

RESEARCH/INVESTIGACIÓN

MANEJO INTEGRAL DE *NACOBBUS ABERRANS* (TYLENCHIDA: PRATYLENCHIDAE) EN JITOMATE BAJO PRODUCCIÓN ORGÁNICA EN INVERNADERO

R. Hernández-Santiago¹, I. Cid del Prado-Vera^{1*}, M. Vargas-Hernández², M. P. Rodríguez-Guzmán¹, O. Gómez-Rodríguez¹, R. Ferrera-Cerrato¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, 56230 Texcoco, Estado de México, México; ²Universidad Autónoma Chapingo. Carretera Federal México- Texcoco Km 38.5, 56235 Texcoco, México; *Autor para correspondencia: icid@colpos.mx

ABSTRACT

Hernández-Santiago, R., I. Cid del Prado-Vera., M. Vargas-Hernández., M. P. Rodríguez-Guzmán., O. Gómez-Rodríguez, and R. Ferrera-Cerrato. 2024. Integrated management of *Nacobbus aberrans* (Tylenchida: Pratylenchidae) in tomato under organic production in greenhouses. *Nematropica* 54:71-86.

Organic tomatoes are characterized by having better color, texture and flavor compared to conventionally grown tomatoes. The crop is affected by the nematode *Nacobbus aberrans*, which induces rosary galls and causes a deficient absorption and translocation of water and nutrients from the root system to other organs of the plant, as well as poor growth, and if there is production, the fruits are of low quality. *Nacobbus aberrans* is one of the most important nematodes associated with tomato in Mexico and, therefore, it is essential to have tools for nematode management. In this research, different soil treatments (mycorrhizae, antagonistic fungi, and neem extract) were used for nematode management in an organic production system. The objective was to determine the effect of biofumigation and integration with mycorrhizae (*Entrophospora columbiana*, *Glomus intraradices*, *Glomus etunicatum*, and *Glomus clarum*), antagonistic fungi (*Trichoderma harzianum* and *Purpureocillium lilacinum*), and plant extract from neem, *Azadirachta indica* on the integrated management of *N. aberrans*. Effects on root galling index and on the production, growth, root and aerial biomass of tomato under greenhouse conditions were determined. With the incorporation of the different strategies applied under integrated management, the production of first, second, and third quality fruits was increased at 128 days after transplanting (ddt). In the integrated soil treatments with mycorrhizae (seedling and transplanting) and neem oil extract (vegetative growth, flowering, fruiting, and production) and mycorrhizae (seedling), *T. harzianum* (transplant, vegetative growth and fruiting), *P. lilacinum* (vegetative growth and production), and neem oil extract (flowering), an increase in the number and weight of first and second quality fruits, growth (height, root and aerial biomass), total accumulated weight and the best profitability with gain per invested weight (GPI) of 0.59 and 0.47 were obtained.

Key words: Agriculture, *Nacobbus aberrans*, biofumigation, soil, organic management, production

RESUMEN

Hernández-Santiago, R., I. Cid del Prado-Vera, M. Vargas-Hernández, M. P. Rodríguez-Guzmán, O. Gómez-Rodríguez, R. Ferrera-Cerrato. 2024. Manejo integral de *Nacobbus aberrans* (Tylenchida: Pratylenchidae) en jitomate bajo producción orgánica en invernadero. *Nematropica* 54:71-86.

El jitomate orgánico se caracteriza por poseer un mejor color, textura y sabor en comparación con el jitomate producido con el sistema convencional. La producción del cultivo, número y calidad se ve afectada por el nematodo agallador *Nacobbus aberrans*, que induce agallas tipo rosario y ocasionan una deficiente absorción y translocación de agua y nutrientes del sistema radical hacia otros órganos de la planta, además crecimiento escaso, y si se tiene producción los frutos son de baja calidad. El nematodo fitoparásito *Nacobbus aberrans* es uno de los más importantes asociados al cultivo de jitomate en México y, por esto, es de esencial importancia conocer herramientas para su manejo. En esta investigación se utilizaron diferentes sub-tratamientos (micorrizas, hongos antagonistas y extracto de neem) para el manejo del nematodo en un sistema de producción orgánica. El objetivo fue determinar el efecto de la biofumigación y la integración con micorrizas (*Entrophospora columbiana*, *Glomus intraradices*, *Glomus etunicatum*, *Glomus clarum*), hongos antagonistas (*Trichoderma harzianum* y *Purpureocillium lilacinum*) y extracto vegetal de aceite de neem de *Azadirachta indica*, en el manejo integral de *Nacobbus aberrans* y su efecto en el índice de agallamiento radical y en la producción, crecimiento, biomasa radicular y aérea del jitomate bajo invernadero. Los resultados muestran que, con la incorporación de las diferentes estrategias aplicadas bajo un manejo integral, la producción de frutos de primera, segunda y tercera calidad fue incrementada en los 128 días después del trasplante (ddt) y en los sub-tratamientos cinco con micorrizas (plántula y trasplante) y extracto de aceite de neem (crecimiento vegetativo, floración, fructificación y producción) y siete [micorrizas (plántula), *T. harzianum* (trasplante, crecimiento vegetativo y fructificación), *P. lilacinum* (crecimiento vegetativo y producción), extracto de aceite de neem (floración)], se obtuvo incremento en el número y peso de frutos de primera y segunda calidad, crecimiento (altura, biomasa radical y aérea), peso total acumulado y la mejor rentabilidad con ganancia por peso invertido (GPI) de 0.59 y 0.47.

Palabras clave: Agricultura, *Nacobbus aberrans*, biofumigación, suelo, manejo orgánico, producción

INTRODUCCIÓN

Nacobbus aberrans es una especie de importancia económica y su distribución geográfica es solamente en América; ha sido reportado en Perú, Bolivia, Chile, Argentina, México, Ecuador y Estados Unidos (Manzanilla-López *et al.*, 2002). En México ocasiona pérdidas principalmente en la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum*), chile (*Capsicum annuum*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) (Manzanilla-López *et al.*, 2002). La especie *N. aberrans* es uno de los nematodos agalladores que inducen mayor daño en plantas hortícolas (Cid del Prado *et al.*, 2022). El jitomate destaca como uno de los hospedantes más afectados (Cabrera-Hidalgo *et al.*, 2014; Manzanilla-López *et al.*, 2002) y puede ocasionar pérdidas de hasta 80% en la producción de frutos a campo abierto (Cristóbal *et al.*, 2006). Además, este nematodo se ha reportado en otros

cultivos como acelga (*Beta vulgaris*), espinaca (*Spinacia oleracea*), calabacita (*Cucurbita pepo*), amaranto (*Amaranthus* spp.) (Martínez *et al.*, 2010), y pepino (*Cucumis sativus*) (Cabrera-Hidalgo *et al.*, 2014).

Se reportan diversas estrategias de manejo para el control biológico y cultural de los nematodos fitoparásitos, como es la aplicación de materia orgánica (Franco-Navarro *et al.*, 2002; Oka, 2010; Revilla y Palomo, 2016; Roskopf *et al.*, 2020), biofumigación para potenciar la descomposición de residuos vegetales o su combinación con estiércol de animal (Youssef, 2015; Pérez-Espíndola *et al.*, 2019; Cid del Prado *et al.*, 2022), biosolarización (Stapleton, 2000; Ros *et al.*, 2008;), biodesinfección del suelo (abonos orgánicos y la incorporación de *Pochonia chlamydosporia*) (Torres-López *et al.*, 2014), extractos vegetales de plantas con propiedades nematicidas (Garrido *et al.*, 2014; Deng *et al.*,

2022; Mwamula et al., 2022; Velasco-Azorsa et al., 2022), neem (*Azadirachta indica*) (Hummel et al., 2014; Feyisa et al., 2016; Nile et al., 2018;), así como la aplicación de microorganismos antagonistas (Akhtar y Malik, 2000), como micorrizas arbusculares (Vuelta et al., 2020), *T. harzianum* (Sahebani and Hadavi, 2008; Tariqjaveed et al., 2021) y *P. lilacinum* (Sosa et al., 2018; Khan y Tanaka, 2023) como agentes de biocontrol. *T. harzianum*, es un hongo antagonista de nematodos agalladores de la raíz (*M. incognita*) en una amplia gama de cultivos (Hernández-Ochandía et al., 2015). Esta especie redujo poblaciones de nematodos agalladores (*M. incognita* y *M. javanica*) en el cultivo de jitomate (Zhang et al., 2015) y *P. lilacinum*, es un hongo con actividad nematocida para el control de *M. incognita* reduce la eclosión de huevos y supervivencia de los juveniles (J2) en berenjena (Khan y Tanaka, 2023). El extracto de neem reduce la capacidad de los huevos para eclosionar y la movilidad de los juveniles (*M. javanica*), y puede ocasionar la mortalidad (Javed et al., 2008). La producción de alimentos orgánicos es un segmento de mercado en aumento, el cual ofrece alimentos nutritivos, el sistema de producción es rentable y respetuoso con el ambiente y ecosistema (Reganold y Wachter, 2016). El control nematológico debería involucrar de acuerdo con Norris et al. (2003), Abd-Elgawad (2021), y Patil et al. (2022), la integración de diversos métodos que puedan aplicarse simultáneamente o en las diferentes etapas fenológicas del cultivo.

N. aberrans induce la formación de agallas tipo rosario en el sistema radical, con severidad alta; también ocasiona clorosis, limita la producción del cultivo, marchitez, y muerte de las plantas de jitomate. Por lo anterior, el objetivo fue evaluar la integración de diversos métodos aplicados solos o combinados en las diferentes etapas fenológicas del cultivo y la rentabilidad del manejo, entre ellos la biofumigación, la integración con micorrizas (*Entrophospora columbiana*, *Glomus intraradices*, *Glomus etunicatum* y *Glomus clarum*), hongos antagonistas (*Trichoderma harzianum* y *Purpureocillium lilacinum*) y extracto vegetal de aceite de neem, para el manejo integral de *N. aberrans* y su efecto en la producción del cultivo, altura, biomasa aérea y radical y en el índice de agallamiento radical en jitomate bajo producción orgánica en invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

Se seleccionó un invernadero donde se cultiva jitomate, en el poblado de San Bernardino, del Municipio de Texcoco, Estado de México, con coordenadas geográficas 19°28'13.0"N 98°53'52.9"W y altitud de 2243 m.s.n.m.

Variedad

Se utilizaron semillas que cada año el productor selecciona basándose en los caracteres fenotípicos de la planta, de los frutos de una variedad nativa tipo Saladette. El cultivo de jitomate se estableció en julio del 2021, con dimensiones de la superficie sembrada dentro del invernadero de 36 m de largo x 4,2 m de ancho; la densidad de plantas en el cultivo fue 384 plantas/151,2 m², y se establecieron seis surcos (1,20 m entre surcos y 17 m de largo).

Diseño experimental, diseño de tratamientos y aplicación de sub-tratamientos

El experimento se estableció bajo un diseño experimental en parcelas divididas con y sin biofumigación como tratamientos (parcela grande), más ocho sub-tratamientos (parcela chica), con tres repeticiones. Se realizó una calendarización para que los sub-tratamientos se aplicaran en las etapas fenológicas del cultivo: plántula (PL), trasplante (TR), crecimiento vegetativo (CV), floración (FL), fructificación (FR) y producción (PR) (Cuadro 1). La unidad experimental tuvo ocho plantas en 2,38 m². Los datos resultantes se analizaron aplicando análisis de varianza y comparación de medias mediante el método de Fisher (DMS, P=0.05) para los tratamientos, y el método de Tukey (DSH, P=0.05, 0.07 y 0.1) para los sub-tratamientos, con el paquete estadístico SAS Ver. 9.0 (SAS Institute, Inc., Cary, NC).

Biofumigación

Un mes antes del inicio del ciclo de cultivo, se incorporó estiércol de bovino (205 kg) y sorgo (*Sorghum bicolor*) (75 kg) triturado en fragmentos de aproximadamente de 1 a 2 cm al suelo en el tratamiento con biofumigación; posteriormente, se regó a capacidad de campo y se tapó con plástico

Cuadro 1. Sub-tratamientos del manejo de *Nacobbus aberrans* en jitomate bajo producción orgánica, en ambos tratamientos: con y sin biofumigación.

Sub-Trat.	Etapas fenológicas					
	PL	TR	CV	FL	FR	PR
1	Testigo absoluto: sin aplicación de ningún sub-tratamiento					
2	EN ²	EN	EN	EN	EN	EN
3	TH	TH	TH	TH	TH	TH
4	MC	MC	MC	TH	TH	TH
5	MC	MC	EN	EN	EN	EN
6	TH	TH	TH	EN	EN	EN
7	MC	TH	TH	EN	TH	PI
8	PI	PI	PI	PI	PI	PI

²EN= extracto de aceite de neem; TH y PI= hongos antagonistas; MC= micorrizas; etapas fenológicas: **PL**= Plántula, **TR**= Trasplante, **CV**= Crecimiento vegetativo, **FL**= Floración, **FR**= Fructificación, **PR**= Producción.

color negro de 0,25 mm de grosor, sellando con tierra las orillas, estuvo bajo estas condiciones durante un período de 30 días.

Extracción de nematodos

La extracción de nematodos fue mediante la técnica tamizado-centrifugado-flotación, posteriormente se recuperaron los nematodos, y se evaluó la población presente en 200 g de suelo (Cobb, 1918; Ayala *et al.*, 1963; Jenkins, 1964; Ayoub, 1977; Hooper, 1986).

Población inicial

Se recolectaron muestras de suelo mediante un muestreo sistemático en zigzag, representativo de la parcela experimental, posteriormente se realizó la extracción de nematodos y se contabilizó la población presente en suelo antes de la biofumigación y se encontraron juveniles de *N. aberrans* 300 (J2), 33 (J3), y 33 (J4), 267 (*Tylenchorhynchus* sp.), 268 (Dorylaimida), 33 (Mononchida), 433 (Rhabditida) y 567 (*Acrobeles* sp.) en 200 g de suelo.

Aplicación de micorrizas, hongos antagonistas y extracto de neem

PHC[®] Horti Plus[®], es un inoculante formulado con esporas de cuatro cepas seleccionadas de hongos micorrícicos vesículo

arbusculares. Contenido: Esporas de los hongos *G. clarum*, *G. etunicatum*, *G. intraradices* y *E. columbiana* con mínimo de 7 268 esporas kg⁻¹. Dosis de aplicación: 1 g planta⁻¹ en almácigo y 2 g planta⁻¹ en campo.

Aplicación de *T. harzianum*. La cepa con actividad nematicida es la T-22 (KRL-AG2): Cada g de Plant Health Care (PHC T-22) contiene al menos 1x10⁷ unidades formadoras de colonias (10⁷ UFC g⁻¹). Dosis de aplicación: 1 g L⁻¹

Aplicación de *P. lilacinum*. BioAct[®] Prime, formulado a base de esporas del hongo *P. lilacinum* con actividad nematicida. El producto tiene una alta concentración de esporas (4.7 x 10¹⁰ esporas g⁻¹). Dosis de aplicación: 0.75 L ha⁻¹

Aplicación de Aceite Neem. PROGRANIC[®] Nimicide 80, el ingrediente activo: extracto de aceite de neem (*A. indica*). Concentración: 80% en peso, equivalente a 738.4 g de i.a. L⁻¹. Dosis de aplicación: 2 L ha⁻¹

Índice de agallamiento

El índice de agallamiento radical se evaluó mediante la escala de Bridge y Page (1980), es un método visual con 11 clases para evaluar el daño radicular (0: sin agallas, 1: algunas agallas pequeñas, 2: pequeñas agallas, 3: algunas agallas más grandes y visibles, 4: predominan agallas

grandes, 5: 50% raíces infestadas, 6: agallas en las raíces principales, 7: mayoría de raíces principales agalladas, 8: todas las raíces principales agalladas, 9: todas las raíces severamente agalladas, 10: planta muerta).

Producción de frutos en peso, número de frutos y calidad.

Se realizaron 16 cortes de fruto, en cada corte de frutos se cosechó toda la unidad experimental. Se registró el peso y número de frutos y se clasificaron por calidad de acuerdo al tamaño y peso del fruto, de la forma en que el productor lo comercializa localmente; primera (>60 g), segunda (>30 y <60 g) y tercera calidad (<30 g).

Índice de micorrización

Al finalizar el ciclo del cultivo, se llevó a cabo la tinción de raíces mediante el método propuesto por Phillips y Hayman (1970), que consiste en clareo, blanqueo, acidificación, tinción y decoloración. Enseguida se seleccionaron 20 fragmentos y fueron colocados en un portaobjetos, uno a uno continuamente con espacios pequeños entre las mismas y finalmente se evaluó la colonización micorrízica (%) (McGonigle *et al.*, 1990).

Altura de la planta

Se midieron cuatro plantas por sub-tratamiento, en total se registraron cuatro mediciones durante el ciclo del cultivo a los 20, 40, 60, y 80 días después del trasplante, se midió la altura de la planta desde la base del tallo hasta el brote apical de la planta con un Flexómetro de 5 m de cinta blanca.

Biomasa de la planta

La evaluación de la biomasa aérea y radical (raíz), se efectuó mediante el peso fresco y seco de los respectivos órganos; para ello al finalizar el cultivo se recolectaron la parte aérea de ocho plantas por sub-tratamiento y se pesaron en una báscula digital en el invernadero. Posteriormente se extrajeron las raíces y se seleccionaron cuatro plantas por sub-tratamiento, enseguida se llevaron al laboratorio de Nematología agrícola, del Colegio

de Postgraduados, Campus Montecillo y se colocaron en bolsas de papel estraza con perforaciones, y durante 72 h se secaron en estufa a 70 °C (Méndez, 2002; Quintero y Correa, 2011; Gandica y Peña, 2015).

Rentabilidad de los tratamientos

Se determinó los costos generados en conjunto por los tratamientos con y sin biofumigación en combinación con los sub-tratamientos introducidos durante el ciclo del cultivo y la depreciación de la herramienta utilizada (pala, tijeras, azadón, barreta etc.) y equipo (aspersora, bascula). La rentabilidad fue basada en los costos e ingresos totales y netos, así como la ganancia por peso invertido (GPI) (Durán, 2009; Vázquez *et al.*, 2014; Morales *et al.*, 2017).

Análisis estadístico

En ambos experimentos se realizaron análisis de varianza y comparación de medias mediante el método de Fisher (DMS, $p=0.05$) para los tratamientos y el método de Tukey para los sub-tratamientos (DSH, $p=0.05$, 0.07 y 0.1), con el software SAS® (Ver. 9.0).

RESULTADOS

Biofumigación

Los resultados encontrados muestran diferencias significativas con la biofumigación, y se obtuvo mayor peso y número de frutos de primera, segunda y tercera calidad (Figura 1 y 2) y en las cuatro evaluaciones (31, 66, 128 y 170 ddt) se observó menor índice de agallamiento radical en comparación con el tratamiento sin biofumigación (Figura 3).

Producción de frutos en peso, número y calidad

De acuerdo con el análisis de varianza se obtuvo diferencia significativa en los sub-tratamientos para peso y número de frutos de primera y segunda calidad y peso total acumulado (Figura 4 y 5 y Cuadro 2). Con respecto al efecto de los sub-tratamientos aplicados, en relación a la producción de frutos de primera calidad, se obtuvo mayor peso (3.61 kg) y número (52) con el sub-

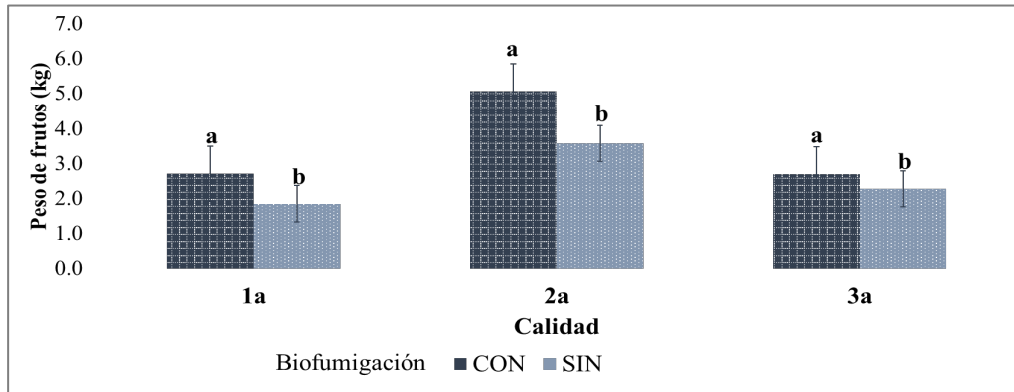


Figura 1. Efecto de la biofumigación en el peso de frutos de primera, segunda y tercera calidad. Medias con la misma letra, no son estadísticamente diferentes (DMS, $P=0.05$).

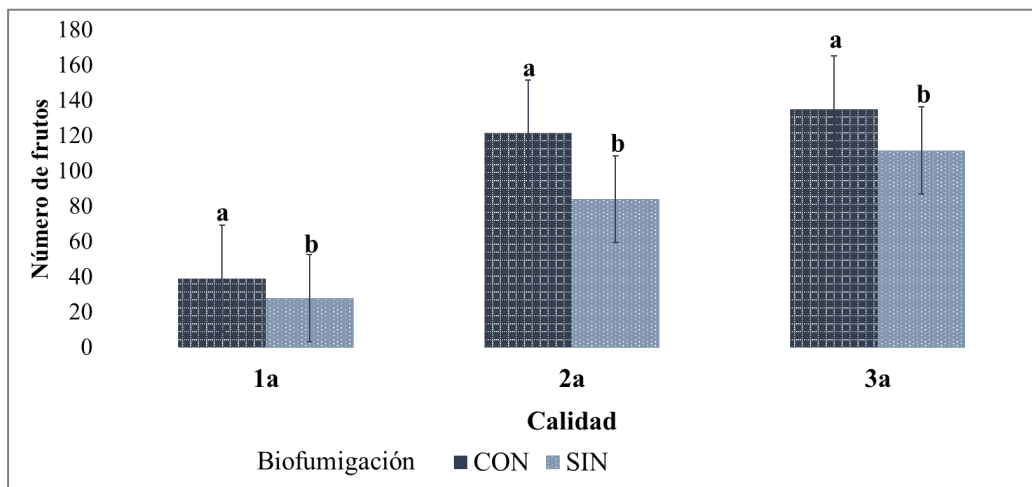


Figura 2. Efecto de la biofumigación en el número de frutos de primera, segunda y tercera calidad. Medias con la misma letra, no son estadísticamente diferentes (DMS, $P=0.05$).

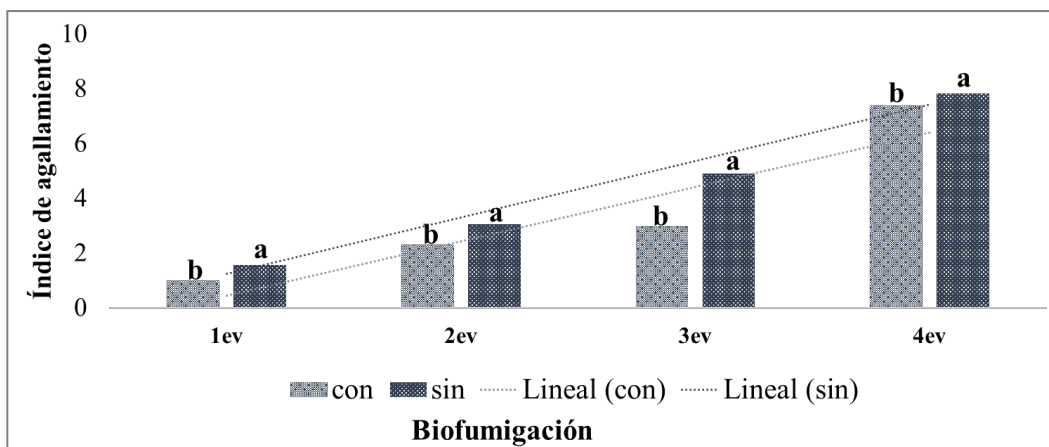


Figura 3. Con y sin biofumigación en las cuatro evaluaciones del índice de agallamiento. Medias con la misma letra, no son estadísticamente diferentes (DMS, $P=0.05$).

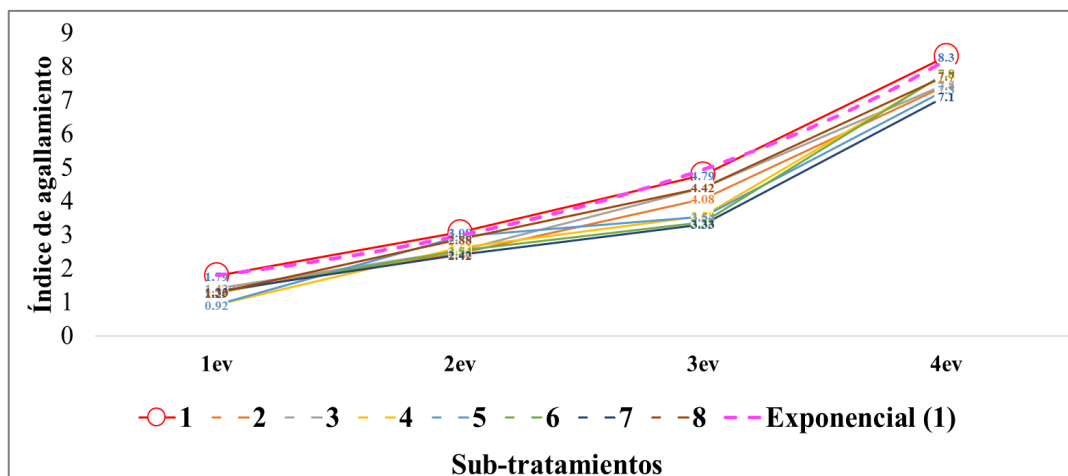


Figura 4. Dinámica temporal del índice de agallamiento en las cuatro evaluaciones durante el cultivo de jitomate. ST1: Testigo absoluto; ST2: EN en PL, TR, CV, FL, FR y PR; ST3: TH en PL, TR, CV, FL, FR y PR; ST4: MC en PL, CV y TH en FL, FR y PR; ST5: MC en PL, TR y EN en CV, FL, FR y PR; ST6: TH en PL, TR, CV y EN en FL, FR y PR; ST7: MC en (PL), TH en (TR, CV), EN en (FL), TH en (FR) y PI en PR; ST8: PI en PL, TR, CV, FL, FR y PR. EN= extracto de aceite de neem, TH y PI= hongos antagonistas; MC= micorrizas; etapas fenológicas: PL= Plántula, TR= Trasplante, CV= Crecimiento vegetativo, FL= Floración, FR= Fructificación, PR= Producción.

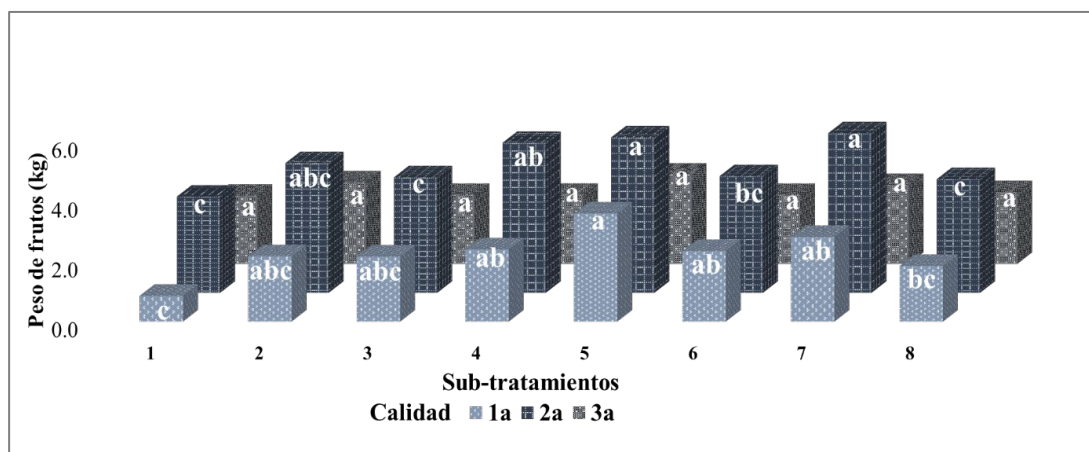


Figura 5. Producción acumulada de peso de frutos de primera, segunda y tercera calidad. ST1: Testigo absoluto; ST2: EN en PL, TR, CV, FL, FR y PR; ST3: TH en PL, TR, CV, FL, FR y PR; ST4: MC en PL, CV y TH en FL, FR y PR; ST5: MC en PL, TR y EN en CV, FL, FR y PR; ST6: TH en PL, TR, CV y EN en FL, FR y PR; ST7: MC en (PL), TH en (TR, CV), EN en (FL), TH en (FR) y PI en PR; ST8: PI en PL, TR, CV, FL, FR y PR. EN= extracto de aceite de neem, TH y PI= hongos antagonistas; MC= micorrizas; etapas fenológicas: PL= Plántula, TR= Trasplante, CV= Crecimiento vegetativo, FL= Floración, FR= Fructificación, PR= Producción. Medias con la misma letra, para cada calidad, no son estadísticamente diferentes (DMS, $P=0.05$).

tratamiento cinco con micorrizas (plántula y trasplante), extracto de aceite de neem (crecimiento vegetativo, floración, fructificación y producción) y se observó mayor peso (5.33 kg) y número (122) de frutos de segunda calidad, con el sub-tratamiento siete [micorrizas (plántula), *T. harzianum* (trasplante, crecimiento vegetativo y fructificación), *P. lilacinum* (crecimiento

vegetativo y producción) y extracto de neem (floración)], y sub-tratamiento cinco con micorrizas (plántula y trasplante), extracto de aceite de neem (crecimiento vegetativo, floración, fructificación y producción). Los resultados obtenidos en frutos de primera y segunda calidad fueron estadísticamente diferentes en comparación con el testigo absoluto. Se encontró diferencias

significativas entre sub-tratamientos en peso total acumulado (primera, segunda y tercera calidad), en la comparación de medias se obtuvo mayor producción con los sub-tratamientos cinco y siete con 11.77 y 10.79 kg, respectivamente, y estadísticamente diferentes al testigo absoluto (Cuadro 2).

Índice de agallamiento radical

El análisis de varianza en las cuatro evaluaciones (32, 66, 128 y 170 ddt) del índice de agallamiento radical, mostró diferencias significativas entre todos los sub-tratamientos. En la tercera evaluación (128 ddt), los menores índices de agallamiento (IA) radical en la etapa de crecimiento vegetativo-fructificación se observaron con los sub-tratamientos siete [micorrizas (plántula), *T. harzianum* (trasplante, crecimiento vegetativo y fructificación), *P. lilacinum* (crecimiento vegetativo y producción) y extracto de neem (floración)]; sub-tratamiento seis con *T. harzianum* (plántula, trasplante) y crecimiento vegetativo y extracto de aceite de neem (floración, fructificación, y producción); sub-tratamiento cinco con micorrizas (plántula y trasplante), extracto de aceite de neem (crecimiento vegetativo, floración, fructificación y producción) y sub-tratamiento cuatro con micorrizas (plántula, trasplante y crecimiento vegetativo), *T. harzianum*

(floración, fructificación y producción), en los cuales se obtuvo en la tercera evaluación índices de agallamiento de 3,33, 3,38, 3,54 y 3,58, respectivamente, que fueron estadísticamente diferentes en comparación con el testigo absoluto (4,80) y se observó el mayor índice de agallamiento en la primera, segunda, tercera y cuarta evaluación con 1,80, 3,08, 4,80 y 8,30, respectivamente, en el testigo absoluto (Cuadro 2). Se observa en la Figura 6, la dinámica temporal de cuatro evaluaciones (32, 66, 128 y 170 ddt) del índice de agallamiento del cultivo de jitomate bajo invernadero.

Al final del ciclo del cultivo, en la cuarta evaluación del índice de agallamiento radical se encontró diferencias significativas en los sub-tratamientos, se registraron en los sub-tratamientos siete, y cinco, índices de agallamiento de 7,14 y 7,34, respectivamente, valores significativamente diferentes en comparación con el índice de agallamiento del testigo absoluto (8.31). En la Figura 7 se observa el índice de agallamiento final y su relación con frutos de primera, segunda, tercera calidad y el peso total acumulado (1a, 2a, y 3a).

Índice de micorrización

Se encontró un índice de micorrización del 65% en el sub-tratamiento cinco con micorrizas

Cuadro 2. Rentabilidad, costo total, ingreso total y neto de los sub-tratamientos evaluados con ambos tratamientos con y sin biofumigación en jitomate. En \$/160 m² de invernadero.

Sub-Trat	Costo total	Ingreso total	Ingreso neto	GPI
1 ^y	9,568.48	8,242.02	-1,326.46	-0.14
2	9,895.31	12,369.75	2,474.44	0.25
3	9,925.42	11,159.66	1,234.24	0.12
4	10,017.50	13,042.02	3,024.52	0.30
5	9,970.66	15,865.55	5,894.89	0.59
6	9,885.45	11,563.03	1,677.57	0.17
7	9,908.65	14,521.01	4,612.35	0.47
8	9,871.17	10,756.30	885.13	0.09

^yST1: Testigo absoluto; ST2: EN en PL, TR, CV, FL, FR y PR; ST3: TH en PL, TR, CV, FL, FR y PR; ST4: MC en PL, CV y TH en FL, FR y PR; ST5: MC en PL, TR y EN en CV, FL, FR y PR; ST6: TH en PL, TR, CV y EN en FL, FR y PR; ST7: MC en (PL), TH en (TR, CV), EN en (FL), TH en (FR) y PI en PR; ST8: PI en PL, TR, CV, FL, FR y PR. EN= extracto de aceite de neem, TH= *T. harzianum*, MC=micorrizas, PI=*P. lilacinum*; etapas fenológicas: PL=Plántula, TR=Trasplante, CV=Crecimiento vegetativo, FL=Floración, FR=Fructificación, PR=Producción. GPI=Ganancia por peso invertido.

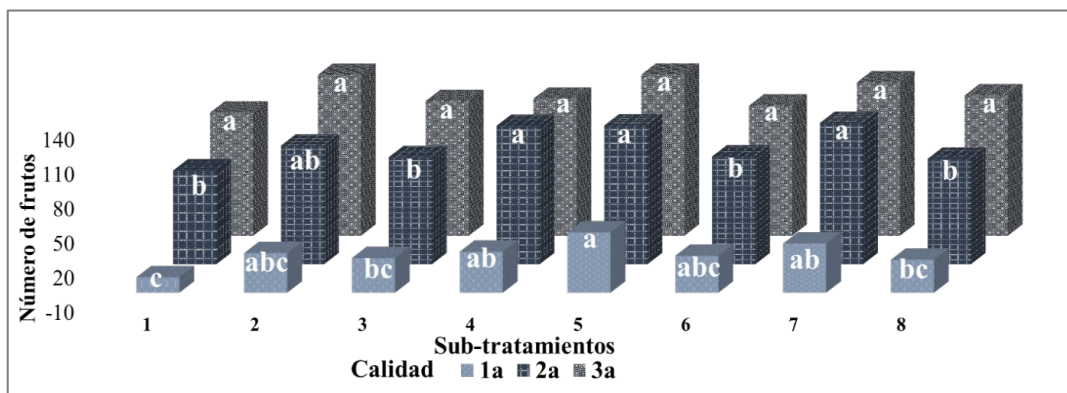


Figura 6. Producción acumulada del número de frutos de primera, segunda y tercera calidad. **ST1:** Testigo absoluto; **ST2:** EN en PL, TR, CV, FL, FR y PR; **ST3:** TH en PL, TR, CV, FL, FR y PR; **ST4:** MC en PL, CV y TH en FL, FR y PR; **ST5:** MC en PL, TR y EN en CV, FL, FR y PR; **ST6:** TH en PL, TR, CV y EN en FL, FR y PR; **ST7:** MC en (PL), TH en (TR, CV), EN en (FL), TH en (FR) y PI en PR; **ST8:** PI en PL, TR, CV, FL, FR y PR. EN= extracto de aceite de neem, TH y PI= hongos antagonistas; MC= micorrizas; etapas fenológicas: PL= Plántula, TR= Trasplante, CV= Crecimiento vegetativo, FL= Floración, FR= Fructificación, PR= Producción. Medias con la misma letra, para cada calidad, no son estadísticamente diferentes (DMS, $P= 0.05$).

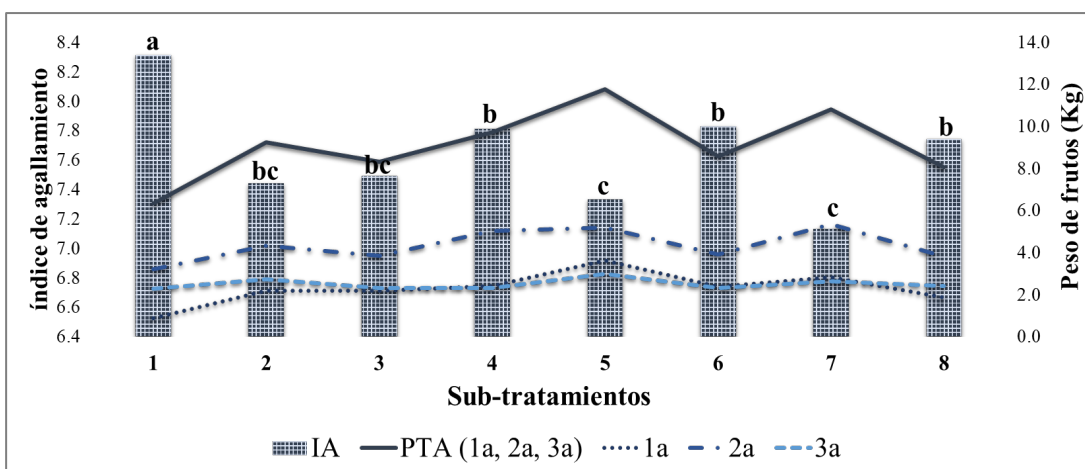


Figura 7. Índice de agallamiento (ÍA) final combinado con la producción de frutos de primera, segunda, tercera calidad y producción total acumulada (PTA) de peso de frutos (1a, 2a, y 3a). **ST1:** Testigo absoluto; **ST2:** EN en PL, TR, CV, FL, FR y PR; **ST3:** TH en PL, TR, CV, FL, FR y PR; **ST4:** MC en PL, CV y TH en FL, FR y PR; **ST5:** MC en PL, TR y EN en CV, FL, FR y PR; **ST6:** TH en PL, TR, CV y EN en FL, FR y PR; **ST7:** MC en (PL), TH en (TR, CV), EN en (FL), TH en (FR) y PI en PR; **ST8:** PI en PL, TR, CV, FL, FR y PR. EN= extracto de aceite de neem, TH y PI= hongos antagonistas; MC= micorrizas; etapas fenológicas: PL=Plántula, TR=Trasplante, CV=Crecimiento vegetativo, FL=Floración, FR= Fructificación, PR=Producción. Medias con la misma letra, no son estadísticamente diferentes (DMS, $P= 0.05$).

(plántula y trasplante), extracto de aceite de neem (crecimiento vegetativo, floración, fructificación y producción), el cual mostró la mayor producción en peso total acumulado (1a+2a+3a), seguido por el sub-tratamiento siete [micorrizas (plántula), *T.*

harzianum (trasplante, crecimiento vegetativo y producción), *P. lilacinum* (crecimiento vegetativo y producción) y extracto de aceite de neem (floración)] y sub-tratamiento cuatro micorrizas (plántula, trasplante y crecimiento vegetativo), *T.*

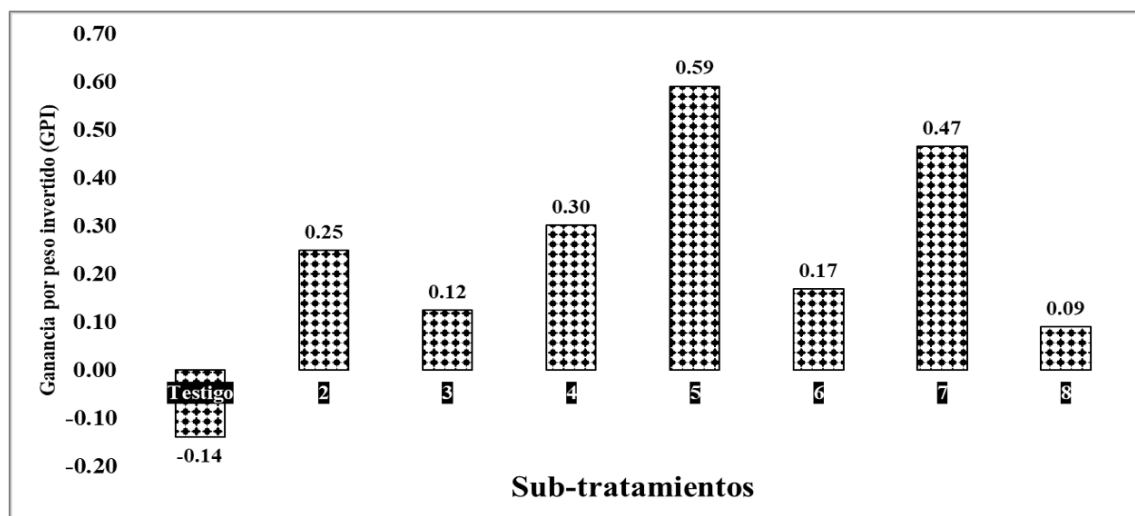


Figura 8. Rentabilidad de los sub-tratamientos con ambos tratamientos con y sin biofumigación en cultivo de jitomate.

harzianum (floración, fructificación y producción) con índices de micorrización de 58 y 51% respectivamente.

Altura de la planta

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los sub-tratamientos, en la comparación de medias, los sub-tratamientos siete y cinco, se observó significativamente mayor altura en comparación con el testigo absoluto (Cuadro 2).

Biomasa

El análisis de varianza para biomasa radical (peso seco de raíz) y biomasa aérea (peso fresco tallo+hoja) se encontró diferencias significativas entre sub-tratamientos. La mayor biomasa radical se encontró en los sub-tratamientos siete y en el sub-tratamiento número cinco, estadísticamente diferente al testigo absoluto (Cuadro 2).

En cuanto a la variable biomasa aérea, registró un incremento en la biomasa aérea con los sub-tratamientos cinco y sub-tratamiento siete, en donde se registró 2,615 y 2,562 g, respectivamente, y diferente estadísticamente al testigo absoluto (Cuadro 2).

Rentabilidad de los tratamientos

Este análisis demostró que el sub-tratamiento cinco y el sub-tratamiento siete, con ganancia por

peso invertido (GPI) de 0.59, 0.47, respectivamente fueron los más rentables (Cuadro 3 y Figura 8).

DISCUSIÓN

En la producción de frutos, se obtuvo mayor producción en los sub-tratamientos, el número cinco, así como el sub-tratamiento siete, donde se registró aumento tanto en peso como en número de frutos de primera y segunda calidad, y obtuvieron mayor rentabilidad económica. La rentabilidad de los tratamientos, es de suma importancia para conocer si es redituable trabajar en la producción de jitomate en un manejo integral, el cual ayudará al productor en la toma de decisiones. Existen variables fundamentales para indicar rentabilidad, principalmente los costos variables de los materiales, equipo e insumos y el valor de la producción. En la actividad agrícola es primordial el aprovechamiento óptimo de todos los recursos disponibles, para maximizar la rentabilidad de una unidad económica y la obtención de beneficios.

El incremento de frutos de primera y segunda calidad se reflejó en la integración de micorrizas, hongos antagonistas y extracto de aceite de neem en dos diferentes estrategias de manejo durante el cultivo de jitomate (sub-tratamientos cinco y siete); el aumento de frutos de primera calidad se observó en la combinación de micorrizas y el extracto de aceite de neem, el cual se integró en el sub-tratamiento cinco con micorrizas (plántula y trasplante), extracto de aceite de neem (crecimiento

vegetativo, floración, fructificación y producción). Asimismo, los sub-tratamientos antes mencionados obtuvieron menor índice de agallamiento radical al término del cultivo y fue significativamente diferente en comparación al testigo. La integración del extracto vegetal de neem en el manejo contra nematodos parásitos de plantas se reporta en varias publicaciones con propiedades nematocidas (Vuelta-Lorenzo y Font-Rodríguez, 2007; Javed et al., 2007; Hummel et al., 2014; Nile et al., 2018). En el extracto se han identificado alrededor de 18 compuestos, entre los que destaca azadiractina, que se encuentra en mayor concentración, otros componentes presentes incluyen meliantriol, nimbin, nimbidin, nimbinin, nimbolides, ácidos grasos (oleico, esteárico y palmítico) y salannin (Campos et al., 2016).

El manejo del nematodo agallador, mediante [micorrizas (plántula), *T. harzianum* (trasplante, crecimiento vegetativo y producción), *P. lilacinum* (crecimiento vegetativo y producción) y extracto de aceite de neem (floración)] (sub-tratamiento siete) y aplicación de micorrizas (plántula y trasplante), extracto de aceite de neem (crecimiento vegetativo, floración, fructificación y producción) (sub-tratamiento cinco), se observó aumento de

altura, biomasa radical y aérea. Los resultados son similares a los obtenidos por Khanna et al. (2021), quienes señalan que los microorganismos estimulan el crecimiento de la planta y de manera similar las micorrizas contribuyen a mayor capacidad de crecimiento, y mejoramiento de la nutrición de las plantas (Howell, 1999; Trappe, 2005). Respecto a las micorrizas su integración en los sub-tratamientos cinco con micorrizas (plántula y trasplante), extracto de aceite de neem (crecimiento vegetativo, floración, fructificación y producción) y sub-tratamiento siete [micorrizas (plántula), *T. harzianum* (trasplante, crecimiento vegetativo y producción), *P. lilacinum* (crecimiento vegetativo y producción) y extracto de aceite de neem (floración)], aumentaron la producción de frutos de primera, segunda calidad y redujo el índice de agallamiento hasta los 128 días después del trasplante. La simbiosis micorrízica tiene potencial en la producción de plantas, éstas presentan mayor capacidad de adaptación a diferentes condiciones edáficas y climáticas, así como en su productividad (Ferrara y Alarcón, 2001). En relación con su importancia en el manejo de *N. aberrans*, se menciona que *Glomus intraradices* redujo el número de agallas y

Cuadro 3. Evaluación del índice de agallamiento, altura (cm), biomasa radicular y aérea (tallo+hoja) (g), producción en peso (kg) total acumulado (1a+2a+3a) de los sub-tratamientos durante el ciclo del cultivo de jitomate en ambos tratamientos: con y sin biofumigación.

Sub-Trat.	Índice de agallamiento				Crecimiento Altura	Biomasa		Producción PTA	
	Etapas CV-FR					Fin de ciclo	Biomasa radicular		Biomasa aérea
	1a Ev.	2a Ev.	3a Ev.	4a Ev.					
1 ^y	1.80 ab ^z	3.08 a	4.80 a	8.31 a	34.08 c	22.50 c	8 67.50 b	6.34 b	
2	1.42 ab	2.46 bc	4.08 ab	7.44 bc	35.93 bc	33.17 ab	1 773.30 ab	9.22 ab	
3	1.42 ab	2.54 bc	4.42 ab	7.49 bc	37.08 abc	28.83 bc	1 459.20 ab	8.32 ab	
4	0.92 b	2.63 abc	3.58 b	7.81 b	45.21 ab	34.33 ab	1 928.00 ab	9.72 ab	
5	0.92 b	2.96 ab	3.54 b	7.33 c	45.77 a	36.17 a	2 615.00 a	11.77 a	
6	1.29 ab	2.54 bc	3.38 b	7.83 b	34.53 c	28.50 bc	1 705.00 ab	8.56 ab	
7	1.33 ab	2.42 c	3.33 b	7.13 c	46.05 a	39.00 a	2 561.70 a	10.79 a	
8	1.29 a	2.88 abc	4.42 ab	7.74 b	37.56 abc	28.83 bc	1 436.70 b	8.04 ab	
Prob.	0.07	0.07	0.11	<.0001	0.0002	<.0001	0.0009	0.0443	

^yST1: Testigo absoluto; ST2: EN en PL, TR, CV, FL, FR y PR; ST3: TH en PL, TR, CV, FL, FR y PR; ST4: MC en PL, CV y TH en FL, FR y PR; ST5: MC en PL, TR y EN en CV, FL, FR y PR; ST6: TH en PL, TR, CV y EN en FL, FR y PR; ST7: MC en (PL), TH en (TR, CV), EN en (FL), TH en (FR) y PI en PR; ST8: PI en PL, TR, CV, FL, FR y PR. EN= extracto de aceite de neem, TH y PI= hongos antagonistas; MC=micorrizas; etapas fenológicas: PL=Plántula, TR=Trasplante, CV=Crecimiento vegetativo, FL=Floración, FR= Fructificación, PR=Producción. EV= Evaluación del índice de agallamiento, PTA= Peso total acumulado (1a+2a+3a).

^zMedias con la misma letra por columna, no son estadísticamente diferentes con la prueba DMS a $P=0.05$.

reproducción de *N. aberrans* (Lax *et al.*, 2011). Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) es un grupo microbiano importante del suelo, constituyen una masa considerable y establecen relaciones bióticas fundamentales para el equilibrio del ecosistema (Smith y Read, 2008).

Por otra parte, la producción orgánica ofrece alimentos iguales o más nutritivos y no contienen residuos de plaguicidas, en comparación con la agricultura convencional (de Ponti *et al.*, 2012; Reganold y Wachter, 2016).

En este sentido la biofumigación surge como un método de manejo sostenible y adecuado para producción orgánica del cultivo de jitomate y manejo de *N. aberrans*. En esta investigación, durante el procedimiento de la biofumigación, se incorporó al suelo sorgo triturado y estiércol de bovino; con la biofumigación se incrementó la producción de frutos de primera, segunda y tercera calidad y en las cuatro evaluaciones (31, 66, 128 y 170 ddt) se observó una reducción en el índice de agallamiento; el cultivo de sorgo (*S. bicolor*), contiene el glucósido cianogénico dhurrin [(S)-4-hidroxi mandelonitrilo- β -D-glucopiranosido] en todos los tejidos principales excepto en el grano maduro (Nielsen *et al.*, 2016), es un metabolito secundario que se puede convertir en un compuesto volátil altamente tóxico conocido como cianuro de hidrógeno (Robson, 2007; Rosati *et al.*, 2019), con propiedades nematocidas (Kang *et al.*, 2018). Además, el sorgo, se ha utilizado como cultivo biofumigante (Timper y Wilson, 2006) para el control de nematodos fitoparásitos (*Mesocriconema xenoplax*) (Nyczepir y Rodríguez, 2007), y agalladores (*Meloidogyne* spp.) (Djian *et al.*, 2019; Paudel *et al.*, 2021). Además, la incorporación de residuos orgánicos impacta fuertemente en las propiedades físicas y biológicas del suelo y puede promover un ambiente favorable para los microorganismos antagonistas de los nematodos (McKenry y Anwar, 2003).

En la etapa de crecimiento vegetativo a fructificación, se obtuvieron valores bajos de índice de agallamiento y en la última evaluación del índice de agallamiento que fue al término del cultivo se observaron en los sub-tratamientos valores ligeramente altos en índice de agallamiento; sin embargo, a pesar del índice de agallamiento radical de 7 y 8 no afectaron la producción y calidad de frutos en el cultivo de jitomate en condiciones de invernadero, el análisis de varianza mostró diferencias significativas entre

los sub-tratamientos, como fueron: el manejo que se implementó como fue la aplicación de micorrizas en (plántula y trasplante), extracto de aceite de neem (crecimiento vegetativo, floración, fructificación y producción) (sub-tratamiento cinco), el cual, mostró un índice de micorrización de 65% y por otra parte, el empleo de [micorrizas (plántula), *T. harzianum* (trasplante, crecimiento vegetativo y producción), *P. lilacinum* (crecimiento vegetativo y producción) y extracto de aceite de neem (floración)] (sub-tratamiento siete), los cuales mostraron mayor producción en peso total acumulado de frutos (1a+2a+3a), aumento de biomasa radical e índice de agallamiento bajo al final del ciclo del cultivo, estadísticamente diferentes al testigo; el incremento de biomasa radical, promovido por la aplicación de hongos micorrízicos, se infiere que promovió un mayor desarrollo de raíces secundarias y pelos absorbentes en las raíces de las plantas que indujeron mayor exploración del área radicular y mejor absorción de nutrientes y agua hacia el llenado de fruto que propiciaron mayor producción de frutos de primera, segunda calidad y peso total acumulado, por su parte la integración de hongos micorrízicos mineralizan y translocan fósforo y otros nutrientes esenciales a la planta; otros beneficios incluyen el mejor uso del agua (Hart y Trevors, 2005). Con base a la última evaluación del índice de agallamiento, se extrajeron las raíces completas del suelo para reducir el inóculo del terreno para el siguiente ciclo.

AGRADECIMIENTOS

Al CONAHCYT por el financiamiento de mis estudios de postgrado. Colegio de Posgraduados al programa de Fitopatología, al laboratorio 109 de Nematología agrícola. Al productor Ing. Alfonso Pérez Trujano y su familia por su cooperación para realizar el trabajo experimental en invernadero. Al Dr. Ignacio Cid del Prado Vera por las facilidades otorgadas y su apoyo para realizar el trabajo de investigación en invernadero.

LITERATURA CITADA

- Abd-Elgawad, M. M. M. 2021. Optimizing safe approaches to manage plant-parasitic nematodes. *Plants* (Basel) 10:1911.

- Akhtar, M., and A. Malik. 2000. Roles of organic soil amendments and soil organisms in the biological control of plant-parasitic nematodes: a review. *Bioresource Technology* 74:35-47.
- Ayala, A., J. Román, and A. Tarjan. 1963. Comparison of four methods for isolating nematodes from soil samples. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 47:219-225.
- Ayoub, S. M. 1977. *Plant Nematology*. An Agricultural Training Aid. Department of Food and Agriculture. Division of Plant Industry. Laboratory Services-Nematology. USA. 157 p.
- Bridge, J., y S. Page. 1980. Estimation of root-knot nematode infestation levels on roots using a rating chart. *Tropical Pest Management* 3:296-298.
- Cabrera, H. A. J., G. Valdovinos, G. Mora, A. Rebolgar, y N. Marban. 2014. Ocurrencia de *Nacobbus aberrans* en cultivos hortícolas del noroeste de Michoacán. *Nematropica* 44:107-117.
- Campos, E. V., J. de Oliveira, M. Pascoli, R. de Lima, and L. Fraceto. 2016. Neem oil and crop protection: from now to the future. *Frontiers in Plant Science* 7:1494.
- Cid del Prado, V. I., M. Magallanes, R. Velazco, and A. Pérez. 2022. Organic Amendments and Other Strategies for Management of *Meloidogyne* spp. and *Nacobbus aberrans* in Horticultural and Orchard Crops: The Mexican Experience. En *Organic Amendments and Other Strategies for Management of Meloidogyne spp. and Nacobbus aberrans in Horticultural and Orchard Crops: The Mexican Experience* (1 ed., Vol. 1, pp. 343-379). [14] (Sustainability in Plant and Crop Protection). Springer Nature Switzerland AG.
- Cobb, N. A. 1918. Estimating the nema population of soil, with special reference to the sugar-beet and root-gall nemas, *Heterodera schachtii* Schmidt and *Heterodera radicola* (Greef) Müller: and with a description of *Tylencholaimus aequalis* n. sp (Vol. 1). United States Department of Agriculture. Agricultural Technology Circular 1. US Government Printing Office. Washington, DC.
- Cristóbal, A. J., G. Mora, R. Manzanilla, N. Marban, P. Sánchez, I. Cid del Prado, and K. Evans. 2006. Epidemiology and Integrated control of *Nacobbus aberrans* on Tomato in México. *Nematology* 8:727-737.
- Deng, X., X. Wang, and G. Li. 2022. Nematicidal Effects of volatile organic compounds from microorganisms and plants on plant-parasitic nematodes. *Microorganisms* 10:1201.
- de Ponti, T., B. Rijk, and M. van Ittersum. 2012. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural Systems* 108:1-9.
- Djian, C. C., T. Mateille, M. Bailly, N. Marteu, A. Fazari, P. Bautheac, A. Raptopoulo, L. Van Duong, J. Tavoillot, B. Martiny, C. Goillon, and P. Castagnone. 2019. Evaluating sorghums as green manure against root-knot nematodes. *Crop Protection* 122:142-150.
- Durán, R. J. A. 2009. *Formulación y evaluación de proyectos agropecuarios*. Apuntes. Centro de Estudios Profesionales. Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. Cocula, Guerrero, México.
- Ferrera, C. R., y A. Alarcón. 2001. La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *Ciencia Ergo Sum* 8:175-183
- Feyisa, B., A. Lencho, T. Selvaraj, y G. Getaneh. 2016. Evaluation of some botanicals and *Trichoderma harzianum* against root-knot nematode (*Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chit wood) in tomato. *Journal of Entomology and Nematology* 8:11-18.
- Franco, N. F., I. Cid del Prado, E. Zavaleta, y P. Sánchez. 2002. Aplicación de enmiendas orgánicas para el manejo de *Nacobbus aberrans* en jitomate. *Nematropica* 32:113-124.
- Gandica, O. H., y H. Peña. 2015. Acumulación de materia seca y balance de nutrientes en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado en ambiente protegido. *Bioagro* 27:111-120.
- Garrido, C. F., M. Cepeda, F. Hernández, Y. Ochoa, E. Cerna, y D. Morales. 2014. Efectividad biológica de extractos de *Carya illinoensis*, para el control de *Meloidogyne incognita*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 7:1317-1323.
- Hart, M. M., and J. Trevors. 2005. *Microbe management: Application of mycorrhizal*

- fungi in sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment* 3:533-539.
- Hernández, O. D., M. Rodríguez, B. Peteira, I. Miranda, Y. Arias, y B. Martínez. 2015. Efecto de cepas de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt y Nirenberg sobre el desarrollo del jitomate y *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood. *Revista de Protección Vegetal* 30:139-147.
- Hooper, D. J. 1986. Extraction of nematodes from plant material. Pp. 50-58 in J. F. Southey, ed, *Laboratory methods for work with plant and soil nematodes*. Ministry of Agriculture Fisheries and Food Reference Book 402. London: Her Majesty's Stationery Office.
- Howell, C. 1999. Selective isolation from soil and separation in vitro of P and Q strains of *Trichoderma virens* with differential media. *Mycologia* 91:930-934.
- Hummel, H. E., S. Langner, G. Leithold, and H. Schmutterer. 2014. Neem: Unusually versatile plant genus *Azadirachta* with many useful and so far insufficiently exploited properties for agriculture, medicine, and industry. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences* 79:211-28.
- Javed, N., S. Gowen, S. El-Hassan, M. Inam-ul-Haq, F. Shahina, and B. Pembroke. 2008. Efficacy of neem (*Azadirachta indica*) formulations on biology of root-knot nematodes (*Meloidogyne javanica*) on tomato. *Crop Protection* 27:36-43.
- Javed, N., S. Gowen, M. Inam-ul-Haq, and S. Anwar. 2007. Protective and curative effect of neem (*Azadirachta indica*) formulations on the development of root-knot nematode *Meloidogyne javanica* in roots of tomato plants. *Crop Protection* 26:530-534.
- Jenkins, W. P. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter* 48:692.
- Jones, J. T., A. Haegeman, E. Danchin, H. Gaur, J. Helder, M. Jones, T. Kikuchi, R. Manzanilla, J. Palomares, M. Wesemael, y N. Perry. 2013. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. *Molecular plant pathology* 14:946-961.
- Kang, B. R., A. Anderson, y Y. Kim. 2018. Hydrogen Cyanide Produced by *Pseudomonas chlororaphis* O6 Exhibits Nematicidal Activity against *Meloidogyne hapla*. *Plant Pathology Journal* 34:35-43.
- Khan M., and K. Tanaka. 2023. *Purpureocillium lilacinum* for plant growth promotion and biocontrol against root-knot nematodes infecting eggplant. *PLoS One* 18:e0283550.
- Khanna, K., S. Kohli, P. Ohri, y R. Bhardwaj. 2021. Plants-nematodes-microbes crosstalk within soil: A trade-off among friends or foes. *Microbiological Research* 248:126755.
- Lax, P., A. Becerra, F. Soteras, M. Cabello, y M. Doucet. 2011. Effect of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* on the false root-knot nematode *Nacobbus aberrans* in tomato plants. *Biology and Fertility of Soils* 47:591-597.
- Manzanilla, L. R. H., M. Costilla, M. Doucet, R. Franco, N. Inserra, P. Lehman, I. Cid del Prado, M. Souza, and K. Evans. 2002. The genus *Nacobbus* Thorne & Allen, 1944 (Nematodo: Pratylenchidae): Systematics, distribution, biology, and management. *Nematropica* 32: 149-227.
- Martínez, F. R., S. Tovar, H. Laguna, y C. Torres. 2010. Histopatología de las agallas inducidas por *Nacobbus aberrans* Thorne et Allen en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Nematología Mediterránea* 38:45-52.
- McGonigle, T. P., M. Miller, D. Evans, G. Fairchild, and J. Swan. 1990. A new method which gives an objective measurement of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 115:495-501.
- McKenry, M. V., and S. Anwar. 2003. Nematicidal activity of walnut extracts against root-knot nematodes. *Journal of Nematology* 35:353.
- Méndez, N. J. R. 2002. Relación entre el peso seco total y los caracteres vegetativos y la nodulación de plantas de maní (*Arachis hypogaea* L.). *Revista UDO Agrícola* 2:46-53.
- Morales, H. J. L., F. Razo, y J. Martínez. 2017. Análisis de rentabilidad del cultivo de jitomate bajo invernadero en San Simón de Guerrero, Estado de México. *Paradigma Económico* 9:167-187.
- Mwamula, A. O., M. Kabir, y D. Lee. 2022. A Review of the Potency of Plant Extracts and Compounds from Key Families as an Alternative to Synthetic Nematicides: History, Efficacy, and Current

- Developments. *Plant Pathology Journal* 38:53-77.
- Nielsen, L. J., P. Stuart, M. Pičmanová, S. Rasmussen, C. Olsen, J. Harholt, B. Møller, and N. Bjarnholt. 2016. Dhurrin metabolism in the developing grain of *Sorghum bicolor* (L.) Moench was investigated by metabolite profiling and novel clustering analyses of time-resolved transcriptomic data. *BMC Genomics* 17:1021.
- Nile, A. S., S. Nile, Y. Keum, D. Kim, B. Venkidasamy, and S. Ramalingam. 2018. Nematicidal potential and specific enzyme activity enhancement potential of neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) aerial parts. *Environmental science and pollution research international* 25:4204-4213.
- Norris, R. F., E. Caswell, and M. Kogan. 2003. Concepts in integrated pest management. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson Education, Inc.
- Nyczepir, A. P., and R. Rodriguez. 2007. Preplant biofumigation with sorghum or methyl bromide compared for managing *Criconeoides xenoplax* in a young peach orchard. *Plant Disease* 91:1607-1611.
- Oka, Y. 2010. Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments—A review. *Applied Soil Ecology* 44:101-115.
- Patil, J. A., S. Yadav, S. Ram, A. Kumar, y S. Kumar. 2022. Integrated management of *Meloidogyne incognita* and soilborne fungi infecting cucumber under protected cultivation. *Journal of Nematology* 54:1-12.
- Paudel, R., P. Waisen, and W. Koon-Hui. 2021. Exploiting the innate potential of sorghum/sorghum–sudangrass cover crops to improve soil microbial profile that can lead to suppression of plant-parasitic nematodes. *Microorganisms* 9:1831.
- Pérez, E. A., I. Cid del Prado, R. Rosas, J. Espinosa, M. Rodríguez, y H. Ferris. 2019. Efecto de la biofumigación y *Pochonia chlamydosporia* en el manejo de nematodos noduladores en tomate. *Nematropica* 49:172-180.
- Phillips, J. M., and D. Hayman. 1970. Improved Procedures for clearing roots and staining parasitic vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55:158-161.
- Quintero, P. N., y C. Correa. 2011. Comparación de técnicas experimentales para la medición del crecimiento vegetal. *Revista Memorias* 9:81-94.
- Reganold, J. P., and J. Wachter. 2016. Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants* 2:1-8.
- Revilla, C. P., y H. Palomo. 2016. Comportamiento con diferentes enmiendas orgánicas del nematodo del nódulo *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White, 1919), Chitwood 1949, en Pimiento Paprika (*Capsicum annum* L.). *Anales científicos* 77:212-217.
- Robson, S. 2007. Prussic Acid Poisoning in Livestock (Vol. 417). Albury, NSW, Australia: NSW Department of Primary Industries.
- Ros, M., C. García, M. Hernández, A. Lacasa, P. Fernández, y J. Pascual. 2008. Effects of biosolarization as methyl bromide alternative for *Meloidogyne incognita* control on quality of soil under pepper. *Biology and Fertility of Soils* 45:37-44.
- Rosati, V. C., C. Blomstedt, B. Møller, T. Garnett, and R. Gleadow. 2019. The interplay between water limitation, dhurrin, and nitrate in the low-cyanogenic *Sorghum* mutant adult cyanide deficient class 1. *Frontiers in plant science* 10:1458.
- Roskopf, E., F. Di Gioia, J. Hong, C. Pisani, and N. Kokalis. 2020. Organic amendments for pathogen and nematode control. *Annual Review of Phytopathology* 25:277-311.
- Sahebani, N., and N. Hadavi. 2008. Biological control of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* by *Trichoderma harzianum*. *Soil Biology and Biochemistry* 40:2016-2020.
- Smith, S. E., and D. Read. 2008. Mycorrhizal symbiosis (3rd Ed.). London: Academic Press Inc.
- Sosa, A. L., L. Rosso, F. Salusso, M. Etcheverry, and M. Passone. 2018. Screening and identification of horticultural soil fungi for their evaluation against the plant parasitic nematode *Nacobbus aberrans*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 34:63.
- Stapleton, J. J. 2000. Soil solarization in various agricultural production systems. *Crop protection* 19:837-841.

- Tariqjaveed, M., T. Farooq, A. Saad, M. Hussain, and A. Rehman. 2021. Role of *Trichoderma* as a biocontrol agent (BCA) of phytoparasitic nematodes and plant growth inducer. *Journal of Invertebrate Pathology* 183:1-8.
- Timper, P., and J. Wilson. 2006. Root-knot nematode resistance in pearl millet from West and East 666 Africa. *Plant Disease* 90:339-344.
- Torres, L. J., I. Cid del Prado, R. Rosas, A. Santos, y C. Díaz. 2014. Biodesinfección del suelo y uso de *Pochonia chlamydosporia* en el manejo de *Meloidogyne arenaria* en el cultivo de guayabo en el oriente de Michoacán. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de Postgraduados. Instituto de Fitosanidad. Especialidad en Fitopatología. Montecillo, Texcoco, Edo. De México. México.
- Trappe, J. M. A. B. 2005. Frank and mycorrhizae: the challenge to evolutionary and ecologic theory. *Mycorrhiza* 15:277-281.
- Vázquez, H. G., B. Díaz, J. Díaz, W. Romero, y R. Arbeu. 2014. Rentabilidad de la producción de jitomate silvestre orgánico (*Solanum lycopersicum* L.) en cubiertas plásticas de bajo costo. *Revista Mexicana de Agronegocios* 34:773-783.
- Velasco, A. R., R. Zeferino, J. Alvarado, H. López, S. Rojas, K. Flores, I. Cid del Prado, R. Alatorre, F. Tut, M. Carrillo, E. Burgueño, y J. Torres. 2022. Nematicidal activity of furanooeremophilenes against *Meloidogyne incognita* and *Nacobbus aberrans*. *Pest Management Science* 78:2571-2580.
- Vuelta, L. D. R., y D. Font. 2007. El árbol del nim: una alternativa para el control de nematodos. *Ciencia en su PC* 1:54-60.
- Vuelta, L. D. R., S. Mas, G. Limonta, y M. Mustelier. 2020. Efecto de 8 especies de hongos micorrízicos arbusculares sobre el manejo de nematodos en el cultivo del jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones protegidas. *Ciencia en su PC* 3:108-124.
- Youssef, M. M. A. 2015. Biofumigation as a promising tool for managing plant parasitic nematodes. A review. *Scientia Agriculturae* 10:115-118.
- Zhang, S., Y. Gan, y B. Xu. 2015. Biocontrol potential of a native species of *Trichoderma longibrachiatum* against *Meloidogyne incognita*. *Applied Soil Ecology* 94:21-29.

Received:

27/IX/2023

Accepted for publication:

26/II/2024

Recibido:

Aceptado para publicación: