

Alternativas física, química y natural para controlar *Meloidogyne* spp. en tomate de invernadero

J. Jesús Avelar-Mejía¹
Alfredo Lara-Herrera^{1§}
J. Jesús Llamas-Llamas¹

¹Unidad Académica de Agronomía-UAZ. Carretera Zacatecas-Guadalajara km 15, vía corta Cieneguillas, Zacatecas. (jesus.avelar.mejia@gmail.com; llamasjj@yahoo.com.mx). Tel. 01(492) 9239407, ext. 101.

[§]Autor para correspondencia: alara204@hotmail.com.

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la efectividad de control de *Meloidogyne* spp., mediante la utilización de alternativas física, química y natural, la física con solarización, la química con el nematicida Vidate y la natural mediante la plantación intercalada de cempasúchil (*Tagetes erecta*) entre plantas de tomate, así como la combinación entre las alternativas empleadas. El experimento se llevó a cabo en un invernadero comercial, ubicado en la comunidad de Chaparrosa, municipio de Villa de Cos, Zacatecas, en el año 2012. Se usó un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro repeticiones y unidades experimentales de una planta. Se aplicó agua, fertilizante y otros agroquímicos mediante goteo, con el manejo que el productor hace normalmente. Se midieron 12 variables, resultado de conteo de nematodos, racimos y peso de fruto en diferentes fechas. El análisis de varianza detectó diferencias estadísticas significativas en siete de las variables; con los resultados y el análisis de correlación que se realizó entre las variables, se concluyó que, con la inclusión de una planta de cempasúchil intercalada entre plantas de tomate, así como este tratamiento combinado con la solarización, se obtuvo el menor número de nematodos y el mayor rendimiento de frutos.

Palabras clave: *Lycopersicon esculentum* Mill., *Tagetes erecta*, cempasúchil, nematodos, solarización.

Recibido: noviembre de 2017

Aceptado: enero de 2018

Introducción

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), es la hortaliza de mayor importancia en el mundo y en México; en el año 2014, la producción total mundial fue de 5 023 819 t y un rendimiento medio de 55.1 t ha⁻¹ (FAO, 2017). En tanto que en invernadero tan sólo en una superficie de 631 884 ha se obtuvo en promedio un rendimiento de 200 t ha⁻¹, y una producción de 126 376 800 t⁻¹. Los países con mayor superficie de tomate cultivado en invernadero son, en hectáreas: China 139 080, Italia 22 692, España 21 594, Japón 18 666, Turquía 5 124, Marruecos 3 660, Estados Unidos de América 3 385 Francia 3 367 y México 3 251 (Castellanos, 2008).

En México los estados con mayor superficie de tomate en ambiente protegido son: Sinaloa, Baja California, Baja California Sur, Sonora, Jalisco, San Luis Potosí, Puebla y Zacatecas, esta última entidad contó con una superficie de 230 ha en el 2008 (Castellanos y Borbón, 2009) y 415.5 ha en 2015 (Padilla *et al.*, 2016), el estado de Zacatecas ocupa el octavo lugar nacional en producción de tomate en invernadero, con un rendimiento medio de 176 t ha⁻¹, contra 36 t ha⁻¹ que se obtienen a cielo abierto; bajo estas condiciones el cultivo de tomate en invernadero, representa una opción importante para los productores agrícolas; además, las condiciones climáticas en el estado son difíciles para el cultivo a cielo abierto debido a la presencia de heladas durante un largo periodo del año, los fuertes vientos y las granizadas, entre otras (Castellanos, 2008). Se debe considerar que la producción de tomate en invernadero eleva el costo de producción y propicia las condiciones adecuadas para el desarrollo y ataque de patógenos lo que obliga a tomar medidas de control para reducir o eliminar el daño (Gullino *et al.*, 2002).

Las enfermedades más importantes de tomate en invernadero en el estado de Zacatecas son: cáncer bacterial (*Clavibacter michiganensis*), tizón tardío (*Phytophthora infestans*), botritis (*Botrytis cinerea*), cenicilla (*Leveillula taurica*), tizón temprano (*Alternaria solani*) y el ataque de nematodos agalladores del género *Meloidogyne*, los síntomas ocasionados por los nematodos son: enanismo de la planta, amarillamiento de las hojas, baja producción y la presencia de agallas en la raíz. Las plantas infectadas presentan síntomas de deficiencia de agua en las horas de mayor calor debido a que las raíces están dañadas y absorben menos agua (Carrillo *et al.*, 2000).

En Zacatecas y en especial en suelos de invernaderos del municipio de Chaparrosa, municipio de Villa de Cos, Zacatecas, donde se localiza 32.5% de la superficie de invernaderos del estado (SIAP, 2104), se han presentado problemas severos debido a la presencia y ataque de nematodos del género *Meloidogyne* spp., los cuales se han tratado de controlar mediante la aplicación de productos químicos (nematicidas), lo que a la fecha no ha dado resultados favorables. Además, los pesticidas, son un factor importante de contaminación del suelo, mantos acuíferos y cultivos, así como de daños en la salud humana por su alto grado de toxicidad, (Zavaleta *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 2007; Padilla *et al.*, 2015), debido a su alta capacidad para crear resistencia, esta forma de control no ha sido efectiva, en tanto que su incidencia y diseminación es cada vez mayor y sus efectos en la producción son de consideraciones económicas.

Ante la alternativa de control químico que ha tenido poca efectividad para controlar los daños causados por nematodos, existen reportes exitosos de alternativas físicas, como la solarización del suelo (Candido *et al.*, 2008; Vuelta *et al.*, 2015), alternativas naturales a base del uso de

plantas como cempasúchil la cual exuda compuestos químicos que antagonizan con los nematodos (Gómez y Zavaleta, 2001; Wang *et al.*, 2007) o el uso de extracto de esta misma especie vegetal (Natarajan *et al.*, 2006).

El objetivo del presente estudio consistió en evaluar el control de *Meloidogyne* spp., que infecta a tomate en invernadero, utilizando estrategias distintas al control químico como es el caso de solarización (física), cempasúchil (natural), el nematicida Vidate (químico) y las combinaciones de ellos. La hipótesis de trabajo fue que *Meloidogyne* spp., puede ser controlado con eficiencia en el cultivo de tomate en invernadero, mediante el uso de estrategias diferentes al control químico.

Materiales y métodos

Área de estudio

El presente trabajo se realizó en 2012, en un invernadero tipo Batisierra, localizado en la comunidad Chaparrosa del municipio de Villa de Cos, Zacatecas. La comunidad se localiza a 23° 06' latitud norte y 102° 22' longitud oeste, a 1 900 msnm. Su clima es subtropical árido templado, con temperatura media anual de 17 °C y heladas desde finales de octubre hasta principios de abril. La precipitación media anual varía de 400 a 500 mm (Medina *et al.*, 2003). Predominan los suelos planos tipo Feozem y Litosol, cuyas características químicas son: pH= 7.6, CE= 0.83 dS m⁻¹, N-NO₃= 62 mg kg⁻¹, MO= 1.51%.

Tratamientos, diseño y unidad experimental

Se probaron ocho tratamientos: 1) plantas de cempasúchil (*Tagetes erecta*) (C), situadas alternadamente con plantas de tomate; 2) solarización del suelo con plástico transparente de calibre 620 galgas, equivalente a 155 µm de espesor, colocado al inicio del trabajo cubriendo lo ancho de la cama y 40 m de longitud (S); 3) aplicación del nematicida Vidate (N) en la dosis de 4 L ha⁻¹, aplicado al trasplante con riego por goteo; 4) S+C; 5) S+N; 6) N+C; 7) C+S+N; y 8) testigo (T). Las plantas de cempasúchil se trasplantaron cuando tenían 30 días de edad, el dos de febrero y siete días después se trasplantó el tomate. Se usó un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro repeticiones, la unidad experimental constó de una planta de tomate.

Manejo del experimento

El trabajo se llevó a cabo en suelo natural e invernadero tipo Batisierra, con riego por goteo e inyección de fertilizantes. Se utilizó la variedad de tomate “El Cid”, con frutos tipo saladette, por ser una variedad que se cultiva en Zacatecas. Se utilizó plántula desarrollada en charolas de poliestireno con alveolos de 25 mL, en invernadero; el trasplante se realizó el 9 de febrero de 2012.

Prácticas realizadas

La población de plantas que se estableció, en la nave donde se desarrolló el experimento, fue de 24 000 por hectárea; la distancia entre camas fue de 1.4 m y entre plantas 30 cm. Las prácticas de cultivo que se realizaron fueron las mismas en la parcela experimental y en la plantación comercial y consistieron en la aplicación de fertilizante desde el trasplante y luego cada semana,

mediante fertirrigación. Al trasplantar se aplicaron 300 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico (18-46-00), después se aplicó en total la dosis: 280-00-200 en las siguientes semanas, a base de fertilizantes solubles; también se aplicaron 100 unidades de CaO y 50 de MgO, a base de nitrato de calcio y sulfato de magnesio, respectivamente.

Se aplicó un riego diario de una hora hasta cuando se tuvo el quinto racimo (06 de julio del 2012); a partir del cual se aplicaron dos riegos diarios de 1.5 h cada uno, hasta el final de la cosecha. La eliminación de maleza se hizo manualmente, se hicieron tres deshierbes: siete de abril, cuatro de mayo y ocho de junio. Al momento de la aparición de las plagas mosquita blanca (*Bemisia tabaci*), acaro o araña roja (*Tetranychus urticae*), paratrioza o pulgón saltador (*Bactericera cockerelli*), gusano soldado (*Spodoptera exigua*) y trips (*Frankliniella occidentalis*), se controlaron con aplicación de los agroquímicos, Cyromazina (Trigard), Abamectina, Imidacloprid (Confidor), Thiodicarb (larvin 375) y Abamectina, respectivamente en su dosis comercial, así como también el control de pudrición de la corona por *Fusarium* (*Fusarium oxisporum*), marchitez por *Verticillium* (*Verticillium dahliae*), cenicilla (*Leveillula taurica*), bacterias (*Clavibacter*, *Pseudomonas* y *Xanthomonas*), tizón temprano (*Alternaria solani*) y tizón tardío (*Phytophthora infestans*), se controlaron con aplicación de los agroquímicos: Carbendazim (Derosal + Previcur), Cimoxanil + Mancozeb (Curathane), Bayleton, Dithane M-45, Carbendazin y Propamocarb+mancozeb (Bavistin 500 SC), respectivamente, en sus dosis comerciales.

Manejo de la planta

Se realizó una poda de brotes axilares y de hojas cada que se requirieron; en un ciclo en el que se desarrollaron de 8 a 10 racimos. El tutorado se realizó con rafia y anillos en el tallo para evitar ahorcamiento del mismo. El despunte se realizó cuando la planta contó con 8 a 10 racimos amarrados, no se llevó a cabo el aclareo de frutos.

Variables medidas

Poblaciones de nematodos y agallamiento. Se determinaron las poblaciones de nematodos en el suelo (machos y juveniles) antes de iniciar los tratamientos y al final del ciclo del cultivo, para ello se analizaron muestras de suelo mediante la técnica de centrifugación y flotación con azúcar, propuesta por Zuckerman *et al.* (1985). También se determinó el porcentaje de agallamiento en plantas atacadas por *Meloidogyne*, de acuerdo con la escala propuesta por Bridge y Page (1980): 0= sin agallas; 1= agallas pequeñas, difícilmente visibles, las raíces principales, limpias; 2= solamente agallas pequeñas pero claramente visibles, con raíces principales limpias; 3= algunas agallas grandes, visibles y raíces principales limpias; 4= predominan las agallas grandes, pero las raíces principales permanecen limpias; 5= 50% de las raíces infestadas, agallamientos en partes de las raíces principales, sistema radical reducido; 6= agallamiento en las raíces principales; 7= la mayoría de las raíces principales agalladas; 8= todas las raíces principales agalladas, pocas raíces limpias visibles; 9= todas las raíces severamente agalladas, la planta se está muriendo; y 10 = todas las raíces severamente agalladas, sistema radical destruido, la planta está muerta.

Evaluación de la producción. Cada semana, a partir del nueve de junio se cortó un racimo, se pesaron y cuantificaron los frutos producidos por cada unidad experimental y se clasificaron por calidad de acuerdo con la escala siguiente: Primera (> 99 g fruto⁻¹), segunda (entre 90 y 99 g) y tercera (< 90 g). Los cortes se realizan en la fase de maduración rallado.

Análisis estadísticos

Las variables medidas se sometieron a análisis de varianza y en las que hubo significancia estadística se aplicó la prueba de medias mediante la diferencia mínima significativa (DMS) con $p < 0.05$. También se realizó un análisis de correlación entre las variables. Se usó el programa de cómputo Statistical Analysis System (SAS) versión 2002.

Aceptación de encuesta aplicada

Para evaluar la aceptación o rechazo de adopción de otras estrategias de control y en especial de la presencia de plantas de cempasúchil, junto a plantas de tomate, se aplicó una encuesta, un mes antes de finalizar el ciclo de cultivo, tanto al responsable técnico del invernadero, como a los trabajadores y al productor, la cual constó de los puntos siguientes.

Encuesta para los trabajadores. 1) se dificultó el trabajo en el manejo de las plantas de cempasúchil; 2) fue más laborioso el trabajo en los tratamientos que en el testigo; y 3) ¿cómo les pareció el haber trabajado con estos nuevos tratamientos?

Encuesta para el encargado del personal. 1) se incrementó la mano de obra en alguno de los tratamientos; 2) hubo problemas en cuanto a las órdenes que se dieron al personal; y 3) se tuvieron problemas de parte de los trabajadores en el manejo de los tratamientos.

Encuesta para el productor. 1) cómo le pareció el establecimiento de plantas de cempasúchil; 2) propuesta para mejorar los tratamientos; y 3) obstáculos para trabajar con cempasúchil.

Evaluación de resultados. Al comienzo de la investigación se hicieron pruebas de suelo (03 de febrero de 2012), para conocer la población de nematodos, al final de la investigación (10 de agosto de 2012) se hizo la segunda prueba de suelo, lo que permitió determinar si la población de *Meloidogyne* spp disminuyó o aumentó con base en los tratamientos aplicados. Los resultados obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza, DMS ($p > 0.05$) y se realizó una prueba de correlación con el programa Statistical Analysis System (SAS) versión 2002.

Resultados y discusión

Análisis de varianza

El análisis de varianza realizado a las 12 variables mostró que no hubo significancia estadística ($p > 0.05$) para el factor variación en repeticiones y si hubo en siete variables del factor tratamientos (Cuadro 1). La no significancia estadística para repeticiones se atribuye que el experimento se desarrolló en un ambiente homogéneo, que es comprensible, porque se realizó en invernadero.

Prueba de medias de las variables que mostraron significancia estadística

La mayor reducción en el número de nematodos se presentó con el tratamiento de Cempasúchil, aunque fue estadísticamente igual que los tratamientos: cempasúchil + solarización + nematicida, solarización + cempasúchil, nematicida, y solarización + nematicida (Cuadro 2).

En todas las variables donde se presentaron diferencias estadísticas, el tratamiento con cempasúchil fue el más favorable, ya que presentó mayor cantidad de frutos por racimo (R1 y R2), mayor peso de fruto (P1, P2 y P3), mayor altura de planta, además de la menor población de nematodos, aunque en todas las variables el tratamiento con cempasúchil no fue diferente a otros diversos tratamientos en cada variable (Cuadro 2).

Cuadro 1. Cuadrados medios de las variables medidas en el experimento de prueba de diferentes formas de control del nematodo *Meloidogyne* en tomate de invernadero en Chaparrosa, Villa de Cos, Zacatecas (2012).

Factor de variación	GL	#1J ₂	#2J ₂	M1	M2	R1	R2	R3	R4	P1	P2	P3	AP
Repeticiones	3	24.2 ns	6.9 ns	36.7 ns	1.58 ns	0.92 ns	0.53 ns	0.25 ns	0.2 ns	526 ns	209 ns	203 ns	426 ns
Tratamientos	7	10.3 ns	16.8 **	10.4 ns	4.43 ns	2.21 **	1 **	0.21 ns	1.14 ns	1658 **	435 **	1745 **	1745 **
Error experimental	21	13.1	2.8	14.5	4.08	0.46	0.46	0.46	0.75	333	136	217	160
CV (%)		65.4	34.6	78.1	107.8	22.7	9.48	34.1	12.1	16.6	10.5	14.4	14.2

GL= grados de libertad; #1J₂= número de nematodos juveniles en el primer conteo; #2J₂= número de nematodos juveniles en el segundo conteo; M1= número de nematodos adultos en el primer conteo; M2= número de nematodos adultos en el segunda conteo; R1= número de racimos en el primer conteo; R2= número de racimos en el segundo conteo; R3= número de racimos en el tercer conteo; R4= número de racimos en el cuarto conteo; P1, P2 y P3= peso del fruto en el primero, segundo y tercer conteo, respectivamente; AP= altura de la planta; ns= no significativo ($p < 0.05$); * = significativo con $p < 0.05$; ** = significativo con $p < 0.01$. CV= coeficiente de variación.

Cuadro 2. Promedios de las variables medidas en el experimento de prueba de diferentes formas de control del nematodo *Meloidogyne* spp. en tomate de invernadero en Chaparrosa, Villa de Cos, Zacatecas.

Tratamiento	J2	R1	R2	P1	P2	P3	AP
Solarización (S)	8.25 a	3.25 abc	7 bc	131 a	116 abc	95 b	89 bc
Testigo	6.5 ab	3 ab	7.25 abc	113 ab	109 bc	90 b	100 ab
C+N	6.5 ab	1.75 d	6.75 bc	84 c	103 c	103 ab	59 d
S+N	4.5 bc	3.25 abc	7.5 ab	111 ab	105 bc	99 ab	97 ab
Nematicida (N)	3.75 c	2.75 bcd	6.5 c	104 bc	104 c	101 ab	75 cd
S+C	3.5 c	3.75 ab	7.5 ab	124 ab	123 ab	103 ab	116 a
C+S+N	3.25 c	2.25 d	6.75 bc	80 c	100 c	109 ab	66 d
Cempasúchil (C)	2.25 c	4 a	8 a	135 a	129 a	120 a	113 a
DMS (0.005)	2.45	1	1	27	17	22	19

Valores con la misma letra en la misma columna son iguales según la DMS ($p < 0.05$); J2 = nématodo en el estado juvenil 2; R1= número de racimos en el primer conteo; R2= número de racimos en el segundo conteo; P1, P2 y P3= peso por fruto en el primer, segundo y tercer conteo, respectivamente; AP= altura de planta.

Estos resultados son una evidencia del efecto positivo que tuvo el cempasúchil en el control de nematodos, en el desarrollo de la planta y en la producción de frutos. En el tratamiento con cempasúchil, respecto al tratamiento testigo, la población de nematodos se redujo 188%, los racimos por planta se incrementaron 33 y 10% para el primer y segundo conteo, en los pesos por fruto el incremento fue de 18, 33 y 13% para la primera, segunda y tercera evaluaciones, respectivamente. El peso medio de los frutos de las tres evaluaciones donde hubo diferencias fue de 128 g en el tratamiento con cempasúchil y de 104 g en el testigo.

Con cempasúchil, además de disminuir el número de nematodos en la evaluación al final de ciclo del cultivo, también redujo en mayor grado la presencia de agallas en la raíz comparado con los otros tratamientos, el cempasúchil y las combinaciones C+S+N y S+C obtuvieron un grado de agallamiento de 3 según la escala de Bridge y Page (1980) comparado con los tratamientos solarización, vidate, N+C y S+N que presentaron un grado de agallamiento de 4 y el testigo de 7, lo cual se atribuye, de acuerdo con Gómez y Zavaleta (2001); Natarajan *et al.* (2006); Wang *et al.* (2007), a que la planta exuda compuestos de tiofenoles que ahuyentan a nematodos fitopatógenos.

Al compartir el espacio del suelo, el agua y los nutrientes, las raíces de las plantas de tomate con las de cempasúchil, no se presentó un efecto negativo en el crecimiento ni en la producción de las plantas, al contrario, se presentó un efecto favorable para el tomate, lo cual es confirmado por Gómez y Zavaleta (2001); Natarajan *et al.* (2006), no se puede afirmar que se presentó sinergismo porque no se evaluó la biomasa de las plantas de cempasúchil, debido a que el objetivo fundamental fue evaluar el efecto en las plantas de tomate. Por lo anterior, al convivir estas dos especies durante su desarrollo en el suelo infestado por nematodos en condiciones de invernadero se manifestó, de acuerdo con las variables evaluadas, un efecto positivo en el desarrollo de las plantas de tomate.

En el tratamiento testigo, el número de nematodos se mantuvo alto, posiblemente debido a que en el suelo se presentaron las condiciones favorables para el desarrollo de los nematodos; aún en estas condiciones, las plantas se mantuvieron productivas lo cual se puede atribuir a la adecuada disponibilidad de nutrimentos y agua; ya que las plantas de tomate afectadas con *Meloidogyne* spp., puede producir bien cuando la planta no es sometida a una condición de estrés (Salazar y Guzmán, 2013), aunque los suelos infestados y sin ningún tipo de control gradualmente se van infestando hasta hacerlos improductivos.

Las variables de los nematodos juvenil 2, adulto 1 y adulto 2, dieron el mismo resultado referente a la población presentada en los siete tratamientos. Los tratamientos de cempasúchil y cempasúchil + solarización fueron los más bajos en cuanto a número de nematodos (Cuadro 3), esto indica que estos dos tratamientos son los mejores, tanto para tener bajas poblaciones del nematodo *Meloidogyne* spp., como para obtener un alto rendimiento de frutos. Esto se confirma con base en los resultados que se presentan en el Cuadro 3, puesto que los coeficientes de correlación entre la variable J2 y P3 son negativos, así como entre M2 y P3, en ambos casos los coeficientes son altamente significativos. Estos casos muestran la tendencia de que a menor número de nematodos corresponde un mayor peso de fruto.

Cuadro 3. Coeficiente de correlación entre las variables medidas en el experimento de prueba de diferentes formas de control del nematodo *Meloidogyne* en tomate de invernadero en Chaparrosa, Villa de Cos, Zacatecas.

	J2	M1	M2	R1	R2	R3	R4	P1	P2	P3	AP
J1	-0.25	0.86*	-0.18	0.18	0.02	0.08	-0.13	0.04	0.19	-0.1	0.14
J2		-0.21	0.58**	-0.19	-0.01	0.04	0.14	-0.08	-0.22	-0.48**	0.21
M1			-0.15	0.13	-0.07	0.04	0.07	0.1	0.2	0.02	0.14
M2				-0.26	0.1	0.1	0.2	-0.1	-0.19	-0.5**	-0.21
R1					0.66**	0.22	0.24	0.58**	0.6**	0.14	0.8**
R2						0.07	0.15	0.44*	0.39*	0.04	0.68**
R3							0.18	0.2	0.21	-0.17	0.25
R4								0.13	0.14	0.21	0.11
P1									0.4*	0.1	0.66**
P2										0.18	0.58**
P3											0.1

Valores sin asterisco no son significativos con $p < 0.05$ de probabilidad. * = significativo con $p < 0.05$, ** = significativo con $p < 0.01$. J1; J2= nematodo en estado juvenil 1 y 2; M= nematodos adultos en muestreos 1 y 2; R= número de racimos en muestreo 1, 2, 3 y 4; P= peso de frutos en muestreo 1, 2 y 3 respectivamente; AP= altura de planta.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo concuerdan con los obtenidos por Castro *et al.* (1990), Zavaleta *et al.* (2002), Natarajan *et al.* (2006), debido al efecto de los compuestos que exudan las especies vegetales alelopáticas como el cempasúchil sobre *Meloidogyne* en el cultivo de tomate, así como cuando el cempasúchil se combina con plástico para solarización. Castro *et al.* (1990) indican que la población de nematodos disminuye cuando existen plantas de cempasúchil intercaladas entre las plantas de tomate; por su parte, Katan (1981); Pullman *et al.* (1989); Devay (1992); Candido *et al.* (2008), señalan que el plástico da lugar a temperaturas superiores a 40 °C en el suelo, las cuales son letales para los nematodos; sin embargo, no fue posible alcanzar esas temperaturas en el lugar en que se llevó a cabo el experimento ya que dentro del invernadero no entran directamente los rayos solares y la temperatura solamente se incrementó a 30 °C en el suelo, en estas condiciones no es posible que realice la función correcta el tratamiento de solarización porque las condiciones climatológicas en donde se estableció el experimento no permitieron alcanzar temperaturas mayores de 30 °C, posiblemente también pudo haber un incremento en la retención de humedad y eso favoreció que la planta no se viera estresada y no tuviera ataque de nematodos.

No fue posible determinar el mecanismo mediante el cual el efecto combinado de cempasúchil + solarización + nematicida, tuvo un bajo rendimiento de frutos de tomate en la primera y segunda fechas de corte, peso 1 y peso 2 (P1 y P2; Cuadro 2), así como pocos racimos, racimo 1 y racimo 2 (R1 y R2), no obstante que hubo un bajo número de nematodos; tal vez hubo algún tipo de antagonismo entre los componentes de los tratamientos que dio lugar a esos resultados. La explicación de las razones por las cuales en los tratamientos de cempasúchil y cempasúchil + Solarización se tuvo un alto rendimiento de frutos y en la altura de planta

(Cuadro 2), se atribuye al efecto de los exudados de las raíces del cempasúchil en el tratamiento con sólo este producto, y en el tratamiento con la combinación de cempasúchil + solarización, se puede deber al efecto favorable que se pudo presentar entre la combinación de las condiciones que genera el plástico de la solarización, en el incremento de la temperatura y de la humedad del suelo, y la exudación de compuestos del grupo de los tertienilos, los cuales tienen efecto nematicida (Zavaleta *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 2007; Salazar y Guzmán, 2013). Otra evidencia que se obtiene de los resultados reportados en el Cuadro 2, es que los menores valores en estas variables se tuvieron con los cuatro tratamientos en los que está involucrado el nematicida: cempasúchil + nematicida, cempasúchil + solarización + nematicida, solarización + nematicida, y nematicida, por lo cual el Vidate no presentó un efecto favorable en el crecimiento y en la producción de frutos.

Apreciación del personal que ayudó en el trabajo

El responsable del personal que labora en el invernadero donde se llevó a cabo el experimento y el trabajador que realizó las prácticas, indicaron que no les fue difícil realizar las prácticas nuevas, pero les llevó más horas de trabajo, principalmente donde había cempasúchil; les parecieron bien los tratamientos porque a sus observaciones confirmaron el buen rendimiento y frutos de calidad. Además, mencionaron que el mejor tratamiento fue el de solarización + cempasúchil, el cual sobresalió en la altura de la planta, en frutos de mayor tamaño y uniformidad, ya que son las variables que se pudieron ver a simple vista en comparación con el resto de los tratamientos.

De la misma manera, el productor estuvo de acuerdo con los resultados obtenidos, aunque no estuvo de acuerdo con el hecho de tener plantas intercalas. Ante esta situación, algunas alternativas para controlar los nematodos en el cultivo de tomate sin necesidad de cultivar las plantas de cempasúchil al lado de las de tomate es aplicar extractos de las plantas de cempasúchil (Natarajan *et al.*, 2006), o la rotación entre cultivos de tomate con plantas de cempasúchil (Hooks *et al.*, 2010), de estas maneras se han reportado efectos significativos en el control de nematodos en el cultivo de tomate en comparación al tratamiento testigo e incluso respecto al tratamiento químico.

Conclusiones

La mayor reducción en el número de nematodos se presentó en el tratamiento con cempasúchil solo o combinado con el nematicida Vidate, con solarización o con ambos.

En general, en los tratamientos donde se redujo más la población de nematodos se tuvo mayor rendimiento y calidad de tomate.

El uso de cempasúchil en plantaciones comerciales de tomate en invernadero no representa problemas de manejo del cultivo y el productor no tiene inconveniente en utilizarlo.

Las estrategias de control diferentes al control químico son efectivas para el manejo de *Meloidogyne* spp., en invernadero, por lo cual, no se rechaza la hipótesis planteada.

Literatura citada

- Bridge, J.; and Page, S. L., J. 1980. Estimation of root-knot nematode infestation levels on roots using a rating chart. *Trop. Pest Manag.* 26(3):296-298.
- Candido, V.; D'Addabbo, T.; Basile, M.; Castronuovo, D. and Miccolis, V. 2008. Greenhouse soil solarization: effect on weeds, nematodes and yield of tomato and melón. *Agron. Sustain. Dev.* 28(2):221-230.
- Carrillo, F. V. M.; García, E. J. A.; Allende, M. R. S.; Márquez, Z. I. R. y Cruz, O. J. E. 2000. Identificación y distribución de especies del nematodo nodulador (*Meloidogyne* spp.) en hortalizas, en Sinaloa, México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 18(2):115-119.
- Castellanos, J. Z. 2008. Manejo de la fertirrigación en suelo. *In: Muñoz-Ramos, J. J. y Castellanos, J. Z. (Eds.). Manual de producción hortícola en invernadero. INACAPA. México. 109-129 pp.*
- Castellanos, J. Z. y Borbón, M. C. 2009. Panorama de la horticultura en México. *In: Castellanos, J. Z. (Ed.). Manual de producción de tomate en invernadero. INTAGRI. México. 1-18 pp.*
- Castro, A. A. E.; Zavaleta, M. E.; Cid del Prado, I. y Zamudio, G. 1990. Rotación e incorporación de *Tagetes erecta* L. para el manejo de *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en Tecamachalco, Puebla. *Rev. Mex. Fitopatol.* 8(2):173-180.
- Devay, J. 1992. La solarización del suelo parece demasiado bella, pero funciona. *Chile Agrícola.* 17(177):129-132.
- FAO. 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Estadísticas de producción. Estadísticas de producción de tomate. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>.
- Gómez, R. O. y Zavaleta, M. E. 2001. La asociación de cultivos una estrategia más para el manejo de enfermedades, en particular con *Tagetes* spp. *Rev. Mex. Fitopatol.* 19(1):94-99.
- Gullino, M. L.; Minuto, A.; Gilardi, G.; Garibaldi, A.; Ajwa, H. and Duafala, T. 2002. Efficacy of preplant soil fumigation with chloropicrin for tomato production in Italy. *Crop Prot.* 21(2002):741-749.
- Hooks, C. R. R.; Wang, K. H.; Ploeg, A. and McSorley, R. 2010. Using marigold (*Tagetes* spp.) as a cover crop to protect crops from plant-parasitic nematodes. *Appl. Soil Ecol.* 46(3):307-320.
- Katan, J. 1981. Solar heating of soil for control soilborne pest. *Ann. Rev. Phytopathol.* 19:211-236.
- Medina, G. G.; Rumayor, R. A. F.; Cabañas, C. B.; Luna, F. M.; Ruiz, C. J. A., Gallegos, V. C.; Madero, T. J.; Gutiérrez, S. J. R.; Rubio, D. S. y Bravo, L. A. G. 2003. Potencial productivo de especies agrícolas en el estado de Zacatecas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Norte Centro. Calera de V. R., Zacatecas. México. Libro técnico núm. 2. 157 p.
- Natarajan, N.; Cork, A.; Boomathi, N.; Pandi, R.; Velavan, S. and Dhakshnamoorthy, G. 2006. Cold aqueous extracts of African marigold, *Tagetes erecta* for control tomato root knot nematode, *Meloidogyne incognita*. *Crop Protec.* 25(11):1210-1213.
- Padilla, B. L. E.; Lara, H. A.; Reyes, R. E. and González, H. J. R. 2015. Assessing environmental management of tomato production under protected agricultura. *Inter. Food Agrib. Manag. Review.* 18(3):193-210.

- Padilla, B. L. E.; Lara, H. A.; Vélez, A.; Reyes, E. and González, R. J. 2016. Environmental management in the vegetable sector of Mexico. *Int. J. Sus. Dev. Plann.* 11(6):1017-1027.
- Pullman, G.; Devay, J.; Elmore, C. y Hart, W. 1989. Solarización del suelo, un método no químico para el control de enfermedades y plagas. *IPA La Platina.* 52(19):48-52.
- Salazar, A. W. y Guzmán, H. T. J. 2013. Efecto de poblaciones de *Meloidogyne* sp. en el desarrollo y rendimiento de tomate. *Agron. Mesoam.* 24(2):419-426.
- SAS. 2002. Statistical Analysis System. Institute. SAS software versión 9.1, SAS Institute, Vary, NC, USA.
- SIAP. 2014. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la producción agrícola por estado. www.siap.gob.mx.
- Vuelta, L. D. R.; Fals, H. E.; Rizo, M. M. y Molina, L. L. B. 2015. Evaluación de la solarización, la biofumigación y la biosolarización en el control de nematodos en el cultivo de la habichuela (*Vigna unguiculata*). *Ciencia en su PC.* 4:26-36.
- Wang, K. H.; Hooks, C. R. and Ploeg, A. 2007. Protecting crops from nematode pests: using Marigold as an alternative to chemical nematicides. *Plant Dis.* 35(6):1-6. Published by the College of Tropical Agriculture and Human Resources (CTAHR). <https://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/pd-35.pdf>.
- Zavaleta, M. E.; Cid del Prado, V. I.; Franco, N. F. y Sánchez, G. P. 2002. Aplicación de enmiendas orgánicas para el manejo de *Nacobbus aberrans* en tomate. *Nematrónica.* 32(2):113-124.
- Zuckerman, B. M.; Mai, W. F. and Harrison, M. B. 1985. Fitonematología (manual de laboratorio). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 235-237:248.