

CAPÍTULO

10



Evaluación del aceite de sésamo para el control de nemátodos en el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.)

POR

José Valdemar **ANDRADE CADENA**

Introducción

Los actuales modelos de producción agrícola utilizados en el mundo están encaminados al uso de tecnología y a la utilización de gran cantidad de insumos naturales o sintéticos (McNeely y Scherr 2008), lo cual causa un incremento de los costos de producción y una afectación tanto al medio biótico y abiótico como a la salud de los consumidores. Estas tecnologías se utilizan principalmente porque la población crece de manera acelerada y se reducen las áreas utilizadas para la agricultura, lo que lleva a optimar los rendimientos con detrimento de la calidad del medio en el que se desarrolla la actividad agrícola (Carrillo, 2000).

Uno de los principales problemas sanitarios de las hortalizas de la familia de las solanáceas (tomate de mesa, pimiento y berenjena) es su afectación por nemátodos (Young, 2011), que aparte de provocar el daño al sistema radicular de las plantas hacen que las estas disminuyan su fortaleza y sean fácilmente presas del ataque de hongos y bacterias oportunistas, lo que reduce la productividad del cultivo entre el 50 y el 100% (Leyva, 2013).

Se conocen alrededor de 2.500 especies de nemátodos fitoparásitos que son parte importante de los agroecosistemas (Zheng, Shi, Wu, & Peng, 2012); sin embargo, la introducción en la agricultura de prácticas que rompen este equilibrio natural ha llevado a reducir la productividad de las plantas (Maheshwari, 2012). Los nemátodos, especialmente los de nudo de raíz, producen en el mundo pérdidas de 157 billones de US\$, siendo su control muy complejo (Ngala, Valdes, dos Santos, Perry, & Wesemael, 2016). De estos nemátodos se presentan dos tipos conocidos como endoparásitos migratorios, como, por ejemplo, *Pratylenchus*, *Radopholus*, *Hirschmanniella*, *Bursaphelenchus*, que invaden raíces, tallos, y rizomas causando necrosis, formación de cavidades y lesiones durante su migración. Por otro lado están los nemátodos endoparásitos sedentarios, como, por ejemplo, *Meloidogyne*, *Heterodera*, *Globodera*, que al ser el grupo de organismos más avanzados, aparte de causar daño económico de importancia a los cultivos producen secreciones de su esófago que contienen sustancias capaces de inducir cambios en las células (hiperplasia e hipertrofia) de las plantas que parasitan (Khan, 2015), además de ser los que posibilitan el ataque de otros organismos causantes de enfermedades y también la pérdida de capacidad de la planta para absorber agua y nutrientes (Horst, 2013).

La creciente demanda de alimentos evita que se produzca la rotación natural de cultivos, con la consiguiente reducción del rendimiento y vinculando esto al fenómeno denominado “enfermedad del suelo” (Yu, Shou, Qian, Zhu, & Hu, 2000). Por su parte Mo, Qiu, He, Wu y Zhou (2016) observaron que en suelos con monocultivo de tomate se presentan variaciones en la población de microorganismos que afectan la dinámica del suelo favoreciendo el incremento de otros organismos que afectan al cultivo, siendo la especie de nemátodos fitoparásitos de mayor poder destructivo. En plantaciones de solanáceas es *Meloidogyne incognita* (nemátodos de nudo de raíz), ya que para su control se recurre al uso de fitosanitarios, con el consiguiente impacto en el ambiente y la bioacumulación de residuos en los alimentos (Abdelnabby, Hu, Wang, & Zhang, 2017).

Con base en lo expuesto se puede mencionar que las plantas, a largo de su evolución, han sido capaces de sintetizar metabolitos secundarios como, por ejemplo, el ácido jasmónico como mecanismo de respuesta a factores de estrés (Fan et al., 2015), que actúan como agentes controladores de hongos, bacterias, insectos, virus y nemátodos (Sidi & Lange, 1986); sin embargo, la introducción de fitosanitarios a gran escala en la agricultura, así como la efectividad inmediata, ha llevado a que se pierdan saberes y conocimientos vinculados a la experiencia y tradición de generaciones.

El control de los nemátodos se ha llevado a cabo por lo general con la utilización de plantas resistentes y de productos fitosanitarios (Srivastava, A. S., 1971), siendo los últimos un tema de discusión, ya que su uso genera preocupación de los consumidores de productos agrícolas por la acumulación de residuos (Ngala et al., 2016). De la misma manera, la integración de estrategias (Carrión et al., 2012) como labores culturales, aplicación de fitosanitarios y tratamientos mecánicos, entre otros (Timper, 2011), se presentan como alternativas que a mediano y largo plazo lograrán reducir la población de nemátodos fitoparásitos hasta niveles que no afecten la productividad de los cultivos (Kassali & Idowu, 2007). Para combatir estos organismos (nemátodos), la industria de productos fitosanitarios de origen sintético ha desarrollado una serie de alternativas que por ser mal utilizadas se han convertido en problemas para el ambiente y la salud de las personas (Raddy, 2013); además de que estas presentan una alta persistencia en el suelo, costo elevado y dificultad de manejo (Radwan, 2012). El uso frecuente y sin control de productos fitosanitarios para tratar los problemas sanitarios de los cultivos plantea con frecuencia la interrogante de la generación de resistencia a los ingredientes activos y a la presencia de residuos de los alimentos (Akhtar, Panwar, Nor, & Abdullah, 2015), lo que repercute en el nerviosismo e inseguridad para el consumo de los alimentos (Sidi & Lange, 1986).

De lo expuesto en los párrafos anteriores surge una interrogante: ¿Existe alguna tecnología que ayude a evitar los problemas de patógenos del suelo y mejore la productividad del cultivo?

El uso de alternativas naturales para el control de nemátodos es de gran importancia para los sistemas agrícolas de la provincia de Imbabura en Ecuador, ya que contribuye a reducir el uso de productos fitosanitarios potencialmente peligrosos para el ambiente y las personas y puede mejorar el desempeño de las plantas y aumentar los rendimientos (Rodríguez, 1986). El optar por una producción limpia es una premisa que se debe manejar (Ratnadass, 2012). Los consumidores exigen día a día que los productos sean generados utilizando la tecnología que afecte lo menos posible al ambiente y a la salud de las personas, y que cuando estos llegan a los mercados tengan la menor carga residual de fitosanitarios (Mankau, R., S. Das., 1974).

El uso de aceite de sésamo y de otros productos naturales para el control de los nemátodos en el cultivo de tomate de mesa es una opción de manejo integrado de plagas y enfermedades, pues además de proteger la salud de los obreros agrícolas por su baja toxicidad, evita que se encuentren residuos peligrosos en los productos alimenticios y el ambiente (Du, 2011). Una de las propiedades que se ha descubierto en el aceite de

sésamo es en su composición química como nematicida, es decir, para el control de nemátodos fitopatógenos en cultivos agrícolas. Algunos de los componentes orgánicos que contiene son (Z)-2,6-dimetilhept-5,7-diene-2,3-diol como compuesto orgánico activo frente a los nemátodos fitopatógenos (Coloma, 2013).

Materiales y métodos

El ensayo se hizo bajo las condiciones controladas en un invernadero de la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura, a una altitud de 2.220 msnm, con temperatura promedio para el año 2012 de 15,2 °C, precipitación de 780 mm y humedad relativa de 70 %. En el montaje del experimento se contó con plantines de tomate del híbrido Elpida® de 32 días de edad, obtenidos en el mismo campo experimental y germinados en sustrato inerte.

Las camas de siembra, preparadas a mano con azadas a una profundidad de 0,40 m, fueron tratadas con los productos para el control de nemátodos antes del trasplante (T1 ⁽¹⁾: aceite de sésamo a una dosis de 10 l ha⁻¹; T2: aceite de sésamo a 10 l ha⁻¹ + Benfuracarb 4 l ha⁻¹; T3: Benfuracarb 6 l ha⁻¹; T4: Cadusafos 40 kg ha⁻¹; T5: sin tratamiento). La aplicación de los productos fitosanitarios para el control de nemátodos se hizo siguiendo las instrucciones del fabricante, los tratamientos que requerían que el producto sea disuelto en agua para su aplicación (T1, T2, T3) se utilizaron con productos acondicionadores de pH y reductor de dureza. Cadusafos, al ser formulado en gránulos de celulosa, se aplicó directamente al suelo en el momento de la preparación de la cama de siembra. Los plantines se trasplantaron el 1 de junio de 2012, manteniendo riego y fertilización diaria basada en las extracciones del cultivo de acuerdo con los parámetros establecidos por Holwerda (2006). Los controles fitosanitarios se llevaron a cabo luego del monitoreo y cuando las plagas y enfermedades alcanzaban los umbrales económicos críticos.

Se evaluaron las siguientes variables: altura de planta a los 30, 60 y 90 días; altura de inserción del primer racimo floral, número de flores y frutos (1-5 racimo); número de racimos por planta hasta los 180 días luego del trasplante; peso y diámetro del fruto; rendimiento, conteo de nemátodos a los 90 días luego del trasplante, contenido de sólidos solubles y días de almacenamiento.

La cosecha se inició el día 6 de septiembre de 2012 y se recolectaron los frutos que presentaron una coloración totalmente roja; los frutos fueron pesados y medidos individualmente mediante un calibrador y una balanza digital con incrementos de 1 g. De la totalidad de los frutos en cada una de las cosechas se tomó una muestra al azar de 500 g de frutos de cada tratamiento y réplica para evaluar el contenido de sólidos solubles (°Brix) y los días de almacenamiento. Para el conteo de los nemátodos de suelo se utilizó el método de Cobb modificado. El conteo de los nemátodos de suelo se hizo antes de la siembra y a los 90 días después del trasplante de una muestra de 100 cc. Para el caso de las raíces se analizaron raíces obtenidas del ciclo anterior de cultivo, y el conteo de nemátodos se hizo a una muestra de 10 g de todos los tratamientos a los 90 días luego de trasplante mediante el método de Hussey y Barker.

El experimento consistió en un diseño de bloques completos al azar con cuatro réplicas; cada unidad experimental constó de una cama de siembra de 3 m de largo por 1 m de ancho, en la que se dispusieron 10 plantines a una separación de 0,30 m una de la otra (unidad experimental), y la separación entre camas fue de 1 m. La tabulación de los resultados se llevó a cabo mediante análisis de varianza y la prueba de separación de promedios de Tukey ⁽²⁾ (p<0,05) por medio del programa de Excel de Microsoft 2010.

⁽²⁾ Prueba estadística de separación de promedios para encontrar diferencia entre tratamientos.

Resultados y discusión

Los resultados de los estudios biométricos demuestran que no se presentan diferencia estadística significativa (**TABLA 1**) en la variable altura de planta (30, 60, 90 días después del trasplante). La altura que alcanzaron las plantas a los 90 días luego del trasplante es no significativa para los diferentes tratamientos; el ataque y la infestación de las raíces por los nemátodos ocurrió entre los 30 y 90 días, deteniendo el crecimiento de las plantas especialmente en los híbridos indeterminados y perdiendo la posibilidad de aprovechar el potencial genético y productivo, lo que estará en detrimento de los rendimientos. La altura en la que se inserta el primer racimo floral no se ve afectada por el uso de los productos propuestos para el control de nemátodos en el tomate, resultando en el análisis estadístico como no significativo (**TABLA 1**). La altura se establece por la genética del híbrido, puesto que la diferencia entre el tratamiento testigo (T5) y el tratamiento con menor altura de inserción del racimo (T1) es solo de 4 cm. Una menor altura de inserción del racimo puede generar problemas al momento de la maduración de los frutos, ya que estos se ponen en contacto con el suelo y por acción de microorganismos se generan pudriciones y pérdida de calidad de la fruta. Las variables de número de flores y frutos en los racimos del primero al quinto no se detectaron diferencias significativas (**TABLA 1 y 2**) en los tratamientos. Una de las prácticas comunes entre los agricultores es la castración del ápice principal de la planta y aprovechar el tamaño y peso de los frutos de los racimos desarrollados, ya que hasta este punto fenológico del tomate se presentan fuertes infestaciones de nemátodos, las plantas disminuyen sus procesos metabólicos y la producción carece de calidad para los mercados; en este aspecto, los costos de producción se incrementan por la susceptibilidad del material vegetal al ataque de fitopatógenos. El diámetro que se alcanza con los frutos de tomate depende del nivel de nutrientes absorbido por la planta cuando su sistema radicular no está dañado por los nemátodos. El diámetro del fruto determina la calidad de ellos según las normativas de los diferentes países y criterios de los comerciantes. En este ensayo no se presentan diferencias significativas entre los tratamientos respecto del diámetro promedio de fruta (**TABLA 1 y 2**). El uso de aceite de sésamo (T1) presenta un diámetro en promedio de fruto de 62,69 mm, mientras que el tratamiento en el que se empleó el ingrediente activo Benfuracarb como método de control de nemátodos, el diámetro alcanzado en promedio de los frutos fue de 61,19 mm (fruta tipo II NTE ⁽³⁾ INEN 1745 1990). La diferencia entre el tratamiento de frutos de mayor tamaño y el de menor tamaño es sólo de 1,50 mm, lo que resulta insignificante al momento de clasificar los frutos por categorías.

⁽³⁾ NTE INEN (Norma Técnica Ecuatoriana).

⁽¹⁾ La letra T, corresponde a una abreviatura de tratamiento.

TABLA 1. Análisis de varianza de las variables en estudio

Origen de las variaciones	Grados de libertad	Valor crítico para F	Altura de planta 90 ddt			Altura del primer racimo			Flores por racimo			Frutos por racimo			Diámetro fruto		
			Cuadrados medios	F	P. value	Cuadrados medios	F	P. value	Cuadrados medios	F	P. value	Cuadrados medios	F	P. value	Cuadrados medios	F	P. value
Tratamientos	4	3,26	253,77 ns	0,49	0,7459	14,52 ns	1,10	0,4021	0,03 ns	0,85	0,5184	0,03 ns	0,43	0,7841	1,45 ns	0,58	0,6828
Bloques	3	3,49	355,09 ns	0,68	0,5808	4,74 ns	0,36	0,7844	0,07 ns	2,12	0,1514	0,11 ns	1,49	0,2675	2,21 ns	0,89	0,4749
Error	12		521,93			13,24			0,03			0,08			2,49		
Total	19																

Origen de las variaciones	Grados de libertad	Valor crítico para F	Racimos planta			Peso de fruto			Rendimiento			° Brix			Días almacenamiento		
			Cuadrados medios	F	P. value	Cuadrados medios	F	P. value									
Tratamientos	4	3,26	7,18 *	3,40	0,0443	147,21 *	9,52	0,0011	2,08 *	11,6	0,0004	0,009 ns	0,42	0,7942	0,42 ns	0,76	0,5702
Bloques	3	3,49	1,40 ns	0,66	0,5900	15,52 ns	1,00	0,4245	0,41 ns	2,31	0,1283	0,002 ns	0,08	0,9683	4,93 *	8,84	0,0023
Error	12		2,11			15,46			0,18			0,022			0,56		
Total	19																

ddt: días después del trasplante; *: significancia ($p < 0,05$); ns: no significativo ($p > 0,05$)

TABLA 2. Prueba de comparación múltiple de medias de acuerdo al criterio de Tukey

	Altura de planta 90 ddt					Altura primer racimo					Flores por racimo				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
Promedio	166,26 a	167,98 a	186,30 a	171,51 a	175,20 a	44,38 a	46,64 a	44,74 a	48,35 a	48,37 a	5,52 a	5,60 a	5,40 a	5,48 a	5,59 a

	Frutos por racimo					Diámetro fruto					°Brix				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
Promedio	5,02 a	4,94 a	4,96 a	4,83 a	4,81 a	62,69 a	61,37 a	61,19 a	62,08 a	61,70 a	7,40 a	7,38 a	7,38 a	7,28 a	7,33 a

	Días almacenamiento					Racimos planta					Peso fruto				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
Promedio	13,00 a	12,75 a	13,00 a	13,00 a	12,25 a	15,00 a	12,22 b	12,50 b	14,50 a	12,25 a	144,22 a	132,08 b	135,00 b	145,65 a	143,12 a

	Rendimiento				
	T1	T2	T3	T4	T5
Promedio	6,38 a	4,88 c	4,48 c	5,08 b	4,96 c

El número total de racimos que se pueden generar en las plantas hasta los 180 días luego del trasplante presenta diferencias significativas para los tratamientos en estudio (**TABLA 1 y 2**); el tratamiento de control de nemátodos con aceite de sésamo (T1) generó 15 racimos, seguido del tratamiento que se realizó con Cadusafos® (T4) (Saad, Massoud, Ibrahim, & Khalil, 2012), (Giannakou, 2011). Las unidades experimentales que no recibieron tratamiento alguno produjeron en promedio 12,25 racimos por planta (**FIGURA 1**). Con este ensayo se puede verificar que con un adecuado manejo se pueden obtener más racimos por planta y aprovechar el potencial genético del híbrido. Los agricultores solo aprovechan entre 5 y 6 racimos, ya que las plantas son sometidas a la castración apical.

El peso unitario de los frutos presenta diferencias significativas entre los tratamientos (**TABLA 1 y 2**) de forma similar a lo encontrado por Faruk (2011) con el uso de agentes nematocidas. El mayor peso promedio unitario de los frutos se presenta en el tratamiento que utilizó como agente de control de nemátodos Cadusafos® (T4), corroborando lo mencionado por Raddy (2013), con 145,65 g, mientras que el tratamiento en el que se utilizó al Benfuracarb® y aceite de sésamo (T2), el peso alcanzado por los frutos es de 132,08 g. Si la diferencia de peso se relaciona con el número de frutos por planta y el número de plantas por superficie cultivada, los valores son significativos en cuanto a ingresos que puede percibir el agricultor (**FIGURA 2**).

Los resultados obtenidos al evaluar el efecto de los cinco tratamientos de nematocidas sobre el rendimiento final por planta mostraron que la aplicación de aceite de sésamo al suelo generó rendimientos significativamente superiores al resto de tratamientos (**TABLA 1 y 2**). El tratamiento que utiliza el aceite de sésamo (T1) presenta un rendimiento promedio de 6,38 kg planta⁻¹. En los tratamientos de Cadusafos® (T4) y control (T5), el rendimiento en promedio está en torno a 5 kg planta⁻¹. La mezcla de Benfuracarb® y aceite de sésamo alcanza un rendimiento de 4,88 kg planta⁻¹. El tratamiento que solo emplea la Benfuracarb® (Eren, Erdogmus, Akyil, & Ozkara, 2016) como alternativa de control de nemátodos tiene el menor rendimiento, tan solo de 4,48 kg planta⁻¹. La diferencia entre el mejor y peor tratamiento está en el orden de 1,9 kg planta⁻¹, y una diferencia de este orden resulta económicamente significativa, puesto que para los pequeños productores con explotaciones del orden de entre 1.000 y 2.500 m² de invernadero y densidad de siembra de 3,2 plantas m², la pérdida de este volumen de producto significaría una disminución de entre 6.000 a 15.000 kg menos de fruta recolectada (**FIGURA 3**).

El recuento de nemátodos en las raíces del cultivo a los 90 días después del trasplante (ddt) fue efectuado con el fin de medir la prevalencia de un determinado género de fitoparásitos, tal como lo señala Dubey (2011), y al relacionarse con la disminución de los rendimientos, en la **FIGURA 10** se observa que antes de la preparación del terreno se hizo un muestreo de las raíces del cultivo anterior y en 10 g de raíces se encontraron 35 nemátodos del género *Meloidogyne Iv*, mientras que el género *Pratylenchus* no se presentaba. Luego de 60 días de cultivo, los resultados son completamente diferentes. El género *Meloidogyne Iv* se encuentra en todos los tratamientos, con excepción del tratamiento en el que se utilizó Benfuracarb® (Pérez-Ortega et al., 2017); por el contrario, el género

FIGURA 1
Número promedio de racimos por planta (200 ddt) al utilizar productos para el control de nemátodos. Para letras iguales no hay diferencia significativa según la prueba de Tukey al nivel de 0,05

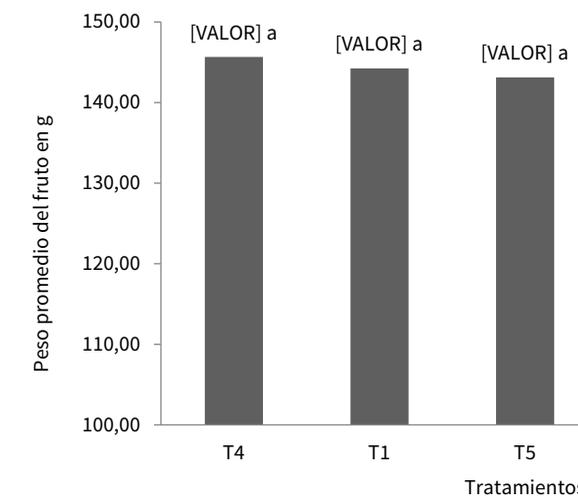
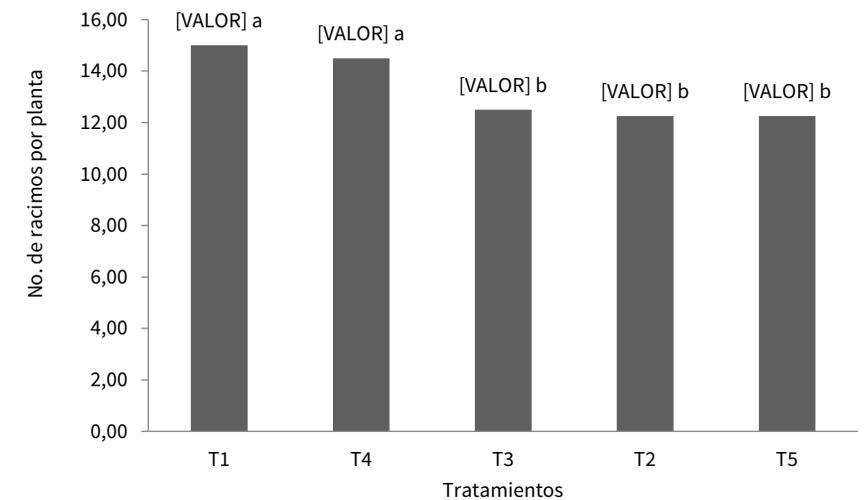
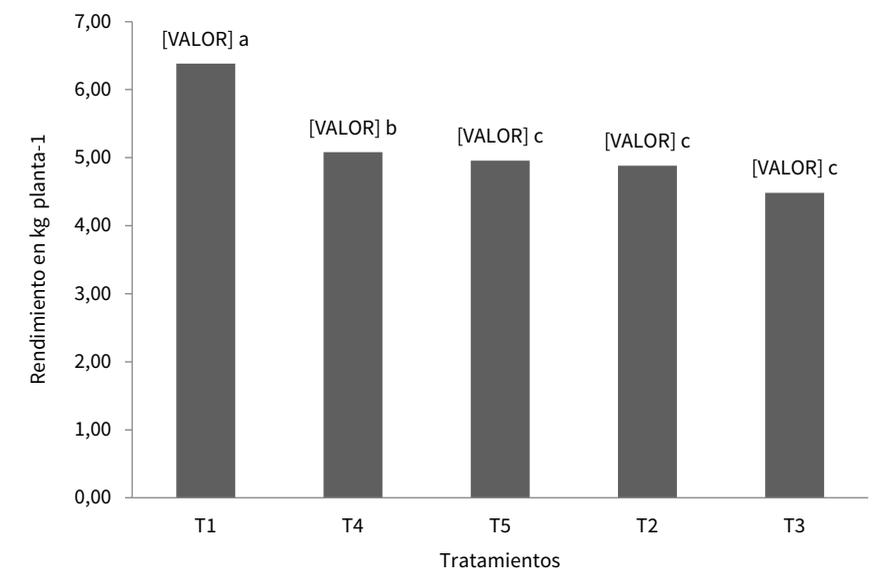


FIGURA 2
Peso promedio de los frutos de tomate al utilizar productos para el control de nemátodos. Para letras iguales no hay diferencia significativa según la prueba de Tukey al nivel de 0,05

FIGURA 3
Rendimiento promedio de los frutos de tomate al utilizar productos para el control de nemátodos. No hay diferencia significativa según la prueba de Tukey al nivel de 0,05



Pratylenchus solo está presente en las unidades experimentales en las que se utilizó Benfurcarb®.

El recuento de los nemátodos en el suelo antes de iniciar el cultivo y 90 días después del trasplante presentó un mantenimiento de la población de fitoparásitos del género *Meloidogyne Iv* constante, en un valor de 20 individuos por cada 100 cc de suelo, mientras que el género *Pratylenchus* Mahran, (2008) presentó una disminución de 40 a 0 individuos en el mismo volumen de suelo en los 90 días del cultivo (Asadi Sardari, Hojat Jalali, Bahraminejad, & Safaee, 2015), (Radwan, El-Maadawy, Kassem, & Abu-Elamayem, 2009), (Rizvi et al., 2015) (Taylor, Radwan, Mohamed, Kassem & Abu-elamayem, 2007).

En la **TABLA 3** se resumen los hallazgos, tanto en raíz como en el suelo, de los diferentes géneros de nemátodos presentes en el suelo y las raíces del tomate; de acuerdo con la sintomatología presentada en los cultivos anteriores, los de mayor importancia y que mayores pérdidas económicas causan al cultivo son los géneros género *Meloidogyne Iv* y *Pratylenchus* (Safdar, 2012).

El contenido de sólidos solubles (°Brix) en los frutos de tomate presenta un comportamiento no significativo para cada uno de los tratamientos en estudio (**TABLAS 1 y 2**). Los valores del contenido de sólidos varían entre 7,40 °Brix para el tratamiento en el que se utilizó al aceite de sésamo para el control de nemátodos, y 7,28 °Brix en el tratamiento en el que se utilizó Cadusafos Oka (2013).

TABLA 3. Conteo de nemátodos en muestra de 10 g de raíz y 100 cc de suelo por especie en cada uno de los tratamientos a los 90 días después del trasplante

	Suelo						Raíz					
	Conteo inicial	Conteo 90 ddt					Conteo inicial	Conteo 90 ddt				
		Tratamientos						Tratamientos				
		T1	T2	T3	T4	T5		T1	T2	T3	T4	T5
Fitoparásitos												
<i>Criconeoides</i>	0	20	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hemicycliophora</i>	0	60	240	220	180	220	0	0	0	0	0	0
<i>Meloidogyne Iv</i>	20	20	20	20	20	20	35	20	10	0	11	27
<i>Pratylenchus</i>	40	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	9
<i>Trichodorus</i>	20	20	0	20	0	20	0	0	0	0	0	0
<i>Tylenchorhynchus</i>	0	0	20	80	20	40	0	0	0	0	0	0
Inocuos												
<i>Tylenchidos</i>	40	20	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Benéficos												
<i>Dorylaimus</i>	40	40	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mononchus</i>	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0	0
Saprotitos	180	460	240	240	320	840	0	0	0	0	0	0

En la variable de los días de almacenamiento de la fruta al ambiente se puede comprobar que los productos de tratamiento nematicida Widhi. (2011) y nematostático no influyen en el periodo postcosecha (**TABLA 1 y 2**), puesto que el tiempo de almacenamiento de la fruta depende de muchos factores, además de los nutricionales y de los genéticos. La afectación a las raíces causada por nemátodos puede influir en el proceso de absorción de nutrientes y los productos ensayados no influyen en que se alargue o se acorte la vida en almacenamiento de la fruta.

Conclusiones

El uso de productos nematicidas y nematostáticos no influye en el crecimiento de la planta, así como tampoco en las aturas de inserción de los racimos, en el tamaño de los frutos, en el tiempo de almacenamiento postcosecha y en el contenido de sólidos de la fruta. Cuando el sistema radicular se encuentra libre de fitopatógenos, el desempeño de la planta es significativo. En el caso de los híbridos indeterminados, cuanto mayor altura de planta se alcance, mayor será la cantidad de racimos florales que se producen con el consiguiente aumento de la productividad.

De igual forma, el número de racimos que puede generarse en las plantas que recibieron tratamiento, comparado con el testigo, es significativamente mayor debido principalmente a que los nemátodos destruyen la capacidad de las raíces para absorber nutrientes y generar mayor cantidad de biomasa. De la misma forma, al estar el vegetal afectado por nemátodos se detiene el crecimiento, así como la generación de racimos florales vigorosos para la producción de fruta de comercial.

El peso unitario de la fruta en los tratamientos que se emplean productos nematicidas y nematostática es mayor con respecto al tratamiento control, debido principalmente a que las plantas, al estar protegidas del ataque de los fitopatógenos, pueden transportar a sus estructuras mayor cantidad de agua y nutrientes esenciales para los procesos fisiológicos de la síntesis de compuestos de reserva. Por otra parte, las plantas que se encuentran libres de nemátodos presentan mayor resistencia al ataque de hongos y bacterias que producen desórdenes que reducen la productividad del cultivo.

La dosis de aceite de sésamo de 10 l ha⁻¹ es el tratamiento con mayor producción de fruta por planta, pues el ingrediente activo tiene acción nematicida y nematostática, ya que interrumpe la movilidad de los nemátodos en el suelo y en la raíz del vegetal cuando este ya ha sido infectado. La acción nematostática del aceite de sésamo repele el área del suelo explorada por las raíces del cultivo impidiendo que los nemátodos afecten al vegetal y causen daños. Por su parte, la acción nematicida detiene la movilidad del parásito, evita su migración por la raíz de la planta y detiene el daño.

Finalmente, las parcelas que recibieron el tratamiento con aceite de sésamo presentan un mayor número de nemátodos formadores de agallas que, sin embargo, no afectan los rendimientos finales del cultivo, concluyendo que este producto presenta un

efecto nematostático para el caso de *Meloidogyne Iv*, mientras que en el caso de *Pratylenchus* no se encuentran presentes en suelo y raíz después del cultivo por el efecto nematocida del aceite de sésamo.

Referencias

- Abdelnabby, H.; Hu, Z.; Wang, H.; Zhang, X. (2017) Furfural–biochar-based formulations show synergistic and potentiating effects against *Meloidogyne incognita* in tomato. *Journal of Pest Science*. doi: 10.1007/s10340-017-0872-x
- Akhtar, M.S.; Panwar, J.; Nor, S.; Abdullah, A. (2015) *Organic Amendments and Soil Suppressiveness in Plant Disease Management*, 46, 219–247. doi: 10.1007/978-3-319-23075-7
- Asadi Sardari, A.; Hojat Jalali, A.A.; Bahramnejad, S.; Safaee, D. (2015) Effect of plant extracts on the mortality of root-knot nemátodes. *Meloidogyne javanica*. *Archives Of Phytopathology And Plant Protection*, 48(4), 365–375. doi 10.1080/03235408.2014.889342
- Carrión, C.; León Ponce-de, C.; Cram, S.; Sommer, I.; Hernández, M.; Vanegas, C. (2012) Aprovechamiento potencial del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en xochimilco para fitorremediación de metales. *Agrociencia*, 46(6), 609–620. doi: 10.1300/J144v03n01.
- Carrillo, J.A.; García, R.S.; Allende, R.; Márquez, I.; Cruz, J.E. (2000) Identificación y distribución de especies del nemátodo nodulador (*Meloidogyne* spp.) en hortalizas, en Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 18:115-119.
- Coloma, A.; Yeves M.; Hernández, C.; Alquézar, J.; Pérez, R.; Navarro, J. (2013) *Uso de aceites esenciales, extractos supercríticos y residuos acuosos generados en un proceso de obtención de extractos orgánicos de la planta artemisia absinthium l*,
- Du, S.S.; Zhang, H.M.; Bai, C.Q.; Wang, C.F.; Liu, Q.Z.; Liu, Z.L.; Wang, Y.Y.; Deng, Z.W. (2011) Nematocidal Flavone-C-lycosides against the Root-Knot Nemátode (*Meloidogyne incognita*) from *Arisaema erubescens* Tubers *Molecules*, 16, 5079-5086; doi:10.3390/molecules16065079.
- Eren, Y.; Erdogmus, S.F.; Akyil, D.; Ozkara, A. (2016) Mutagenic and cytotoxic activities of benfurcarb insecticide. *Cytotechnology*, 68(4), 637–643. doi:10.1007/s10616-014-9811-3
- Fan, J.; W., Hu, C.L.; Zhang, L.N.; Li, Z.L.; Zhao, F.K.; Wang, S.H. (2015) Jasmonic Acid Mediates Tomatoes Response to Root Knot Nemátodes. *Journal of Plant Growth Regulation*, 34(1), 196–205. doi:10.1007/s00344-014-9457-6
- Faruk, M.I.; Rrahman M.L.; Ali M.R.; Rahman M.M.; Mustafa, M.H. (2011) *Efficacy Of Two Organic Amendments And A Nematicide To Manage Root-Knot Nemátode (Meloidogyne incognita) of tomato* (*Lycopersicon esculentum* L.) Bangladesh J. Agril. Res. 36(3): September. 477-486.
- Giannakou, I.O. (2011) Efficacy of a formulated product containing Quillaja saponaria plant extracts for the control of root-knot nemátodes. *European Journal of Plant Pathology*, 130(4), 587–596. doi:10.1007/s10658-011-9780-8
- Holwerda, H. (2006) *CropKit Guía de manejo nutrición vegetal de especialidad tomate*. SQM S.A. Chile
- Horst, R.K. (2013) *Westcott's Plant Disease Handbook*. (Springer, Ed.) (Eighth Ed.). Ithaca, NY, USA. doi: 10.1007/978-94-007-2141-8
- Kassali, R.; Idowu, E O. (2007) Economics of onion storage systems under tropical conditions. *International Journal of Vegetable Science*, 13(1), 85–97. doi: 10.1300/J512v13n01
- Khan, M.R. (2015) *Recent Advances in the Diagnosis and Management of Plant Diseases*. (LP Awasthi, Ed.) (1st ed.). Springer India. doi: 10.1007/978-81-322-2571-3
- Leyva, S.; González, C.; Rodríguez, J.; Montalvo, D. (2013) Comportamiento de Línea Avanzadas de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a Fitopatógenos en Chapingo, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19(3): 301-313.
- Mahran, A.; Conn K.L.; Tenuta, M.; Lazarovits, G.; Daayf, F. (2008) Effectiveness of Liquid Hog Manure and Acidification to Kill *Pratylenchus* spp. in Soil. *Journal of Nematology* 40(4):266–275.
- Maheshwari, D.K. (2012) Bacteria in agrobiología: Disease management. *Bacteria in Agrobiología: Disease Management*, 1–495. doi: 10.1007/978-3-642-33639-3
- Mankau, R.; Minter, R.J. (1962) Reduction of soil populations of the citrus nemátode by the addition of organic matter. *Plant Disease Reporter* 46:375-378.
- McNeely, J.A.; Scherr S.J. (2008) Ecoagricultura. *Estrategias para alimentar al mundo y salvar la biodiversidad silvestre*. IICA.
- Mo, A.S.; Qiu, Z.Q.; He, Q.; Wu, H.Y.; Zhou, X.B. (2016) Effect of Continuous Monocropping of Tomato on Soil Microorganism and Microbial Biomass Carbon. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(9), 1069–1077. doi: 10.1080/00103624.2016.1165832
- Ngala, B.M.; Valdés, Y.; dos Santos, G.; Perry, R.N.; Wesemael, W.M.L. (2016) Seaweed-based products from *Ecklonia maxima* and *Ascophyllum nodosum* as control agents for the root-knot nemátodes *Meloidogyne chitwoodi* and *Meloidogyne hapla* on tomato plants. *Journal of Applied Phycology*, 28(3), 2073–2082. doi: 10.1007/s10811-015-0684-4
- Oka, Y.; Shuker, S.; Tkachi, N. (2013) *Influence of soil environments on nematocidal activity of fluen-sulfone against Meloidogyne javanica* Pest Management Science Vol 69, (11), 1225–1234. Doi:10.1002/ps.3487
- Pérez-Ortega, P.; Lara-Ortega, F.J.; Gilbert-López, B.; Moreno-González, D.; García-Reyes, J.F.; Molina-Díaz, A. (2017) Screening of Over 600 Pesticides, Veterinary Drugs, Food-Packaging Contaminants, Mycotoxins, and Other Chemicals in Food by Ultra-High Performance Liquid Chromatography Quadrupole Time-of-Flight Mass Spectrometry (UHPLC-QTOFMS). *Food Analytical Methods*, 10(5), 1216–1244. doi: 10.1007/s12161-016-0678-0
- Raddy, H.M.; Fouad, A.F.A.; Montasser, S.A.; Abdel-Lateef, M.F.; EL-Samadisy, A.M. (2013) Efficacy of Six Nematicides and Six Commercial Bioproducts Against Root-Knot Nemátode, *Meloidogyne incognita* on Tomato. *Journal of Applied Sciences Research*, 9(7): 4410-4417.
- Radwan, M.A.; El-Maadawy, E.K.; Kassem, S.I.; Abu-Elamayem, M.M. (2009) Oil cakes soil amendment effects on *Meloidogyne incognita*, root-knot nemátode infecting tomato. *Archives Of Phytopathology And Plant Protection*, 42(1), 58–64. doi: 10.1080/03235400600940830
- Radwan M.A.; Farrag S.A.A.; Abu-elamayem, M.M.; Ahmed, N.S. (2012) Efficacy Of Some Granular Nematicides Against Root-Knot Nemátode, *Meloidogyne Incognita* Associated With Tomato Pakistan *Journal of Nematology*, 30 (1): 41-47.

- Ratnadass, A.; Fernandes, P.; Avelino, J.; Habib, R. (2012) *Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems*. *Agronomy for Sustainable Development*. 32:273–303.
- Rizvi, R.; Singh, G.; Ali Ansari, R.; Ali Tiyaqi, S.; Mahmood, I.; Moral, M.T. (2015) Sustainable management of root-knot disease of tomato by neem cake and *Glomus fasciculatum*. *Cogent Food & Agriculture*, 74(1), 1–13. doi: 10.1080/23311932.2015.1008859
- Rodríguez, R.K.; BANA (1986) Organic and Inorganic Nitrogen Amendments to Soil as Nematode Suppressants, *Journal of Nematology* 18(2):129-135.
- Saad, A.S.; Massoud, M.A.; Ibrahim, H.S.; Khalil, M.S. (2012) Activity of Nemathorin, natural product and bioproducts against root-knot nematodes on tomatoes. *Archives of Phytopathology & Plant Protection*, 45(8), 955–962. doi: 10.1080/03235408.2012.655145
- Safdar, H.; Javed, N.; Khan, S.A.; Haq, I.; Safdar, A.; Khan N.A. (2012) Control of *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood by Cadusafos (Rugby®) on Tomato. *Pakistan Journal Zoological.*, vol. 44(6), pp. 1703-1710
- Sidi, A.A.; Lange, P.H. (1986) *Recent advances in the diagnosis and management of plant diseases. The Urologic clinics of North America* (Vol. 13). doi: 10.2214/AJR.13.11247
- Srivastava, A.S.; Pandey, R.C.; Ram, S. (1971) *Application of organic amendment for the control of root-knot nematode, Meloidogyne javanica*. (Trueb.). *LabdevJournal of Science and Technology* 9 B (319):203-205.
- Taylor, P.; Radwan, M.A.; Mohamed, S.; Kassem, I.; Abu-elamayem, M.M. (2007) *Archives Of Phytopathology And Plant Protection Use of some emulsified plant seed oils as a safe alternative for the management of Meloidogyne incognita infecting tomato*, 5408(March 2012), 37–41. Doi:10.1080/03235400600587607
- Timper, P. (2011) *Biological Control of Plant-Parasitic Nematodes* (K. Davies & Y. Spiegel, Eds.) Dordrecht: Springer Netherlands. doi: 10.1007/978-1-4020-9648-8
- Tzortzakakis, E.A.; Adam, M.A.M.; Blok, V.C.; Paraskevopoulos, C.; Bourtzis, K. (2005) Occurrence of resistance-breaking populations of root-knot nematodes on tomato in Greece. *European Journal of Plant Pathology*, 113(1), 101–105. doi: 10.1007/s10658-005-1228-6
- Widhi, D.; Trivedi, PC (2011) Evaluation of Some Nematicides for the Control of *Meloidogyne incognita* on Okra. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences* Vol. 1 (3) July – September, pp. 264-270.
- Young, B.; Neher, D. (2011) *Survey of lesion and northern root-knot nematodes associated with vegetables in Vermont*. *Neotropica* 41:100-108.
- Yu, J.Q.; Shou, S.Y.; Qian, Y.R.; Zhu, Z.J.; Hu, W.H. (2000) Autotoxic potential of cucurbit crops. *Plant and soil*, 223, 147–151. Retrieved from <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023%2FA%3A1004829512147.pdf>
- Zheng, G.D.; Shi, L.B.; Wu, H.Y.; Peng, D.L. (2012) Nematode communities in continuous tomato-cropping field soil infested by root-knot nematodes. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 62(3), 216–223. doi:10.1080/09064710.2011.598545.