuadro 2). Los tratamientos constituidos por *Trichoderma* redujeron en diferentes grados la reproducción del nematodo. El menor número de huevos lo causaron los tratamientos C1 y C9 con reducciones de 90.82 y 88.64%, respectivamente, en comparación con el testigo donde se tuvo el mayor número de huevos (828) por g de raíz.

Asimismo, los tratamientos C1 y C9 fueron de 85.97 y 82.65%, respectivamente, más efectivos que el nematicida Oxamil donde se obtuvo en promedio 542 huevos por g de raíz. El mayor número de hembras por g de raíz lo permitió el testigo (49.80). El efecto más significativo para reducir el número de hembras se logró con los tratamientos que incluyeron las cepas de *Trichoderma*, C1, C2, C3, C5, C6, C7, C8, C9 y C10, con reducciones que oscilaron de 67.87 a 84.33% con relación al testigo y de 48.38 a 74.83% con relación al nematicida Oxamil. El tratamiento C4 presentó el mismo potencial que los tratamientos C6, C7, C10 y el nematicida Oxamil para reducir la producción de hembras (cuadro 2).

Cuadro 2

Severidad y reproducción de *Meloidogyne incognita* a los 97 días después de la inoculación de la siembra en plantas de chile *Catkinifap*

Tratamientos	Índice de agallamiento (%)	Número de huevos/g de raíz	Número de hembras/g de raíz
C1	83 a	76 d	14.20 d
C2	58 ab	456 b	13.40 d
C3	83 a	170 cd	7.80 d
C4	53 ab	256 c	26.80 bc
C5	64 ab	176 cd	12.20 d
C6	78 a	600 b	14.60 cd
C7	59 ab	158 cd	16.00 cd
C8	61 ab	284 c	10.60 d
C9	73 ab	94 d	13.40 d
C10	75 ab	250 c	14.60 cd
Testigo	78 a	828 a	49.80 a
Nematicida oxamil	47 b	542 b	31.00 b
CV	22.53	20.62	30.51
EEM±	0.07	29.90	2.55
P	0.0002	0.0001	0.0001

C1...C10= tratamientos que incluyeron *Trichoderma* + Mi. Testigo= sin *Trichoderma* y sin nematicida Oxamil + Mi. Nematicida Oxamil= nematicida Oxamil 24% + Mi. Los datos son medias. n=15. CV= coeficiente de variación (%). EEM±= error estándar de la media. Literales diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, P = 0.05).

Respuesta del crecimiento de chile *Catkinifap* inoculados con *M. incognita*

Con las variables de crecimiento estimadas en las plantas de chile *Catkinifap* a los 97 dds, se observaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.0001$) entre tratamientos. El de nematicida Oxamil registró la mayor altura de plantas (53.00 cm) y fue estadísticamente igual a los de C2 al C10 con 46.70 a 50.50 cm.

El mayor diámetro de tallo (6.65 mm) se obtuvo en las plantas tratadas con el nematocida, seguido de los que incluyeron a *Trichoderma* identificados como C2, C3, C4, C7 y C8, que presentaron tendencia a incrementar los diámetros de tallo; sin embargo, fueron estadísticamente iguales al testigo, a excepción del C8 (cuadro 3). Asimismo, con el tratamiento nematocida Oxamil, se logró el mayor crecimiento de las plantas, lo que se reflejó en mayor biomasa aérea seca (3.63 g), los tratamientos con *Trichoderma* no tuvieron un efecto para promover la producción de biomasa y fueron iguales al testigo.

El tratamiento nematocida Oxamil obtuvo incrementos de biomasa seca de raíz, al igual que con el tratamiento C1; sin embargo, fue igual al testigo y éste a su vez fue estadísticamente igual al resto de los tratamientos integrados por *Trichoderma*. No se tuvieron efectos sustanciales entre tratamientos para incrementar el volumen de raíces, independientemente de la aplicación del nematocida Oxamil o de la inoculación de *Trichoderma*, ya que los tratamientos C1, C2, C3, C4, C5, C7, C10 y el nematocida Oxamil fueron iguales al testigo. El resto de los tratamientos C6, C8 y C9 presentaron menor volumen de raíz a los registrados por el testigo (cuadro 3).

Cuadro 3

VARIABLES DE CRECIMIENTO ESTIMADAS EN PLANTAS DE CHILE CATÁKNIFAP INOCULADAS CON *Meloidogyne incognita* A LOS 97 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA

Tratamientos	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Biomasa aérea seca (g)	Biomasa seca de raíz (g)	Volumen de raíz (cm ³)
C1	44.80 bc	4.63 d	2.48 b	1.03 ab	7.00 abc
C2	47.96 ab	6.08 abc	2.15 b	0.67 bc	8.20 abc
C3	46.50 ab	6.15 abc	2.25 b	0.82 bc	8.00 abc
C4	50.50 ab	5.96 abc	2.23 b	0.63 c	6.20 bc
C5	48.00 ab	5.73 bc	2.32 b	0.73 bc	6.20 bc
C6	48.90 ab	5.77 bc	2.51 b	0.70 bc	5.20 c
C7	46.70 ab	6.07 abc	2.19 b	0.61 c	7.00 abc
C8	47.00 ab	6.40 ab	2.23 b	0.63 c	5.00 c
C9	48.70 ab	5.70 bc	2.22 b	0.88 bc	5.60 c
C10	47.90 ab	5.86 bc	2.31 b	0.59 c	6.40 bc
Testigo	37.80 c	5.53 c	2.24 b	0.88 bc	9.40 ab
Nematocida oxamil	53.00 a	6.65 a	3.63 a	1.31 a	9.80 a
CV	11.50	8.94	14.81	22.31	21.94
EEM ±	1.72	0.17	0.11	0.08	0.78
P	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

C1...C10= tratamientos que incluyeron *Trichoderma* + Mi. Testigo= sin *Trichoderma* y sin nematocida Oxamil + Mi. Nematocida Oxamil= nematocida Oxamil 24% + Mi. Los datos son medias. n=15. EEM±= error estándar de la media. CV= coeficiente de variación (%). Literales diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, P = 0.05).

Discusión

Las cepas de *Trichoderma* no promovieron el crecimiento aéreo de las plántulas de chile Catiknifap, lo que sugirió que la interacción que se estableció entre la planta-hongo no causaron un efecto favorecedor. Este comportamiento se observó con hongos micorrízicos arbusculares; los que colonizan a *Capsicum* spp., sin que esto signifique un beneficio mutualista, ya que en algunos casos no se expresó en el crecimiento del hospedero (Herrera *et al.*, 2021). Las cepas de *Trichoderma* pueden inducir respuestas diversas en el crecimiento de los cultivos (Cristóbal *et al.*, 2021; Marra *et al.*, 2022), por lo cual la evaluación en etapas tempranas de crecimiento de los cultivos proporciona información de su efectividad antes de incorporarlas a los sistemas de producción.

De las cepas de *Trichoderma*, el 30.00% promovió mayor biomasa seca de raíz de las plántulas y el 40.00% el volumen de estas. El efecto causado por microorganismos aislados de la rizosfera también se evidenció en *C. annuum* en cv. Longum con la inoculación de *Rhizobium etli* y *Trichoderma viride* (Vazallo *et al.*, 2013), en chile habanero (Candeleró *et al.*, 2015) y en chile dulce (Herrera *et al.*, 2017) con *Trichoderma* spp., y en cv. Serrano con *Pseudomonas tolaasii* (Cabanzo *et al.*, 2020). Los mecanismos que explican esta respuesta están asociados a la producción de cisteína que producen las cepas de *Trichoderma*, lo cual modifica la arquitectura y promueven el crecimiento de raíces laterales, lo que proporciona mayor volumen y raíces más largas que exploran un área del suelo más amplia para la adquisición de agua y nutrientes (Suárez *et al.*, 2023). Los resultados de este estudio son alentadores, si se considera que las plántulas, antes de trasplantarlas a sus sitios definitivos para su cultivo, deben ser vigorosas y contar con un sistema radical desarrollado que les permitirá tolerar el estrés biótico y abiótico, lo que favorece su crecimiento y producción (Vazallo *et al.*, 2013; Herrera *et al.*, 2017).

Cuando las plantas de chile Catiknifap se inocularon con el nematodo, presentaron los síntomas característicos: raíces agalladas, marchitez y clorosis, lo que mostró alta susceptibilidad al parasitismo de *M. incognita*. Estos síntomas se identificaron en materiales criollos de chile dulce, chile Xcat ik (*C. annuum*) y chile habanero cv. Calakmul (*C. chinense*), parasitados por *M. incognita* e inoculados con *Trichoderma* spp., donde hubo reducciones de 68.00% en el índice de agallamiento (Herrera *et al.*, 2017; 2018).

En este estudio, las cepas no fueron efectivas para reducir el índice de agallamiento, ya que el menor daño en la raíz se obtuvo con el nematicida Oxamil (cuadro 2), de acuerdo con Celis *et al.* (2021) y Quesada *et al.* (2023) la efectividad puede estar influenciada por el origen de las cepas fúngicas, la interacción con el patógeno, con el cultivar y con las condiciones edafoclimáticas a las que se someten para su evaluación.

Las cepas de *Trichoderma* afectaron la reproducción del nematodo, la mayor reducción de producción de huevos del nematodo lo causaron los tratamientos C2 y C9 y con 90.00% de los tratamientos, que incluyeron las cepas de *Trichoderma*, redujeron el número de hembras. La efectividad de estos tratamientos para suprimir la reproducción del nematodo fue igual a lo obtenido con el tratamiento nematicida Oxamil (cuadro 2). Estas repuestas en la supresión de la población del nematodo se reportaron en cultivos hortícolas tropicales como *Solanum*

lycopersicum y *C. chinense*, donde *Trichoderma* sp. disminuyó la producción de huevos de 77.00 a 88.82% y de hembras de 62.20 a 88.00% (Cetz *et al.*, 2018; Herrera *et al.*, 2018). Los mecanismos que explican el potencial de estos hongos para reducir las poblaciones de nematodos están asociados a su competencia con los J2 para colonizar la raíz de las plantas y obtener sitios para su establecimiento y nutrición, así como a la producción de metabolitos secundarios aromáticos que afectan la viabilidad de huevos y movilidad de J2 y parasitismo de estadios juveniles y adultos del nematodo (Poveda *et al.*, 2020).

Se obtuvo un crecimiento considerable de las plantas a pesar de la carga parasitaria que implicó el parasitismo del nematodo. Al respecto, Candellero *et al.* (2015) señalaron que el uso de *Trichoderma* spp incrementó el crecimiento general de plántulas de chile habanero (*C. chinense*), y Murillo *et al.* (2021) con la inoculación de *Trichoderma* sp. más micorriza mejorías de altura de plantas. El crecimiento que se da en los cultivos inoculados con *Trichoderma* está influenciado con la producción de metabolitos secundarios, principalmente auxinas, como el ácido indol-3-acético, y con la disponibilidad de nutrientes mediante la solubilización y quelación de minerales que son aprovechados por las plantas para su nutrición y crecimiento (Sood *et al.*, 2020).

Conclusión

Las cepas de *Trichoderma* presentaron efectos diferentes en el crecimiento de plántulas de chile Catáknifap, a pesar de que no promovieron el crecimiento aéreo, el tratamiento C9 promovió el crecimiento de raíz de las plántulas, por lo que tiene potencial como agente promotor de crecimiento de raíces en plántulas.

Las plantas con el tratamiento nematicida Oxamil presentaron el menor índice de agallamiento; sin embargo, la producción de huevos del nematodo se redujo con el tratamiento C1 y C9, y el número de hembras con los tratamientos C1, C2, C3, C5, C6, C7, C8, C9 y C10, que incluyeron la inoculación de *Trichoderma*.

Literatura citada

- Ayoub, M.S. (1977). *Plant nematology: An agricultural training aid*. Department of Food and Agriculture Division of Plant Industry Laboratory Services. *Nematology*. California, Sacramento, USA. 157 p.
- Bills, G.F.; Christensen, M.; Powell, M. y Thorn, G. (2004). Saprobic soil fungi. In: G.M. Mueller, G.F. Bills and M.S. Foster, (eds). *Biodiversity of fungi: Inventory and monitoring methods*. Elsevier Academic Press. San Diego, California, USA. Pp. 271-302.
- Cabanzo, A.I.; Rodríguez, M.M.N.; García, C.J.L.; Almaraz, S. y Gutiérrez, C.M.C. (2020). La biofertilización y nutrición en el desarrollo de plántulas de chile serrano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11(4): 699-712.
- Candellero, D.J.; Cristóbal, A.J.; Reyes, R.A.; Tún, S.J.M.; Gamboa, A.M.M. y Ruíz, S.E. (2015). *Trichoderma* spp. promotoras del crecimiento en plántulas de *Capsicum chinense* Jacq. y antagonistas contra *Meloidogyne incognita*. *PHYTON. International Journal of Experimental Botany*. 84(1): 113-119.
- Castillo, C. y López, L. (2021). Caracterización morfológica y molecular de chiles silvestres y variedades criollas de Campeche, México. *Revista Agro-Divulgación*. 1(0): 37-49.
- Cázares, E.; Ramírez, P.; Castillo, F.; Soto, R.; Rodríguez, M. y Chávez, J. (2005). Capsaicinoides y preferencia de uso en diferentes morfotipos de chile (*Capsicum annum* L.) del centro-oriente de Yucatán. *Revista Agrociencia*. 39(6): 627-638.

- Celis, S.; Moo, F.; Reyes, A.; Tun, J. y Cristóbal, A.J. (2021). Antagonismo *in vitro* de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckf. & Nirenberg (Ta13-17) contra hongos patógenos de *Solanum lycopersicum* L. *Revista de Protección Vegetal*. 36(3): 1-7.
- Cetz, J.; Cristóbal, A.J.; Tun, S.J.; Peraza, F. y Candelero, D.J. (2018). Especies nativas de *Trichoderma* spp. y su actividad antagonista contra *Meloidogyne incognita* en *Solanum lycopersicum* L. *Revista Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. 26(73): 5-12.
- Cubillos, H.J.; Valero, N. y Mejía, L. (2009). *Trichoderma harzianum* como promotor del crecimiento vegetal del maracuyá (*Passiflora edulis* var. *Flavicarpa* Degener). *Agronomía Colombiana*. 27(1): 81-86.
- Cristóbal, A.J.; Cetz, J.; Tun, J.; Moo, F.; Peraza, F. y Candelero, D.J. (2018). Filtrados fúngicos de *Trichoderma* con actividad nematocida contra *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood. *Rev. Protección Vegetal*. 33(3): 1-8.
- Cristóbal, A.J.; Moo, K.F.; Tun, S.J.; Reyes, R.J. y Gamboa, A.M. (2021). Efecto de la interacción dual de especies de *Trichoderma* en el crecimiento de *Capsicum chinense* Jacq. *Agrociencias*. 55(2): 681-693.
- Chew, Y.; Vega, A.; Palomo, R. y Jiménez, F. (2008). Principales enfermedades del chile (*Capsicum annum* L.). Folleto Técnico No 15. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 47 p.
- Gamboa, J.; Ruíz, E.; Alvarado, C.; Gutiérrez, F.; Ruíz, V. y Medina, K. (2020). Efecto de biofertilizantes microbianos en las características agronómicas de la planta y calidad del fruto del chile xcat ik (*Capsicum annum* L.) *Revista Terra Latinoamericana*. 38(4): 817-826.
- Herrera, E.; Cristóbal, A.J. y Ramos, J. (2017). *Trichoderma* strains as growth promoters in *Capsicum annum* and as bioccontrol agents in *Meloidogyne incognita*. *Revista Chilean Journal of Agricultural Research*. 77(4): 318-324.
- Herrera, E.; Ramos, Z.J.; Cristóbal, A.J.; Tun, S.J. y Reyes, A. (2018). Species of *Trichoderma* antagonistic to the root knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in habanero pepper. *Phyton International Journal of Experimental Botany*. 87: 7-13.
- Herrera, E.; Ramos, Z.J.; Basto, C. y Cristóbal, A.J. (2021). Respuesta de chile dulce (*Capsicum annum*) a la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares nativos y al parasitismo del nematodo agallador *Meloidogyne incognita*. *Revista Bio Ciencias*. 8: 1-17.
- Ibiza, V.; Blanca, J.; Cañizares, J. y Nuez, F. (2012). Taxonomy and genetic diversity of domesticated *Capsicum* species in the Andean region. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 59: 1077-1088.
- Marra, R.; Lombardi, 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.
- Murillo, C.F.D.; Cabrera, M.H.; Adame, G.J., Vásquez, H.A.; Martínez, G.A de J. y Luria, M.R. (2021). Bioestimulantes en la calidad de frutos de chile habanero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 12(8): 1473-1481.
- Pakeerathan, K.; Mikunthan, G. y Tharshani, N. (2009). Effect of different animal manures on *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) on tomato. *World Journal of Agricultural Sciences*. 5: 432-435.
- Polanco, R.A.G.; Magaña, C.T.V.; Cetz, I.J. y Quintal, L.R. (2019). Uso de agroquímicos cancerígenos en la región agrícola de Yucatán, México. *Centro Agrícola*. 46(2): 72-83.
- Poveda, J.; Abris, U.P. y Escobar, C. (2020). Biological control of plant-parasitic nematodes by filamentous fungi inducers of resistance: *Trichoderma*, mycorrhizal and endophytic fungi. *Frontiers in Microbiology*. 11:(992) 1-14.
- Quesada, Y.; Fernández, E.; Casanueva, K.; Ponce, E. y Márquez, M. (2023). Actividad biológica de nuevas cepas cubanas de *Trichoderma* spp. efectivas en el control de *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*. 7(1): 1-9.
- Santamaría, B.F.; Díaz, P.R. y Basto, P.C.I. (2021). Avances en la formación de variedades de los chiles criollos dulce e xcat ik. *Gaceta SIIDETEX*. Mérida, Yucatán, México. 46: 39-41.
- Santamaría, B.F.; Díaz, P.R. y Basto, P.C. (2022). Productividad y formación de variedades de chile Xcat ik. *Journal of agricultural Science Research*. 2(5): 1-8.
- SAS. (2014). SAS-Statistical Analysis Software for Windows Versión 9.3. Cary, N.C. SAS Inst. Inc.

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2023). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de Chile verde húngaro (Xcat ik). <https://www.nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Consultada el 05 julio de 2023).
- Sood, M.; Kapoor, D.; Kumar, V.; Sheteiw, M.S.; Ramakrishnan, M. y Landi, M. (2020). *Trichoderma*: the “secrets” of a multitalented biocontrol agent. *Plants*. 9(762): 1-25.
- Suárez, P.C.; Remache, S.N.; Pico, R.J., Paredes, P.E.; Jiménez, C.J.; Andrade, O.L. y Delgado, P.A. (2023) Aislamiento y evaluación de cepas nativas de *Trichoderma* spp., como promotor de desarrollo radicular. *Revista Ciencia UNEMI*. 16(42): 45-54.
- Taylor, A, y Sasser J. (1983). Identificación y control de los nematodos de nódulo de la raíz (especies de *Meloidogyne*). Proyecto Internacional de *Meloidogyne* (MIP). Departamento de Fitopatología. Universidad del Estado de Carolina del Norte-EEUU. Pp. 89-95.
- Vazallo, S.N.; Ramírez, L.T.; Carranza, L.T.; García, B.Z. y Bernilla, B.S. (2013). Efecto de la inoculación de *Rhizobium etli* y *Trichoderma viride* sobre el crecimiento aéreo y radicular de *Capsicum annum* var. longum. *Revista Rebiolest*. 1(1): 11-21.
- Villegas, D.; Acosta, C. y Milla, M. (2018). Dinámica de crecimiento de plantas de pimentón (*Capsicum annum* L.) sometidas a la aplicación de *Trichoderma harzianum* Rifai en ambientes controlados. *Agroproducción Sustentable*. 2(1):21-27.
- Zin, N.A. y Badaluddin, N.A. (2020). Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. *Rev. Annals of Agricultural Sciences*. 65: 168-178.